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

Material Suplementar Ambiente Dulcícola

Tema: Ecotoxicologia

RT- 55/UT 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 5

2.1 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA, SEDIMENTO E BIOTA 6

2.2 ANÁLISES DE LABORATÓRIO 27

2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS 36

2.4 ALTERAÇÕES NA MALHA/FREQUÊNCIA AMOSTRAL E ESCOPO REALIZADOS EM OUTUBRO DE 2024: SUAS CONSEQUÊNCIAS NAS ANÁLISES DA SÉRIE HISTÓRICA DE INDICADORES 37

3 RESULTADOS DOS INDICADORES 39

3.1 ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (*IBR BIOACUMULAÇÃO*) 40

3.2 ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA *(IBR BIOMARCADOR)* 82

3.3 DIVERSIDADE MICROBIANA 99

3.4 ÍNDICE DE TOXICIDADE 109

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO 110

5 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS 116

6 REFERÊNCIAS 116

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) passaram 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.

Quadro 1: Malha do Tema Ecotoxicologia Dulcícola. As estações em negrito são aquelas vigentes no âmbito da Deliberação 803/2024.

Setores	Nome da estação	Código	Abrangência Temporal (Dataset)	Campanhas
Lagoas	**Lagoa do Areal**	**LAL 01**	**Set/18 até o momento**	**A partir da campanha 1**
	Lagoa Areão	LAO-02	Out/18 a out/19	Campanha 1 a 3
	Lagoa Monsarás 1	LMN-01	Out/18 a jul/24	Campanha 1 a 12
	Lagoa Monsarás 2	LMN-02	Jan/23 a jul/24	Campanha 9 a 12
	Lagoa Cacimbas	**E27**	**Jan/25 até o momento**	**A partir da campanha 13**
	Laguna Monsarás	**LMN-02R**	**Jan/25 até o momento**	**A partir da campanha 13**
Lagos	Lago Juparanã	LJP-01	Set/18 a set/22	Campanha 1 a 8
	Lago do Limão 1	LLM-01	Set/18 a jul/24	Campanha 1 a 12
	Lago do Limão 2	LLM-02	Jan/23 a jul/24	Campanha 9 a 12
	Lago Nova 1	LNV-01	Out/18 a jul/24	Campanha 1 a 12
	Lago Nova 2	LNV-02	Jan/23 a jul/24	Campanhas 9 a 12
	Lago Palmas 1	LPA-01	Out19 a jul/24	Campanha 3 a 12
	Lago Palmas 2	LPA-02	Jan/23 a jul/24	Campanha 9 a 12
	Lago do Limão em Colatina	**LLM-03R**	**Fev/25 até o momento**	**A partir da campanha 13**
	Lago Nova	**LNV-02R**	**Fev/25 até o momento**	**A partir da campanha 13**
Reservatórios	**Reservatório de Aimorés**	**UHE AIM**	**Jan/23 até o momento**	**A partir da campanha 9**
	Reservatório de Mascarenhas	**UHE MAS**	**Jan/23 até o momento**	**A partir da campanha 9**
Calha	Rio Doce em Regência	RDR	Set/18 e jan/19	Campanhas 1 e 2
	Rio Doce em Resplendor	RDO-10	Jan/23 a jul/24	Campanhas 9 a 12
	Rio Doce em Baixo Guandu	**RDO-11**	**Set/19 até o momento**	**A partir da campanha 3**
	Rio Doce em Colatina	**RDO-12**	**Jan/25 até o momento**	**A partir da campanha 13**
	Rio Doce em Colatina	**RDO-13****	Set/19 Até jul/24 **Set/19 até o momento para índice de toxicidade**	Campanha 3 a 12 **A partir da campanha 3**
	Rio Doce em Marilândia	**RDO-14**	**Jan/25 até o momento**	**A partir da campanha 13**
	Rio Doce em Linhares	**RDO-15**	**Out/18 até o momento**	**A partir da campanha 1**
	Rio Doce no Estuário	**RDO-16*****	**Out/18 até o momento**	**A partir da campanha 1**
Tributários	**Rio Guandu, trecho alto**	**RGU-01***	Set/18 a set/22 **Out/24 até o momento**	Campanha 1 a 8 **Campanha 1 a 8 e a partir da campanha 13**
	Rio Guandu, trecho baixo	**RGU-02**	**Jan/25 até o momento**	**A partir da campanha 13**
	Rio Manhuaçu	**RMH-01**	**Jan/23 até o momento**	**A partir da campanha 9**

*** RGU-01:** A coleta para avaliação do **Índice de Toxicidade** foi interrompida a partir da Campanha 8 e retomada na Campanha 13, após a publicação da **Deliberação CIF nº 803/2024**.

** **RDO-13:** Após a Campanha 12, o ponto permaneceu sendo monitorado exclusivamente para a avaliação do **Índice de Toxicidade**.

*** **RDO-16:** Embora o ponto esteja geograficamente localizado na região da foz, para fins de organização e análise dos dados, o tema **Ecotoxicologia** o classifica como pertencente à **calha**.

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/Fest-UFES 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 na 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. Adicionalmente, foram coletadas amostras de água superficial, seguindo-se os mesmos procedimentos descritos acima, sem filtragem e acidificação, em quantidades adequadas para realização de ensaios de toxicidade. As amostras de água foram mantidas congeladas (<-10ºC) até o momento dos ensaios. 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 multiparâmetros (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 onde ocorreu a coleta de água, também foram coletadas 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, assim, apenas o sedimento superficial. As amostras de sedimento foram armazenadas em frascos plásticos descontaminados e mantidos congelados até o momento das análises. Adicionalmente, foram coletadas amostras de sedimento superficial, seguindo-se os mesmos procedimentos descritos acima, em quantidades adequadas para realização de ensaios de toxicidade. As amostras de sedimento foram mantidas refrigeradas (<10ºC) até o momento dos ensaios de toxicidade.

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

No ambiente de água doce, foram coletadas amostras de fitoplâncton, zooplâncton, camarões de água doce e quatro espécies de peixes (espécies originalmente previstas: tucunaré *Cichla sp.*, bagre *Pimelodus maculatus*, curimbatá *Prochilodus sp*. e cascudo *Hypostomus affinis*, e outras). No ambiente estuarino (calha do rio Doce próximo à sua foz), foram coletadas amostras de fitoplâncton, zooplâncton, camarões e quatro espécies de peixes (espécies originalmente previstas: carapicu *Eucinostomus sp.*, corvina *Pachyurus adspersus*, bicudo *Pomadasys ramosus* e bagre caçari *Genidens genides*, e outras). Na ausência das espécies originalmente previstas, foram coletadas outras espécies de peixes que ocupassem o mesmo habitat e o mesmo nicho trófico. A lista das espécies de peixes 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) está descrita na Tabela 1.

Tabela 1: Espécies de peixes (nome científico e/ou nome popular e número de indivíduos) 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) e respectivo hábito alimentar (carnívoro ou onívoro) (malha amostral Quadro 1).

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/ Campanha
1	BRG	Astyanax		3	
1	BRG	Bagre	1		
1	BRG	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		6	16
1	BRG	*Geophagus* sp.		4	
1	BRG	*Geophagus* BRAS		1	
1	BRG	*Hoplias* sp.	1		
1	LAL	*Astyanax*		2	
1	LAL	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		6	
1	LAL	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	7		18
1	LAL	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
1	LAO	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
1	LAO	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
1	LAO	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		13
1	LAO	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
1	LAO	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	5		
1	LJA	*Astyanax*		8	
1	LJA	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
1	LJA	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		21
1	LJA	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
1	LJA	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	6		
1	LLI	*Geophagus* sp.		2	
1	LLI	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		9
1	LLI	*Hoplias* sp.	4		
1	LLI	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
1	LMO	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		4	
1	LMO	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		3	
1	LMO	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		10
1	LMO	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
1	LMO	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
1	LNO	*Astyanax*		5	
1	LNO	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
1	LNO	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		18
1	LNO	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
1	RDF	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	7		24
1	RDF	*Sphoeroides* sp.	3		
1	RDF	*Larimus breviceps*	1		
1	RDF	Peixe estuarino 3 - *Eucinostomus* sp.		1	
1	RDF	Peixe estuarino alternativo 3 - *Selene vomer*		8	
1	RDF	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	2		
1	RDF	Peixe estuarino alternativo 4 - *Bardiella ronchus*	1		
1	RDF	*Pomadasys ramosus*		1	
1	RDL	*Rineloricaria* spp.		6	
1	RDL	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	10
1	RDL	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
1	RDL	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
1	RDR	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
1	RDR	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		2	
1	RDR	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		2	11
1	RDR	*Pimelodus maculatus*		4	
1	RDR	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
1	RDR	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
		Total Campanha 1	72	78	150
2	LLI	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	
2	LLI	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
2	LLI	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		21
2	LLI	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
2	LLI	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
2	BRG	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		5	
2	BRG	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	7		20
2	BRG	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		4	
2	BRG	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		4	
2	LNO	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	6		
2	LNO	*Astyanax* sp.		5	23
2	LNO	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
2	LNO	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
2	LJA	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
2	LJA	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
2	LJA	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	6		
2	LJA	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	32
2	LJA	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
2	LJA	*Astyanax lacustris*		6	
2	LJA	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		7	
2	LMO	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	
2	LMO	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
2	LMO	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	26
2	LMO	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
2	LMO	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		

2	LMO	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	5		
2	LMO	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	
2	LMO	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		5	
2	LMO	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		5	
2	RDL	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		6	
2	RDL	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
2	RDL	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
2	RDL	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
2	RDL	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	18
2	RDL	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		3	
2	RDL	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	3		
2	RDL	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
2	RDL	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
2	RDF	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	4		
2	RDF	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	6		12
2	RDF	Peixe estuarino 3 - *Eucinostomus* sp.		1	
2	RDF	Peixe alvo 3 - P*imelodus maculatus*		1	
2	LAL	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
2	LAL	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
2	LAL	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		19
2	LAL	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		3	
2	LAL	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	
2	LAL	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		5	
2	LAO	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	4		
2	LAO	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
2	LAO	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		7	25
2	LAO	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
2	LAO	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
2	RDR	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	
2	RDR	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		1	
2	RDR	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		5	12
2	RDR	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	5		
		Total Campanha 2	95	113	208
3	LAL-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		3	
3	LAL-01	*Astyanax lacustris*		2	
3	LAL-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	17
3	LAL-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
3	LAL-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	7		
3	LAO-02	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	
3	LAO-02	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
3	LAO-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	24
3	LAO-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
3	LAO-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	6		
3	LJP-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	
3	LJP-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	
3	LJP-01	*Rineloricaria* spp.		1	
3	LJP-01	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	1		
3	LJP-01	*Astyanax lacustris*		6	22
3	LJP-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
3	LJP-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
3	LJP-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	3		
3	LJP-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
3	LLM-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	
3	LLM-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		2	
3	LLM-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	24
3	LLM-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
3	LLM-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
3	LLM-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	5		
3	LMN-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	
3	LMN-01	Peixe estuarino 3 - *Eucinostomus* sp.		1	
3	LMN-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
3	LMN-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		19
3	LMN-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		5	
3	LMN-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
3	LMN-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	4		
3	LNV-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		2	
3	LNV-01	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	6		
3	LNV-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	24
3	LNV-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
3	LNV-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
3	LPA - 01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	
3	LPA - 01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
3	LPA - 01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	27
3	LPA - 01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
3	LPA - 01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
3	RDO-11	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
3	RDO-11	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		2	
3	RDO-11	*Rineloricaria* spp.		6	
3	RDO-11	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		3	
3	RDO-11	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		5	31
3	RDO-11	*Metynnis maculatus*		1	
3	RDO-11	*Metynnis maculatus*		3	
3	RDO-11	*Metynnis maculatus*		2	
3	RDO-11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
3	RDO-11	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	6		
3	RDO-13	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	9

3	RDO-13	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		1	
3	RDO-13	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
3	RDO-13	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
3	RDO-13	Peixe estuarino alternativo 8 - *Mugil* sp. (tainha)		1	
3	RDO-13	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
3	RDO-15	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		2	
3	RDO-15	*Rineloricaria* spp.		1	
3	RDO-15	*Astyanax lacustris*		8	
3	RDO-15	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	23
3	RDO-15	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
3	RDO-15	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		3	
3	RDO-15	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
3	RDO-16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	8		
3	RDO-16	*Sphoeroides* sp.	5		
3	RDO-16	Peixe estuarino 3 - *Eucinostomus* sp.		2	
3	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 6 - *Pagrus pagrus*	1		20
3	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 4 - *Bardiella ronchus*	1		
3	RDO-16	Peixe estuarino 2 - *Pomadasys ramosus*		2	
3	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 5 - *Caranx crysos* (xaréu)	1		
3	RGU - 01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	
3	RGU - 01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		3	
3	RGU - 01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		7	
3	RGU - 01	*Rineloricaria* spp.		1	26
3	RGU - 01	*Astyanax lacustris*		3	
3	RGU - 01	*Leporinus friderici*		2	
3	RGU - 01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
Total Campanha 3			95	171	266
4	LAL - 01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
4	LAL - 01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
4	LAL - 01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		6	20
4	LAL - 01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
4	LAL - 01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
4	LJA - 01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		4	
4	LJA - 01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	
4	LJA - 01	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	3		
4	LJA - 01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	
4	LJA - 01	*Metynnis maculatus*		6	26
4	LJA - 01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		
4	LJA - 01	Peixe estuarino alternativo 8 - *Mugil* sp. (tainha)		2	
4	LJA - 01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
4	LLM - 01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	
4	LLM - 01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		6	25
4	LLM - 01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
4	LLM - 01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
4	LLM - 02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
4	LMN -01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
4	LMN -01	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	1		
4	LMN -01	Peixe estuarino 3 - *Eucinostomus* sp.		4	
4	LMN -01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
4	LMN -01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		1	
4	LMN -01	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		2	24
4	LMN -01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	3		
4	LMN -01	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		
4	LMN -01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		6	
4	LMN -01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
4	LNV - 01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
4	LNV - 01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
4	LNV - 01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	7		24
4	LNV - 01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
4	LNV - 01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
4	LPA - 01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
4	LPA - 01	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	
4	LPA - 01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
4	LPA - 01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		24
4	LPA - 01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
4	LPA - 01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
4	RDO - 11	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		2	
4	RDO - 11	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		2	
4	RDO - 11	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		2	
4	RDO - 11	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	23
4	RDO - 11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		
4	RDO - 11	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	6		
4	RDO - 13	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		5	
4	RDO - 13	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	
4	RDO - 13	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
4	RDO - 13	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		23
4	RDO - 13	Peixe estuarino alternativo 8 - *Mugil* sp. (tainha)		6	
4	RDO - 13	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
4	RDO -15	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	5		
4	RDO -15	*Tracheolypterus striatulus*		2	
4	RDO -15	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		3	
4	RDO -15	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		3	23
4	RDO -15	*Astyanax lacustris*		2	
4	RDO -15	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	2		
4	RDO -15	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	

4	RDO -15	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
4	RDO -15	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		
4	RDO -15	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
4	RDO -15	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
4	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	2		2
4	RGU - 01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	
4	RGU - 01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		4	
4	RGU - 01	*Rineloricaria* spp.		2	
4	RGU - 01	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	2		26
4	RGU - 01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		7	
4	RGU - 01	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	2		
4	RGU - 01	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
4	RGU - 01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
		Total Campanha 4	99	141	240
5	LAL-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		3	
5	LAL-01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		1	
5	LAL-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
5	LAL-01	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	3		19
5	LAL-01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		4	
5	LAL-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
5	LAL-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
5	LJP	Bagre	6		
5	LJP	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	24
5	LJP	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
5	LJP	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
5	LLM-01	*Geophagus brasiliensis*		6	
5	LLM-01	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	1		
5	LLM-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	20
5	LLM-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
5	LLM-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
5	LLM-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
5	LMN-1	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		5	
5	LMN-1	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		1	
5	LMN-1	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		7	21
5	LMN-1	Peixe dulcícola alternativo - Marabá	1		
5	LMN-1	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
5	LMN-1	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
5	LNV-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		2	
5	LNV-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		5	
5	LNV-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	25
5	LNV-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
5	LNV-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	5		
5	LNV-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		

5	LPA-01	*Geophagus brasiliensis*		3	
5	LPA-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	
5	LPA-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		3	
5	LPA-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	25
5	LPA-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
5	LPA-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		4	
5	LPA-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	5		
5	LPA-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
5	RDO-11	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	
5	RDO-11	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		6	
5	RDO-11	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
5	RDO-11	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	26
5	RDO-11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
5	RDO-11	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
5	RDO-11	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
5	RDO-13	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		5	
5	RDO-13	*Pterygoplichthys pardalis*		1	
5	RDO-13	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
5	RDO-13	Peixe dulcícola alternativo - Jundiá	1		
5	RDO-13	Peixe dulcícola alternativo - Pacumã	1		14
5	RDO-13	Serrasalmus marginatus	1		
5	RDO-13	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		
5	RDO-13	Peixe estuarino alternativo 8 - *Mugil* sp. (tainha)		1	
5	RDO-13	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
5	RDO-13	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
5	RDO-15	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		3	
5	rdo-15	*Rineloricaria* spp.		3	
5	rdo-15	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
5	rdo-15	*Pimelodus maculatus*		4	18
5	RDO-15	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
5	RDO-15	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		3	
5	RDO-15	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
5	RDO-16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	6		
5	RDO-16	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
5	RDO-16	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		21
5	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 8 - *Mugil* sp. (tainha)		6	
5	RDO-16	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
5	RGU-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		4	
5	RGU-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		6	
5	RGU-01	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	1		25
5	RGU-01	*Rineloricaria* spp.		6	
5	RGU-01	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		2	
5	RGU-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		

Total Campanha 5			100	138	238
6	LAL-01	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	19
6	LAL-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
6	LAL-01	*Hoplosternum litoralle*		2	
6	LAL-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		4	
6	LAL-01	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	2		
6	LAL-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	
6	LAL-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	
6	LAL-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
6	LJP 01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	24
6	LJP 01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
6	LJP 01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
6	LJP 01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	5		
6	LJP 01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
6	LLM	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus* striatulus		1	12
6	LLM	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	2		
6	LLM	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		2	
6	LLM	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
6	LLM	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
6	LMN	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		4	20
6	LMN	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		5	
6	LMN	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
6	LMN	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
6	LMN	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		
6	LMN	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
6	LNV-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	24
6	LNV-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
6	LNV-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
6	LNV-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		
6	LNV-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
6	LPA 1	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		6	22
6	LPA 1	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
6	LPA 1	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	2		
6	LPA 1	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
6	LPA 1	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
6	RDO-11	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		6	22
6	RDO-11	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	3		
6	RDO-11	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		5	
6	RDO-11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
6	RDO-11	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
6	RDO-13	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		1	24
6	RDO-13	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
6	RDO-13	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
6	RDO-13	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
6	RDO-13	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		4	
6	RDO-13	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
6	RDO-15	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		4	21
6	RDO-15	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		2	
6	RDO-15	*Rineloricaria* spp.		3	
6	RDO-15	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		2	
6	RDO-15	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	1		
6	RDO-15	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
6	RDO-15	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
6	RDO-15	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
6	RDO16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	6		18
6	RDO16	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		4	
6	RDO16	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		
6	RDO16	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
6	RDO16	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
6	RGU01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		5	21
6	RGU01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		4	
6	RGU01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		6	
6	RGU01	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
6	RGU01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
6	RGU-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
6	RGU-01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		2	
6	RGU-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
Total Campanha 6			86	141	227
7	LAL-01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		3	24
7	LAL-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
7	LAL-01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		1	
7	LAL-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
7	LAL-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	
7	LAL-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
7	LJP-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		2	24
7	LJP-01	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		4	
7	LJP-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
7	LJP-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
7	LJP-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	6		
7	LLM-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		2	24
7	LLM-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		3	
7	LLM-01	*Plagioscion* spp.	1		
7	LLM-01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		2	
7	LLM-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
7	LLM-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		3	
7	LLM-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		

7	LLM-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
7	LLM-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
7	LMN-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		5	
7	LMN-01	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	4		
7	LMN-01	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	2		
7	LMN-01	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	1		
7	LMN-01	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	1		22
7	LMN-01	Peixe dulcícola alternativo - Marabá	2		
7	LMN-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
7	LMN-01	Peixe estuarino alternativo 5 - *Caranx crysos* (xaréu)	1		
7	LNV-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		2	
7	LNV-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
7	LNV-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	
7	LNV-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		22
7	LNV-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
7	LNV-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
7	LPA-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		4	
7	LPA-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
7	LPA-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		23
7	LPA-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	
7	LPA-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	5		
7	RDO-11	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		6	
7	RDO-11	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
7	RDO-11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		23
7	RDO-11	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
7	RDO-11	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	5		
7	RDO-13	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
7	RDO-13	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		2	
7	RDO-13	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
7	RDO-13	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		2	20
7	RDO-13	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
7	RDO-13	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
7	RDO-13	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
7	RDO-15	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
7	RDO-15	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	
7	RDO-15	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		2	
7	RDO-15	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	1		
7	RDO-15	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		3	15
7	RDO-15	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		3	
7	RDO-15	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		2	
7	RDO-15	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
7	RDO-16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	6		24
7	RDO-16	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		6	
7	RDO-16	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		3	
7	RDO-16	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		2	
7	RDO-16	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
7	RDO-16	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
7	RGU-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		2	
7	RGU-01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		2	5
7	RGU-01	Peixe dulcícola alternativo - *Gymnotus* spp. (Sarapó)	1		
		Total Campanha 7	112	114	226
8	LAL-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		4	
8	LAL-01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		4	
8	LAL-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	17
8	LAL-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	3		
8	LAL-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	5		
8	LJP-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
8	LJP-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		6	
8	LJP-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
8	LJP-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	24
8	LJP-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
8	LJP-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	5		
8	LJP-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
8	LLM-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		5	
8	LLM-01	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	1		
8	LLM-01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		1	22
8	LLM-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
8	LLM-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
8	LLM-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
8	LMN-01	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	2		
8	LMN-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		5	
8	LMN-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		5	
8	LMN-01	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	1		19
8	LMN-01	Peixe dulcícola alternativo - Marabá	2		
8	LMN-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
8	LMN-01	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		
8	LMN-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
8	LNV-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		3	
8	LNV-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		4	
8	LNV-01	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	1		16
8	LNV-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
8	LNV-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
8	LPA-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		3	
8	LPA-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	19
8	LPA-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	3		
8	LPA-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		

8	LPA-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
8	RDO-11	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	3		
8	RDO-11	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
8	RDO-11	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	14
8	RDO-11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
8	RDO-11	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
8	RDO-13	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
8	RDO-13	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
8	RDO-13	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		1	
8	RDO-13	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		2	9
8	RDO-13	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		2	
8	RDO-13	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
8	RDO-15	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		3	
8	RDO-15	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		5	
8	RDO-15	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	14
8	RDO-15	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	3		
8	RDO-15	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
8	RDO-16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	6		
8	RDO-16	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	1		
8	RDO-16	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		3	
8	RDO-16	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
8	RDO-16	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		2	22
8	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		
8	RDO-16	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
8	RDO-16	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
8	RGU-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
8	RGU-01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus* affinis		1	
8	RGU-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		4	8
8	RGU-01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		2	
		Total Campanha 8	83	101	184
9	LAL-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		5	
9	LAL-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		2	
9	LAL-01	Peixe dulcícola alternativo - *Brycon orbignyanus* (Piracanjuba)		1	
9	LAL-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	3		17
9	LAL-01	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.		1	
9	LAL-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
9	LAL-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
9	LAL-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
9	LLM - 02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	
9	LLM - 02	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	1		
9	LLM - 02	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		2	22
9	LLM - 02	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
9	LLM - 02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
9	LLM - 02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
9	LLM - 02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
9	LLM - 02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
9	LLM-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		4	
9	LLM-01	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	2		
9	LLM-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
9	LLM-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	19
9	LLM-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
9	LLM-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
9	LLM-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
9	LMN-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		2	
9	LMN-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		6	
9	LMN-01	Peixe dulcícola alternativo - Marabá	2		
9	LMN-01	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		3	21
9	LMN-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
9	LMN-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	5		
9	LMN-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
9	LMN-02	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
9	LMN-02	Peixe dulcícola alternativo - Marabá	1		5
9	LMN-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
9	LNV-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		15	
9	LNV-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
9	LNV-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		33
9	LNV-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
9	LNV-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
9	LNV-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		2	
9	LNV-02	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	
9	LNV-02	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		3	17
9	LNV-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	
9	LNV-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		
9	LNV-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
9	LPA-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
9	LPA-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
9	LPA-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		23
9	LPA-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
9	LPA-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
9	LPA-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	
9	LPA-02	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	1		
9	LPA-02	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		3	22
9	LPA-02	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		3	
9	LPA-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		3	
9	LPA-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		

9	LPA-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
9	LPA-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
9	RDO-10	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	
9	RDO-10	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		7	
9	RDO-10	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	23
9	RDO-10	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	10		
9	RDO-11	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	2		
9	RDO-11	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		7	
9	RDO-11	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	1		
9	RDO-11	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	26
9	RDO-11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
9	RDO-11	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	4		
9	RD0-13	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
9	RD0-13	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
9	RDO-13	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	4		
9	RDO-13	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	
9	RDO-13	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	1		18
9	RDO-13	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
9	RDO-13	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		
9	RDO-13	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	2		
9	RDO-15	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		7	
9	RDO-15	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		2	
9	RDO-15	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		3	17
9	RDO-15	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.		5	
9	RDO-16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	5		
9	RDO-16	Peixe estuarino 3 - *Eucinostomus* sp.		6	
9	RDO-16	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		3	
9	RDO-16	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		3	21
9	RDO-16	*Cynoscion acoupa*	1		
9	RDO-16	*Centropomus*	2		
9	RDO-16	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
9	RMH-01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		1	2
9	RMH-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
9	UHE-AIM	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		6	
9	UHE-AIM	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	2		
9	UHE-AIM	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	24
9	UHE-AIM	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	9		
9	UHE-AIM	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
9	UHE-MAS	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		5	
9	UHE-MAS	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
9	UHE-MAS	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		19
9	UHE-MAS	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
9	UHE-MAS	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
		Total Campanha 9	146	183	329
10	LAL-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
10	LAL-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	7		
10	LAL-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		7	24
10	LAL-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
10	LAL-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		5	
10	LLM-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	
10	LLM-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.		5	
10	LLM-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		24
10	LLM-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	
10	LLM-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		5	
10	LLM-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
10	LLM-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
10	LLM-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
10	LLM-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	24
10	LLM-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	10		
10	LLM-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		8	
10	LMN-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
10	LMN-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
10	LMN-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
10	LMN-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		9	23
10	LMN-01	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		
10	LMN-01	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
10	LMN-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
10	LMN-02				20
10	LMN-02	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
10	LMN-02	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	1		
10	LMN-02	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		11	20
10	LMN-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
10	LMN-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
10	LNV-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
10	LNV-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	
10	LNV-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		4	24
10	LNV-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		4	
10	LNV-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
10	LNV-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
10	LNV-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
10	LNV-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	
10	LNV-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	3		16
10	LNV-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
10	LNV-02	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		2	

10	LNV-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
10	LPA-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	4		
10	LPA-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
10	LPA-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
10	LPA-01	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		3	24
10	LPA-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
10	LPA-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		2	
10	LPA-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
10	LPA-02	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum* litoralle		6	
10	LPA-02	Peixe dulcícola alternativo - *Gymnotus* spp. (Sarapô)	1		
10	LPA-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
10	LPA-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
10	LPA-02	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		2	25
10	LPA-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	
10	LPA-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	10		
10	LPA-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
10	RDO-11	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	1		
10	RDO-11	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
10	RDO-11	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
10	RDO-11	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		1	
10	RDO-11	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
10	RDO-11	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	19
10	RDO-11	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		2	
10	RDO-11	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
10	RDO-11	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
10	RDO-11	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	2		
10	RDO-13	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
10	RDO-13	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
10	RDO-13	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		4	
10	RDO-13	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	1		18
10	RDO-13	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
10	RDO-13	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		2	
10	RDO-13	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
10	RDO-15	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	8		
10	RDO-15	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
10	RDO-15	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		2	
10	RDO-15	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		22
10	RDO-15	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		5	
10	RDO-15	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
10	RDO-15	Peixe estuarino alternativo 8 - *Mugil* sp. (tainha)		4	
10	RDO-16	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
10	RDO-16	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		24
10	RDO-16	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
10	RDO-16	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
10	RDO-16	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
10	RDO-16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	4		
10	RDO-16	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	1		
10	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 5 - *Caranx crysos* (xaréu)	1		
10	RMH-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	8		
10	RMH-01	Peixe alternativo 3 - *Astyanax* spp.		2	
10	RMH-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	17
10	RMH-01	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		5	
10	RMH-01	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	1		
10	RDO-10	Megalancistrus parananus - Cascudo abacaxi		2	
10	RDO-10	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
10	RDO-10	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
10	RDO-10	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	
10	RDO-10	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	1		22
10	RDO-10	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		2	
10	RDO-10	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	9		
10	RDO-10	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
10	RDO-10	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	
10	RDO-10	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
10	UHEMAS	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	1		
10	UHEMAS	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
10	UHEMAS	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
10	UHEMAS	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		5	
10	UHEMAS	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		5	25
10	UHEMAS	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
10	UHEMAS	Peixe dulcícola alternativo - *Oligosarcus acutirostris*	2		
10	UHEMAS	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
10	UHEMAS	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
10	UHEAIM	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
10	UHEAIM	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		3	
10	UHEAIM	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	3		
10	UHEAIM	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		3	
10	UHEAIM	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	6		24
10	UHEAIM	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	
10	UHEAIM	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	
10	UHEAIM	Peixe estuarino 2 - *Pomadasys ramosus*		1	
		Total Campanha 10	178	197	375
11	LAL-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		8	
11	LAL-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		24
11	LAL-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	7		
11	LAL-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		

11	LAL-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
11	LAL-01	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	
11	LAL-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		2	
11	LLM-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
11	LLM-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
11	LLM-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	24
11	LLM-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		7	
11	LLM-01	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	
11	LLM-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
11	LLM-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		4	
11	LLM-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		7	
11	LLM-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	7		24
11	LLM-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
11	LLM-02	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	
11	LMN-1	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
11	LMN-1	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
11	LMN-1	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	7		
11	LMN-1	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	24
11	LMN-1	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
11	LMN-1	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		8	
11	LMN-1	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		2	
11	LMN-02	Camurupim (Pirapema) *Megalops atlanticus*	1		
11	LMN-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
11	LMN-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		
11	LMN-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		24
11	LMN-02	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		3	
11	LMN-02	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		9	
11	LMN-02	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	2		
11	LNV-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
11	LNV-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
11	LNV-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	9		24
11	LNV-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
11	LNV-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		7	
11	LNV-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
11	LNV-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		2	
11	LNV-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		9	
11	LNV-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		24
11	LNV-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	6		
11	LNV-02	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
11	LPA-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
11	LPA-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	24
11	LPA-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		7	
11	LPA-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	8		
11	LPA-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	
11	LPA-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
11	LPA-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
11	LPA-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		4	
11	LPA-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		7	
11	LPA-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		24
11	LPA-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
11	LPA-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
11	RDO-11	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
11	RDO-11	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
11	RDO-11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	11		24
11	RDO-11	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		2	
11	RDO-11	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		4	
11	RDO-13	*Megalancistrus parananus* (cascudo abacaxi)		1	
11	RDO-13	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
11	RDO-13	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
11	RDO-13	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	7		
11	RDO-13	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		21
11	RDO-13	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	
11	RDO-13	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
11	RDO-13	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	2		
11	RDO-13	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	3		
11	RDO-15	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
11	RDO-15	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
11	RDO-15	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		4	
11	RDO-15	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		5	
11	RDO-15	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		3	24
11	RDO-15	Peixe dulcícola alternativo - Pacumã	1		
11	RDO-15	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	7		
11	RDO-15	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	2		
11	RDO-16	*Megalancistrus parananus* (cascudo abacaxi)		3	
11	RDO-16	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
11	RDO-16	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		4	
11	RDO-16	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
11	RDO-16	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	24
11	RDO-16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	1		
11	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	10		
11	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 8 - *Mugil* sp. (tainha)		3	
11	RMH-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
11	RMH-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
11	RMH-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	16
11	RMH-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	

11	RMH-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
11	RMH-01	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		1	
11	RMH-01	Peixe dulcícola alternativo - Pacumã	3		
11	RDO-10	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
11	RDO-10	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		3	
11	RDO-10	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
11	RDO-10	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	24
11	RDO-10	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		4	
11	RDO-10	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		2	
11	RDO-10	Peixe estuarino 2 - *Pomadasys ramosus*		1	
11	UHEMAS	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
11	UHEMAS	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	
11	UHEMAS	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	8		
11	UHEMAS	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		7	24
11	UHEMAS	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		1	
11	UHEMAS	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
11	UHEAIM	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
11	UHEAIM	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
11	UHEAIM	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
11	UHEAIM	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
11	UHEAIM	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		6	24
11	UHEAIM	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	5		
11	UHEAIM	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		2	
11	UHEAIM	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		2	
		Total Campanha 11	206	191	397
12	LAL-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
12	LAL-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
12	LAL-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
12	LAL-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		8	24
12	LAL-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
12	LAL-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		3	
12	LAL-01	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	1		
12	LLM-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	8		
12	LLM-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		4	
12	LLM-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
12	LLM-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		24
12	LLM-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
12	LLM-01	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	
12	LLM-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	8		
12	LLM-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		7	
12	LLM-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	24
12	LLM-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
12	LLM-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
12	LLM-02	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	1		
12	LMN-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
12	LMN-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	8		
12	LMN-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		24
12	LMN-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		11	
12	LMN-01	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
12	LMN-02	Caratinga		1	
12	LMN-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
12	LMN-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	5		
12	LMN-02	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	24
12	LMN-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
12	LMN-02	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
12	LMN-02	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		8	
12	LMN-02	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	2		
12	LNV-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
12	LNV-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	
12	LNV-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		3	
12	LNV-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	7		21
12	LNV-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	5		
12	LNV-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
12	LNV-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
12	LNV-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		5	
12	LNV-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		4	
12	LNV-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		16
12	LNV-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	4		
12	LNV-02	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	1		
12	LNV-02	Peixe estuarino alternativo 8 - *Mugil* sp. (tainha)		1	
12	LPA-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
12	LPA-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
12	LPA-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	8		24
12	LPA-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	4		
12	LPA-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		7	
12	LPA-01	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		3	
12	LPA-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	7		
12	LPA-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		7	
12	LPA-02	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		2	
12	LPA-02	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		24
12	LPA-02	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		2	
12	LPA-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
12	LPA-02	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	
12	RDO-11	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		24
12	RDO-11	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	

12	RDO-11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	6		
12	RDO-11	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
12	RDO-11	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		6	
12	RDO-11	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
12	RDO-11	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	1		
12	RDO-13	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
12	RDO-13	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
12	RDO-13	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
12	RDO-13	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		12
12	RDO-13	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	1		
12	RDO-13	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	1		
12	RDO-15	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	8		
12	RDO-15	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
12	RDO-15	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
12	RDO-15	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		10	24
12	RDO-15	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
12	RDO-15	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	1		
12	RDO-16	*Megalancistrus parananus* (cascudo abacaxi)		3	
12	RDO-16	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	7		
12	RDO-16	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
12	RDO-16	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
12	RDO-16	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	24
12	RDO-16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	3		
12	RDO-16	Peixe estuarino 2 - *Pomadasys ramosus*		3	
12	RDO-16	Peixe estuarino 3 - *Eucinostomus* sp.		3	
12	RMH-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	6		
12	RMH-01	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
12	RMH-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	10
12	RMH-01	Peixe dulcícola alternativo - Pacumã	2		
12	RDO-10	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	7		
12	RDO-10	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
12	RDO-10	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
12	RDO-10	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		24
12	RDO-10	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		5	
12	RDO-10	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
12	RDO-10	Peixe estuarino 2 - *Pomadasys ramosus*		1	
12	UHEMAS	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
12	UHEMAS	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		7	
12	UHEMAS	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	10		
12	UHEMAS	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		3	24
12	UHEMAS	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
12	UHEMAS	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
12	UHEMAS	Peixe dulcícola alternativo - Pacumã	1		
12	UHEAIM	*Megalancistrus parananus* (cascudo abacaxi)		2	
12	UHEAIM	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	4		
12	UHEAIM	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		9	24
12	UHEAIM	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	8		
12	UHEAIM	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		1	
		Total Campanha 12	194	177	371
13	E-27	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		6	
13	E-27	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	10		
13	E-27	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		24
13	E-27	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		6	
13	LAL-01	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
13	LAL-01	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	9		
13	LAL-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		12
13	LAL-01	Peixe dulcícola alternativo - *Crenicichla* ssp. (joaninha)	1		
13	LLM-03R	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
13	LLM-03R	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		11	
13	LLM-03R	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	11		24
13	LLM-03R	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
13	LMN-02R	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
13	LMN-02R	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
13	LMN-02R	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	4		24
13	LMN-02R	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		12	
13	LMN-02R	*Trachinotus* sp	1		
13	LNV-02R	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
13	LNV-02R	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
13	LNV-02R	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	11		24
13	LNV-02R	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		7	
13	RDO-11	*Megalancistrus parananus* (cascudo abacaxi)		1	
13	RDO-11	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	1		
13	RDO-11	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		2	
13	RDO-11	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	1		
13	RDO-11	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		4	
13	RDO-11	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		3	24
13	RDO-11	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	4		
13	RDO-11	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		1	
13	RDO-11	Peixe dulcícola alternativo - Pacumã	1		
13	RDO-11	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	6		
13	RDO-12	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
13	RDO-12	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
13	RDO-12	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		11
13	RDO-12	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.		1	

13	RDO-14	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	2		
13	RDO-14	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		1	
13	RDO-14	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	11		
13	RDO-14	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	
13	RDO-14	Peixe alvo 2 - *Hypostomus affinis*		2	24
13	RDO-14	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		1	
13	RDO-14	Peixe dulcícola alternativo - Dourado	1		
13	RDO-14	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		3	
13	RDO-14	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	2		
13	RDO-15	*Megalancistrus parananus* (cascudo abacaxi)		1	
13	RDO-15	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	9		
13	RDO-15	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		1	
13	RDO-15	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	4		
13	RDO-15	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		1	24
13	RDO-15	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		2	
13	RDO-15	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	2		
13	RDO-15	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
13	RDO-15	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		2	
13	RDO-16	*Megalancistrus parananus* (cascudo abacaxi)		1	
13	RDO-16	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	2		
13	RDO-16	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
13	RDO-16	Peixe alvo 4 - *Prochilodus lineatus*		11	24
13	RDO-16	Peixe estuarino 1 - *Genidens* spp.	3		
13	RDO-16	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	1		
13	RDO-16	Peixe estuarino alternativo 1 - *Centropomus* sp.	3		
13	RGU-02	*Megalancistrus parananus* (cascudo abacaxi)		2	
13	RGU-02	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	3		
13	RGU-02	Peixe alternativo 2 - *Geophagus* sp.		3	24
13	RGU-02	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		7	
13	RGU-02	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
13	RGU-02	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	8		
13	RMH-01	Megalancistrus parananus (cascudo abacaxi)		1	
13	RMH-01	Peixe alternativo 1 - *Hoplias* sp.	7		
13	RMH-01	Peixe alternativo 6 - *Hoplosternum litoralle*		1	
13	RMH-01	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		2	15
13	RMH-01	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
13	RMH-01	Peixe alvo 3 - *Pimelodus maculatus*		2	
13	RMH-01	Peixe dulcícola alternativo - *Leporinus* sp. (piau)		1	
13	UHEAIM	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		7	
13	UHEAIM	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	11		
13	UHEAIM	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		3	24
13	UHEAIM	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	1		
13	UHEAIM	Peixe dulcícola alternativo - *Astronotus ocellatus* (oscar)		2	
13	UHEMAS	Peixe alternativo 4 - *Metynnis maculatus*		5	
13	UHEMAS	Peixe alternativo 5 - *Pygocentrus* sp.	3		
13	UHEMAS	Peixe alternativo 7 - *Tracheolypterus striatulus*		4	24
13	UHEMAS	Peixe alternativo 8 - Cascudo chinelo		3	
13	UHEMAS	Peixe alvo 1 - *Cichla* sp.	3		
13	UHEMAS	Peixe estuarino 4 - Corvina Rio	6		
		Total Campanha 13	164	138	302
14	E-27	Curimba		1	
14	E-27	Mandi		11	
14	E-27	Piranha	8		24
14	E-27	Piranha branca	3		
14	E-27	Cambuto	1		
14	LAL-01	Cambuto		5	
14	LAL-01	Curimba		5	
14	LAL-01	Dourado	1		
14	LAL-01	Pacu		2	24
14	LAL-01	Piranha branca	2		
14	LAL-01	Piranha vermelha	3		
14	LAL-01	Traíra	5		
14	LAL-01	Tucunaré	1		
14	LLM-03R	Pacu		11	
14	LLM-03R	Piranha	5		
14	LLM-03R	Piranha branca	1		24
14	LLM-03R	Tainha		1	
14	LLM-03R	Traíra	3		
14	LLM-03R	Tucunaré	3		
14	LMN-02R	Carapeba		1	
14	LMN-02R	Curimba		3	
14	LMN-02R	Mandi amarelo		1	
14	LMN-02R	Pacu		1	
14	LMN-02R	Piranha vermelha	4		24
14	LMN-02R	Robalo	5		
14	LMN-02R	Tainha		2	
14	LMN-02R	Traíra	4		
14	LMN-02R	Tucunaré	3		
14	LNV-02R	Acará		3	
14	LNV-02R	Curimba		3	
14	LNV-02R	Joaninha	1		
14	LNV-02R	Pacu		4	24
14	LNV-02R	Piranha branca	3		
14	LNV-02R	Piranha vermelha	5		
14	LNV-02R	Traíra	1		
14	LNV-02R	Tucunaré	4		

14	RDO-11	Corvina	6		
14	RDO-11	Mandi amarelo		12	
14	RDO-11	Traíra	3		24
14	RDO-11	Tucunaré	3		
14	RDO-12	Corvina	2		
14	RDO-12	Dourado	4		
14	RDO-12	Mandi amarelo		1	
14	RDO-12	Robalo	2		16
14	RDO-12	Traíra	2		
14	RDO-12	Tucunaré	5		
14	RDO-14	Cascudo chinelo		3	
14	RDO-14	Cascudo abacaxi		2	
14	RDO-14	Dourado	3		
14	RDO-14	Mandi		1	
14	RDO-14	Pacu		1	
14	RDO-14	Pacumã	1		24
14	RDO-14	Piranha	7		
14	RDO-14	Piranha branca	2		
14	RDO-14	Traíra	2		
14	RDO-14	Tucunaré	2		
14	RDO-15	Cascudo chinelo		4	
14	RDO-15	Curimba		1	
14	RDO-15	Mandi		7	
14	RDO-15	Piranha	1		24
14	RDO-15	Piranha branca	6		
14	RDO-15	Traíra	3		
14	RDO-15	Tucunaré	2		
14	RDO-16	Corvina	3		
14	RDO-16	Curimba		2	
14	RDO-16	Mandi		9	
14	RDO-16	Oscar		1	24
14	RDO-16	Piranha	2		
14	RDO-16	Traíra	5		
14	RDO-16	Tucunaré	2		
14	RGU-02	Acará		4	
14	RGU-02	Cascudo chinelo		8	
14	RGU-02	Corvina	1		
14	RGU-02	Jundiá	1		24
14	RGU-02	Mandi		2	
14	RGU-02	Traíra	5		
14	RGU-02	Tucunaré	3		
14	RMH-01	Acará		15	24
14	RMH-01	Cascudo chinelo		2	
14	RMH-01	Traíra	7		
14	UHEAIM	Corvina	1		
14	UHEAIM	Mandi amarelo		12	
14	UHEAIM	Piranha vermelha	4		24
14	UHEAIM	Traíra	2		
14	UHEAIM	Tucunaré	5		
14	UHEMAS	Cascudo abacaxi		1	
14	UHEMAS	Cascudo chinelo		7	
14	UHEMAS	Corvina	4		
14	UHEMAS	Cumbaca		1	24
14	UHEMAS	Mandi		3	
14	UHEMAS	Piranha	3		
14	UHEMAS	Traíra	4		
14	UHEMAS	Tucunaré	1		
	Total Campanha 14		175	153	328
15	E-27	Acará		2	
15	E-27	Curimba		1	
15	E-27	Mandi		1	
15	E-27	Pacu		2	24
15	E-27	Piranha	10		
15	E-27	Piranha Branca	4		
15	E-27	Tucunaré	4		
15	LAL-01	Curimba		7	
15	LAL-01	Pacu		5	
15	LAL-01	Piranha	5		24
15	LAL-01	Piranha Branca	4		
15	LAL-01	Traíra	2		
15	LAL-01	Tucunaré	1		
15	LLM-03R				0
15	LMN-02R	Camboatá		3	
15	LMN-02R	Camurupim		1	
15	LMN-02R	Curimba		5	
15	LMN-02R	Mandi		3	
15	LMN-02R	Piranha	1		24
15	LMN-02R	Piranha Branca	1		
15	LMN-02R	Robalo	3		
15	LMN-02R	Tainha		1	
15	LMN-02R	Traíra	3		
15	LMN-02R	Xaréu	3		
15	LNV-02R	Curimba		3	
15	LNV-02R	Mandi		4	24
15	LNV-02R	Pacu		3	
15	LNV-02R	Piau		1	

15	LNV-02R	Piranha	9		
15	LNV-02R	Tainha	1		
15	LNV-02R	Tucunaré	3		
15	RDO-11	Cascudo abacaxi		1	
15	RDO-11	Cascudo chinelo		2	
15	RDO-11	Corvina de água doce	4		
15	RDO-11	Mandi		3	24
15	RDO-11	Pacu		6	
15	RDO-11	Piranha	8		
15	RDO-12	Dourado	1		
15	RDO-12	Mandi		11	
15	RDO-12	Piau		1	
15	RDO-12	Piranha Branca	3		24
15	RDO-12	Robalo	6		
15	RDO-12	Tucunaré	2		
15	RDO-14	Acará		1	
15	RDO-14	cascudo abacaxi		1	
15	RDO-14	Curimba		2	
15	RDO-14	Dourado	1		
15	RDO-14	Mandi		3	
15	RDO-14	Pacu		1	
15	RDO-14	Piranha	1		24
15	RDO-14	Piranha Branca	1		
15	RDO-14	Robalo	4		
15	RDO-14	Ticupá	1		
15	RDO-14	Traíra	3		
15	RDO-14	Tucunaré	5		
15	RDO-15	Curimba		3	
15	RDO-15	Pacu		1	
15	RDO-15	Piranha	8		
15	RDO-15	Piranha vermelha	3		24
15	RDO-15	Piranha Branca	2		
15	RDO-15	Traíra	4		
15	RDO-15	Tucunaré	3		
15	RDO-16	Camboatá		1	
15	RDO-16	cascudo abacaxi		2	
15	RDO-16	Curimba		1	
15	RDO-16	Mandi		1	
15	RDO-16	Maria Luiza		1	24
15	RDO-16	Piau		2	
15	RDO-16	Piranha	7		
15	RDO-16	Robalo	3		
15	RDO-16	Tainha	2		
15	RDO-16	Ticupá		2	
15	RDO-16	Traíra		1	
15	RDO-16	Tucunaré	1		
15	RGU-02	Acará		1	
15	RGU-02	Bagre Cumbaca		1	
15	RGU-02	Corvina de água doce	1		
15	RGU-02	Mandi		1	
15	RGU-02	Pacu		9	24
15	RGU-02	Piranha	6		
15	RGU-02	Traíra	3		
15	RGU-02	Tucunaré	2		
15	RMH-01	Acará		4	
15	RMH-01	cascudo abacaxi		4	
15	RMH-01	Cascudo chinelo		2	
15	RMH-01	Curimba		1	24
15	RMH-01	Pacumã	2		
15	RMH-01	Piau		3	
15	RMH-01	Traíra	8		
15	UHEAIM	cascudo abacaxi		1	
15	UHEAIM	Corvina de água doce	3		
15	UHEAIM	Pacu		11	24
15	UHEAIM	Piranha	6		
15	UHEAIM	Traíra	1		
15	UHEAIM	Tucunaré	2		
15	UHEMAS	Bagre Cumbaca		10	
15	UHEMAS	Pacu		2	
15	UHEMAS	Piranha	2		24
15	UHEMAS	Traíra	3		
15	UHEMAS	Tucunaré	7		
	Total Campanha 15		173	139	312

Para as coletas de zooplâncton foram realizados arrastos verticais oblíquos com rede tipo WP-2 de 60 cm de diâmetro de boca e malha de 200 µm. Para as coletas de fitoplâncton foram realizados arrastos verticais oblíquos com rede de 60 cm de diâmetro de boca e malha de 60 µm. O material obtido em cada arrasto foi retirado dos copos coletores com auxílio de peneiras e pissetas contendo água do ponto de coleta. Primeiramente, o material foi filtrado em peneiras de 500 µm para a retirada de peixes e outros organismos, bem como partículas grandes. Posteriormente, o material foi filtrado em uma peneira de 63 µm para concentrar o fitoplâncton. As amostras resultantes da última filtragem foram alíquotadas em tubos criogênicos devidamente identificados, para análise da concentração de metais e As e para análise de biomarcadores. As amostras foram mantidas em nitrogênio líquido até o transporte para a Universidade Federal do Rio Grande - FURG, onde foram armazenadas em ultrafreezer à -80ºC. No total, foram realizados 5 arrastos para fitoplâncton e 5 arrastos para zooplâncton (com duração entre 10 e 15 min para cada arrasto) em cada ponto amostral.

No caso dos camarões, a coleta foi realizada com utilização de diversos petrechos de pesca, conforme o ambiente (por exemplo: redes de cerco, redes de arrasto, covos e peneiras). Os animais coletados foram previamente crioanestesiados (~2 min) e o comprimento total (rostro ao telson) foi mensurado. As amostras dos tecidos (brânquias, músculo e hepatopâncreas) foram coletadas utilizando-se material cirúrgico inoxidável ou plástico, para posterior análise de metais e As e a análise de biomarcadores. A sequência dos procedimentos encontra-se descrita abaixo.

Para a coleta de tecidos de camarões, as brânquias foram cuidadosamente dissecadas com o auxílio de microtesoura. O tecido branquial de cada indivíduo foi destinado para a análise das concentrações de metais e As (n = 6), análise de lipoperoxidação (n = 6) e conteúdo de metalotioneínas (n = 6). Os criotubos (2 mL) contendo as brânquias foram imediatamente armazenados em nitrogênio líquido. Após a retirada da carapaça do cefalotórax dos camarões, o hepatopâncreas de cada indivíduo foi dissecado, acondicionado em criotubo (2 mL) e destinado à análise das concentrações de metais e As (n = 6). Uma porção do tecido hepatopancreático de outro indivíduo foi coletada, acondicionada em criotubo (2 mL) e destinada à análise da concentração de metalotioneínas (n = 6). Uma segunda porção do tecido foi coletada, acondicionada em criotubo (2 mL) e destinada à análise da lipoperoxidação (n = 6). Por fim, uma terceira porção do tecido foi coletada, acondicionada em criotubo (2 mL) e destinada à análise de proteínas carboniladas (n = 6). Todo o material foi imediatamente congelado em nitrogênio líquido. Após a retirada da carapaça dos camarões, o músculo abdominal foi coletado, acondicionado em criotubo (2 mL) e destinado à análise da concentração de proteínas carboniladas (n = 6) e sítios AP (apurínicos/apirimídicos – danos ao DNA) (n = 6). Para análise das concentrações de metais e As no tecido muscular, as amostras foram coletadas conforme descrito anteriormente. Durante a coleta, foram retirados o cordão nervoso ventral e o intestino do animal, antes de congelar o músculo.

Para a amostragem de peixes nas drenagens com maior volume de água ao longo da porção capixaba do rio Doce, foram utilizadas redes de emalhar de diferentes malhas (15, 25, 35, 50 e 60 mm entre nós adjacentes), cada qual com 100 m de comprimento. Em cada ponto de amostragem, ao final da tarde, foram armados três conjuntos de redes com unidades de todas as malhas, sendo os mesmos retirados na manhã do dia seguinte, permanecendo, portanto, na coluna d'água por, aproximadamente, 12 h. As

coletas foram realizadas com o auxílio de pescadores profissionais locais, geralmente associados a colônias e associação de pescadores, com o apoio de barcos a remo e a motor. Além das redes de emalhar, foram utilizadas rede de arrasto, peneiras e tarrafa (malha 20 mm). As coletas foram realizadas sem esforço padronizado, possibilitando explorar todos os tipos de ambientes disponíveis (corredeiras, poços, locas etc.) na área estudada, a fim de se obter o número amostral necessário para as análises das concentrações de metais e As, bem como de biomarcadores. As peneiras foram posicionadas perpendicularmente ao substrato, com a boca voltada para montante, sendo o substrato à sua frente revolvido com os pés e mãos, com o objetivo de desalojar os peixes, os quais eram conduzidos pela corrente para dentro da peneira. Já a rede de arrasto foi puxada por duas pessoas, cada qual em uma extremidade, posicionando-a paralelamente à margem e percorrendo-se todo o espaço à sua frente, de tal forma que todos os peixes que se abrigavam na vegetação marginal pudessem ser capturados pela rede. Os trechos foram percorridos de jusante a montante (contra o fluxo da água) para evitar a ressuspensão do sedimento, o que pode afugentar os animais.

Após a captura, os peixes foram identificados e mantidos em caixas plásticas com água do próprio local com aeração constante. Para as análises das concentrações de metais e As, bem como dos biomarcadores, os espécimes foram retirados das caixas plásticas, anestesiados (hidrocloridrato de benzocaína a 250 mg/L), medidos (mm), pesados (g), eutanasiados com dose letal de hidrocloridrato de benzocaína (500 mg/L) e então dissecados para coleta das amostras dos tecidos/órgãos alvo, conforme descrito a seguir.

As brânquias foram cuidadosamente dissecadas da cavidade opercular, com auxílio de pinça e tesoura, evitando-se ao máximo tocar os filamentos branquiais. Os arcos branquiais foram separados em placas de Petri contendo solução fisiológica para peixes. O segundo arco branquial direito foi lavado delicadamente com pincel macio e solução fisiológica para a retirada do excesso de sangue e muco. Após isso, foi fixado em solução de Bouin (6-8 h) para posterior análise morfológica. Após o período de fixação, a solução fixadora foi substituída por álcool 70%, o qual foi trocado diariamente, até a completa remoção do fixador. Os arcos branquiais restantes foram acondicionados em criotubos e imediatamente congelados em nitrogênio líquido.

Após a dissecção das brânquias, a cavidade abdominal dos peixes foi exposta, utilizando-se uma tesoura. A seguir, o fígado dos peixes foi dissecado com o auxílio de pinças curvas, tentando-se remover os lobos hepáticos da forma mais íntegra possível. O órgão foi dividido para as análises de contaminantes (metais e As), histológicas e de biomarcadores. Para as análises histológicas, o órgão foi fixado em solução de Bouin (6-8 h) e, posteriormente, conservado em álcool 70%. Para a avaliação dos biomarcadores bioquímicos, as amostras foram acondicionadas em criotubos e imediatamente congeladas em nitrogênio líquido. Por fim, uma amostra de músculo da região dorsal (musculatura hipoaxial) foi dissecada removendo-se as escamas e a pele. A coleta de amostras de músculo para análise das concentrações de metais e As seguiram as recomendações descritas anteriormente. Após a dissecção dos animais em campo, a carcaça foi descartada no local de coleta (campo).

Todas as amostras biológicas destinadas às análises de metais e As foram acondicionadas em frascos plásticos previamente limpos com ácido nítrico (Suprapur, Merck) e enxaguados em água MilliQ. Estas amostras foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e seguiram para o transporte até o laboratório, onde foram mantidas congeladas em freezer comum (-20ºC) até o momento das análises. Nestas 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). Da mesma forma, as amostras dos organismos coletados para as análises de biomarcadores foram acondicionadas em tubos criogênicos e congeladas (nitrogênio líquido) em campo. As amostras congeladas foram transportadas para o laboratório, onde foram mantidas congeladas em ultrafreezer (-80ºC). Foram realizadas as análises dos biomarcadores em tecidos específicos dos organismos, considerando-se a natureza de cada biomarcador, conforme detalhado mais adiante.

A partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), que corresponde ao início do Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES, ocorreram algumas modificações na destinação das amostras de tecidos biológicos para as análises de biomarcadores e no conjunto de biomarcadores analisados por grupo de organismo, seguindo a Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022 (Novo Ciclo). Estas modificações estão descritas na sessão abaixo “Análises de Laboratório”.

Para o monitoramento da comunidade microbiana total, amostras de água (superfície e fundo) e sedimento foram coletadas, em triplicata, em cada ponto de coleta, seguindo-se as respectivas metodologias descritas acima. As amostras de água foram transferidas para garrafas plásticas de 1 L identificadas de acordo com o ponto de coleta, réplica e profundidade. As amostras coletadas foram acondicionadas em ambiente fresco ou refrigerado até o momento da filtragem. Após a filtragem da amostra através de duas membranas (1.2 µm e 0.22 µm), os filtros foram recolhidos e acondicionados em tubos de 5 mL, os quais foram estocados em caixas especificas e congelados (-20°C). Por sua vez, as amostras de sedimento foram acondicionadas em tubos tipo Falcon de 15 mL, os quais foram estocados em sacos plásticos e mantidos congelados (-20°C) até o momento da análise.

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, sedimento e biota 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 e as alíquotas do ambiente dulcícola, com a especificação de congelamento, foram mantidas congeladas.

(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 – período seco), 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.

(4) A quantidade da massa de tecido muscular coletada por organismo foi aumentada, incrementando assim a representatividade da amostra e possibilitando, minimamente, a análise em duplicatas, para verificação de variações e precisão nos resultados e a robustez nas análises. Foi garantida massa úmida de 0,25 g em cada amostra de músculo de pescado. Organismos pequenos, como por exemplo camarões de água doce, foram amostrados em pools. As amostras de músculo de pescado destinadas à quantificação de elementos-traço foram acondicionadas em sacos zip e mantidas congeladas, com a identificação em papel vegetal, facilitando assim a secagem e posterior armazenamento dessas amostras.

As determinações dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de água e sedimento coletadas até Campanha 7 (março 2022 – período chuvoso) foram analisados por laboratórios especializados do PMBA, enquanto que as amostras coletadas na 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) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco) foram encaminhadas para análise em laboratórios acreditados, por determinação da Fundação Renova.

2.2 ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Avaliação da microbiota em água e sedimento

A análise da microbiota total em amostras de água e sedimento foi realizada através da extração do DNA total, utilizando-se um kit comercial de reagentes (*PowerSoil DNA isolation kit*, Qiagen), seguindo orientações do fabricante. Posteriormente, foi realizado o sequenciamento de DNA, utilizando-se sequenciadores de nova geração (Illumina MiSeq). As leituras foram geradas e processadas utilizando-se o software Qiime2 v2023.5. Após a obtenção das sequencias curadas, análises de ordenação, abundância relativa e diversidade foram realizadas com a utilização do software R. A análise das sequências obtidas permitiu a avaliação do core microbiano e os microrganismos presentes nas diferentes amostras, pontos amostrais e períodos amostrais, correlacionando-se estatisticamente os resultados de diversidade microbiana obtidos com as demais análises realizadas no programa de monitoramento. Essa avaliação é importante não apenas para indicar possíveis alterações ambientais temporais e/ou pontuais, bem como para apontar bioindicadores microbianos específicos da presença de metais e As nas diferentes áreas amostradas e que podem ser rastreados em áreas adjacentes.

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

Para a extração dos metais e As totais e dissolvidos 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 nas Campanhas 1 a 7, bem como nas amostras biológicas (exceto músculo de pescado: camarões e peixes) coletadas nas Campanhas de 8 a 12, 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. Por sua vez, as amostras de água, sedimento e músculo de pescado (camarões e peixes) coletadas nas Campanhas 8 a 12 foram analisadas em laboratórios acreditados, por determinação da Fundação Renova. Na Campanha 13, as amostras deixaram de ser analisadas em laboratórios acreditados e voltaram a ser analisadas nos laboratórios especializados do PMBA, seguindo a metodologia descrita anteriormente.

Os valores das concentrações dos 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 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 plâncton, invertebrados e peixes coletados no presente programa de monitoramento, considerando-se os potenciais efeitos biológicos dos metais (desequilíbrio iônico e osmótico, inibição enzimática, oxidação de biomoléculas e danos morfológicos) nos respectivos tecidos e organismos coletados. Os biomarcadores analisados ao longo do monitoramento do PMBA encontram-se listados no Quadro 2 e as metodologias das análises encontram-se descritas abaixo. Para fins de praticidade e rapidez na realização das análises, bem como de precisão e reprodutibilidade dos resultados, sempre que possível, foram utilizados kits comerciais de reagentes específicos que utilizam metodologia semelhante àquelas descritas abaixo, para a determinação dos respectivos biomarcadores.

Quadro 2: Lista dos biomarcadores analisados nas amostras de organismos, coletados nas diferentes áreas do monitoramento do Ambiente dulcícola 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 e 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). "-" indica que a análise não faz mais parte do Plano de Trabalho.

	BIOMARCADOR (classificação: efeito/exposição)		
AMOSTRA	**ANO 1**	**ANO 2 ATÉ ANO 4**	**ANOS 5, 6, 7 e 8**
Fitoplâncton	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO- efeito)
Zooplâncton	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Composição iônica corporal (Ca, K, Mg e Na - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Composição iônica corporal (Ca, K, Mg e Na - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)
Larvas de quironomídeos	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Composição iônica corporal (Ca, K, Mg e Na - efeito) ❖ Atividade da NKA (efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Composição iônica corporal (Ca, K, Mg e Na - efeito) ❖ Atividade da NKA (efeito)	-
Hemolinfa de camarões	❖ Danos de DNA (MN e Sítios AP - efeito) ❖ Composição iônica hemolinfática (Ca, K, Mg e Na - efeito)	❖ Danos ao DNA (Sítios AP - efeito)	-
Brânquias de camarões	❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Atividade da NKA (efeito)	❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Atividade da NKA (efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MTO - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)

AMOSTRA	BIOMARCADOR (classificação: efeito/exposição) ANO 1	ANO 2 ATÉ ANO 4	ANOS 5, 6, 7 e 8
Hepatopâncreas de camarões	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)
Músculo de camarões	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito) ❖ Danos ao DNA (Sítios AP - efeito)
Sangue de peixes	❖ Danos ao DNA (MN e Sítios AP - efeito) ❖ Composição iônica plasmática (Ca, K, Mg e Na - efeito) ❖ Desreguladores endócrinos (Vtg e Zrp - efeito)	❖ Danos ao DNA (MN e Sítios AP - efeito) ❖ Desreguladores endócrinos (Vtg e Zrp - efeito)	-
Brânquias de peixes	❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (MDH e LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)	❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (MDH e LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito) ❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito) ❖ Danos ao DNA (Sítios AP - efeito)

AMOSTRA	BIOMARCADOR (classificação: efeito/exposição) ANO 1	ANO 2 ATÉ ANO 4	ANOS 5, 6, 7 e 8
Fígado de peixes	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (MDH e LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (MDH e LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito) ❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)
Músculo de peixes	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)	-

CAT = atividade da enzima catalase; IL = índices médios de lesões histopatológicas; LDH = atividade da enzima lactato desidrogenase; LPO = lipoperoxidação; MN = teste de micronúcleo; MT = concentração de metalotioneína; NKA = NA, K-ATPase; sítios AP = níveis de Sítios AP (apurínicos/apirimídicos); PCO = proteínas carboniladas; SOD = atividade de superóxido dismutase; Vtg = vitelogenina; e Zrp = proteínas da zona radiata.

A determinação da concentração de metalotioneínas (MT) foi realizada através 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 do kit. Os resultados foram expressos em µg MT/mg proteína.

A atividade da lactato desidrogenase (LDH) foi analisada em homogeneizados das amostras de brânquias e fígado dos peixes coletados durante o monitoramento dulcícola. Os homogeneizados foram realizados por maceração mecânica em mistura de tampão fosfato de potássio (pH 7,46) e inibidor de protease. Após centrifugação, o sobrenadante obtido foi utilizado para as análises da atividade da LDH. A avaliação da atividade de LDH foi realizada utilizando-se um kit comercial de reagentes (Desidrogenase Lática LDH UV, Bioclin). A análise enzimática da LDH está baseada no procedimento indicado pelo fabricante do kit, bem como na metodologia descrita por Childress & Somero (1979) e adaptada por Ribeiro et al. (2015). A dosagem de proteínas totais dos homogeneizados foi realizada através do método de Bradford (1976). As atividades enzimáticas foram expressas em Unidade Enzimática/mg de proteína.

A atividade da enzima catalase (CAT) foi determinada através da análise do decréscimo da concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), conforme descrito por Aebi (1984). Por sua vez, a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) foi medida através da taxa de inibição da auto-oxidação do pirogalol, de acordo com o protocolo descrito por Marklund & Marklund (1974). A dosagem de proteínas totais dos homogeneizados foi realizada através do método de Bradford (1976). As atividades enzimáticas foram expressas em Unidade Enzimática/mg de proteína.

A lipoperoxidação (LPO) foi determinada no material biológico utilizando-se um método espectrofotométrico em microplaca, seguindo as recomendações do fabricante do kit comercial de reagentes empregado (*TBARS Assay Kit*, Chayman Chemical). O 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). Assim, os resultados foram expressos em nmol MDA/mg proteína.

Os danos oxidativos em proteínas (PCO) foram determinados utilizando-se um kit comercial de reagentes (*Protein Carbonyl Fluorometric Assay*, Chayman Chemical; ou outro kit similar). Durante o ensaio, as proteínas carboniladas (oxidadas) foram inicialmente derivatizadas com um fluoróforo específico, o qual 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.

Inicialmente havia sido estipulada a realização de, pelo menos, duas das cinco metodologias diferentes previstas para avaliação de danos à molécula de DNA (detecção de sítios AP através de kit comercial, ensaio do vermelho neutro, teste de micronúcleo, ensaio cometa, e detecção de caspases por imunohistoquímica). Considerando-se que todas estas metodologias estão associadas ao mesmo biomarcador de efeito (danos ao DNA) e, portanto, fornecem dados semelhantes, as amostras foram testadas através da análise de sítios AP, técnica que apresenta alta sensibilidade.

Para a análise de sítios AP no material genético, o DNA genômico foi previamente isolado utilizando-se um kit comercial de reagentes para isolamento de DNA (*Wizard® Genomic DNA Purification Kit*, Promega). 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, seguindo-se as instruções do fabricante (*DNA Damage Detection Kit*, ABCam; ou outro kit similar). Os resultados foram expressos em sítios AP/10^5 pares de bases (bp).

Efeitos histopatológicos foram avaliados nas amostras de brânquias e fígado dos peixes. Fragmentos de fígado e brânquias foram imersos em solução de Bouin por 6-8 h, desidratados em concentrações crescentes de álcool, diafanizados em xilol e incluídos em paraplast. O material foi seccionado em micrótomo rotativo. As secções obtidas foram coradas com hematoxilina/eosina e tricômio de Mallory. Algumas lâminas foram submetidas à técnica de coloração PAS. Para tal, foram banhadas em ácido periódico 1% por 10 min, lavadas em água destilada e mergulhadas em Reativo de Schiff, por 20 min. Em seguida, foi realizada uma nova lavagem em água corrente por 10 min, seguida de coloração com hematoxilina de Harris por 3 min, lavagens em água destilada, desidratação e montagem. As alterações nos fígados e brânquias foram determinadas de acordo com o método proposto por Bernet et al., (1999). Esse método está baseado na relevância patológica e na extensão das lesões observadas nos órgãos analisados. As alterações foram classificadas em cinco padrões de reação, onde cada lesão possui um grau de importância. O Índice do Órgão (Iorg) representa o grau de dano apresentado pelo órgão e foi calculado pela fórmula: Iorg = Σrp Σalt (a x w), onde: rp = padrão de reação, alt = alteração, a = extensão da lesão e w = grau de importância. Já o Índice de Reação (Irp) avalia a gravidade das alterações identificadas e foi obtido pelo somatório do produto da multiplicação do tamanho da lesão pela relevância patológica (Irp = Σalt (a x w), onde rp = padrão de reação, alt = alteração, a = extensão da lesão e w = grau de importância).

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.

Ensaios ecotoxicológicos

Ensaios ecotoxicológicos foram realizados com amostras de água superficial e sedimento coletados na malha amostral dulcícola. Os pontos de amostragem considerados na Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco) foram: rio Manhuaçu (RMH-01) como tributário; rio Doce em Resplendor (RDO-10), rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), rio Doce em Colatina (RDO-13) e rio Doce no Estuário (RDO-16) como pontos situados na calha do rio Doce. Destes, os pontos RDO-11 e RDO-13 foram incluídos na malha amostral para ensaios de toxicidade a partir do Ano 2, mediante aprovação da CTBio (Nota Técnica no 8/2019/CTBio/DIBIO/ICMBio [22/03/2019]) (Quadro 3), e RMH-01 e RDO-10 foram incluídos na malha amostral para ensaios de toxicidade a partir do Ano 5, quando iniciou o Novo Ciclo do PMBA (Campanha 9 - jan/fev 2023). Na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), início do Ano 7, foi incluído o ponto do rio Guandu trecho alto (RGU-01) como tributário, o ponto RDO-10 foi descontinuado e os pontos RDO-11, RDO-13 e RDO-16 (descritos anteriormente) foram mantidos, como setor do Rio.

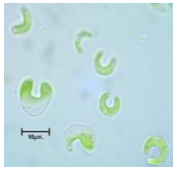
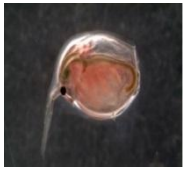
A avaliação toxicológica das amostras de água, elutriato de sedimento e sedimento total, as quais foram coletadas, armazenadas e preparadas segundo a norma da ABNT NBR 15469 (2021), deu-se por meio de ensaios normatizados com organismos bioindicadores de diferentes níveis da cadeia trófica, incluindo microalgas, microcrustáceos e peixes em diferentes estágios de desenvolvimento (Tabela 2). Para o cálculo do índice de toxicidade, levou-se em consideração a severidade da resposta observada (Quadro 4) e a sensibilidade do organismo testado (Quadro 5). As respostas subletais foram classificadas como menos severas e a letalidade como mais severa; enquanto os organismos mais sensíveis foram valorizados, recebendo maior número na escala de sensibilidade. A valorização das espécies mais sensíveis é importante para que o impacto não seja subestimado. Os valores de toxicidade foram usados para classificar as amostras desde não-tóxicas até altamente tóxicas (Tabela 3). Vale lembrar que, para cada ponto amostral, esta classificação foi feita separadamente para água e sedimento, e levou-se em consideração a média dos valores de toxicidade resultantes dos diferentes ensaios realizados com as matrizes ambientais.

Os ensaios de toxicidade com amostras coletadas da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) até a Campanha 12 (julho 2024) foram efetuados por laboratório acreditado por determinação da Fundação Renova, sendo eles: ensaios com a microalga *Raphidoceles subcapitata* (ABNT NBR 12648), testes com os microcrustáceos *Ceriodaphnia dubia* (ABNT NBR 13373), *Daphnia similis* (agudo - ABNT NBR 12713 e crônico - OECD 211) e *Hyalella* sp (ABNT NBR 15470), e ensaios com peixes da espécie *Danio rerio* nos estágios larval (ABNT NBR 15499) e adulto (ABNT NBR 15088). A partir da Campanha 13, os ensaios de toxicidade deixaram de ser realizados por laboratório acreditado e voltaram a ser executados nos laboratórios especializados do PMBA, seguindo metodologia padrão.

Quadro 3: Estações de coleta no rio Doce, estuário e tributários onde foram coletadas amostras de água e sedimento usadas para os testes de toxicidade 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), Ano 5 (Campanha 9, jan/fev 2023 - período chuvoso e Campanha 10, jun/jul 2023 - período seco) e Ano 6 (Campanha 11, jan 2024 – período chuvoso e Campanha 12, jul 2024 – período seco), Ano 7 (Campanha 13, jan/fev 2025 – período chuvoso e Campanha 14, jul 2025 – período seco) e Ano 8 (Campanha 15, jan/fev 2026 – período chuvoso). Classificação por Setores e por Estações de coleta: **Tributário** [rio Guandu (RGU-01) e rio Manhuaçu (RMH-01)], **Rio** [rio Doce em Resplendor (RDO-10), rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), rio Doce em Colatina (RDO-13) e rio Doce no Estuário (RDO-16)] e **Tributário** [rio Guandu trecho alto (RGU-01)].

AMBIENTE	ANO 1	Ano 2 até Ano 4	Anos 5 e 6	Anos 7 e 8
Dulcícola	RGU-01 RDO-16	RGU-01 RDO-11 RDO-13 RDO-16	RMH-01 RDO-10 RDO-11 RDO-13 RDO-16	RGU-01 RDO-11 RDO-13 RDO-16

Tabela 2: Resumo dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento (bruto ou elutriato) coletados na malha amostral dulcícola do Tema Ecotoxicologia (ver Quadro 1).

Informação	Microalga	Microcrustáceo	Microcrustáceo	Microcrustáceo	Peixe	Peixe
Espécie	 *Raphidocelis subcapitata*[1]	 *Ceriodaphnia dubia*[2]	 *Daphnia similis*[3]	 *Hyalella spp*[3]	 *Danio rerio* (larva)[3]	 *Danio rerio* (adulto)[4]
Procedência do organismo	Cultivo da Empresa Aplysia	Cultivo da Empresa Aplysia	Cultivo da Empresa Aplysia	Cultivo da Empresa Aplysia	Cultivo da Empresa Aplysia	Cultivo da Empresa Aplysia
Matriz	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Sedimento Bruto	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Água Superficial/Elutriato de Sedimento
Tipo do teste	Crônico	Crônico	Agudo	Agudo/Crônico	Crônico de curta duração	Agudo
Método	ABNT NBR 12648	ABNT NBR 13373	ABNT NBR 12713	ABNT NBR 15470	ABNT NBR 15499	ABNT NBR 15088
Duração do Ensaio	72 h	7 dias	48 h	10 dias	7 dias	48 ou 96 h
Indicador de toxicidade	Inibição da multiplicação das algáceas	Mortalidade/Número de neonatos viáveis	Mortalidade	Mortalidade/Peso	Mortalidade	Mortalidade

Legenda: [1] https://alchetron.com/Raphidocelis-subcapitata; [2] http://cfb.unh.edu; [3]Acervo do projeto; [4] http://zfin.org/.

Quadro 4: O valor de severidade foi atribuído de acordo com severidade da resposta observada nos ensaios de toxicidade. O parâmetro mais tóxico é classificado com maior valor.

Resposta Observada	Valor atribuído
Letal	2
Subletal (desenvolvimento, crescimento, fecundação e reprodução)	1

Quadro 5: O valor de sensibilidade foi atribuído aos organismos de acordo com os modelos biológicos usados nos ensaios de toxicidade. Os valores são diretamente relacionados à sensibilidade dos organismos, sendo, portanto, o maior valor atribuído aos organismos mais sensíveis, e o menor valor aos menos sensíveis (mais tolerantes).

Organismo-teste	Valor atribuído
Plâncton (microalgas, microcrustáceos, embriões e larvas de peixes)	3
Peixes juvenis	2
Peixes adultos	1

Tabela 3: Classificação da amostra com relação ao valor de toxicidade. “NE” refere-se a valor não estimável; e “NA” refere-se a valor não disponível, pela ausência de coleta.

Valor de Toxicidade	Classificação da amostra
>100	Altamente tóxica
51 – 100	Tóxica
26 – 50	Moderadamente tóxica
2 – 25	Levemente tóxica
≤1 ou NE	Não tóxica
NA	Ausência de dados

Fonte: Adaptado de BULICH (1982).

2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

As principais modificações metodológicas envolveram a otimização no volume das amostras de água, sedimento e biota coletadas a partir da Campanha 8 (set/out 2022 - período seco) e destinadas às determinações de metais e As, 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. Além disso, a partir da Campanha 8 (set/out 2022), as análises de metais e As nas amostras de água, sedimento e músculo de pescado (camarões e peixes) passaram a ser realizadas por laboratório acreditado, por determinação da Fundação Renova. Na Campanha 13, as amostras deixaram de ser analisadas em laboratórios acreditados e voltaram a

ser analisadas nos laboratórios especializados do PMBA, seguindo a metodologia descrita anteriormente.

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, exceto as de músculo de pescado (camarões e peixes), passaram a ser realizadas de acordo com metodologia EPA 6020A, utilizando-se espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, Analytik Jena).

Tendo em vista que o conjunto de biomarcadores analisado na biota dulcícola sofreu modificações importantes a partir do Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES (conforme descrito no Quadro 2), fizeram-se necessárias adequações na composição dos parâmetros do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) para camarões e peixes. Sendo assim, para o cálculo dos valores do IBR Biomarcador apresentados no RSE2023, RA2023, RA2024, RSE2025, e neste RA2025 foram mantidos apenas os biomarcadores comuns a todas as Campanhas (Campanhas 1 a 15), visando uma comparação temporal adequada da evolução da resposta biológica nos organismos coletados na malha amostral dulcícola.

Também houve modificações nos ensaios toxicológicos ao longo do monitoramento. A partir da Campanha 3 (set/out 2019), não foram realizados ensaios com embriões do peixe *Danio rerio* (FET TEST, OECD 236), com anuência prévia da CTBio, tendo em vista que os resultados obtidos para o Ano 1 foram inconclusivos (Nota Técnica no 8/2019/CTBio/DIBIO/ICMBio [22/03/2019]). Além disso, foi incorporado o ensaio crônico com o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia*, em substituição ao ensaio crônico com o microcrustáceo *Daphnia magna* (ambos os ensaios foram propostos no Plano de Trabalho), sendo estes equivalentes do ponto de vista ecotoxicológico. Adicionalmente, da Campanha 7 (março 2022) até a Campanha 12 (julho 2024), os ensaios foram realizados por laboratório acreditado, por determinação da Fundação Renova, sendo que o ensaio com *Daphnia magna* passou a ser executado com *Daphnia similis*, uma vez que a norma permite a realização deste teste com ambas as espécies, que são semelhantes do ponto de vista de sensibilidade. A partir da Campanha 13, os ensaios de toxicidade deixaram de ser realizados por laboratórios acreditados e voltaram a ser executados nos laboratórios especializados do PMBA, seguindo a metodologia padrão. Cabe salientar que, as normas aplicadas na execução dos testes de toxicidade e o tratamento estatístico seguiram os mesmos padrões de calibração e qualidade ao longo de todo o período monitorado.

2.4 ALTERAÇÕES NA MALHA/FREQUÊNCIA AMOSTRAL E ESCOPO REALIZADOS EM OUTUBRO DE 2024: SUAS CONSEQUÊNCIAS NAS ANÁLISES DA SÉRIE HISTÓRICA DE INDICADORES

Em 2024, foi realizada uma alteração na malha amostral, que envolveu o ajuste, a remoção e a inserção de diversas estações de coleta. As principais modificações estão descritas a seguir.

Estações removidas

Foram desativadas as seguintes estações:

- **Rio Doce – Resplendor:** RDO-10;
- **Lagoa do Limão:** LLM-01 e LLM-02;
- **Lago Nova:** LNV-01 e LNV-02;
- **Lagoa Monsarás:** LMN-01 e LMN-02;
- **Lagoa Palmas:** LPA-01 e LPA-02.

Estações inseridas

Foram incluídas novas estações em diferentes setores:

- **Setor Tributário:**
  - Rio Guandu – trecho alto (RGU-01);
  - Rio Guandu – trecho baixo (RGU-02);
- **Setor Lago:**
  - Lago do Limão – Colatina (LLM-03R);
  - Lago Nova (LNV-02R).
- **Setor Lagoa:**
  - Lagoa Cacimbas (E27);
  - Laguna Monsarás (LMN-02R).
- **Setor Rio:**
  - Rio Doce – Colatina (RDO-12);
  - Rio Doce – Marilândia (RDO-14).

Estações ajustadas

Algumas estações foram mantidas na malha, porém com ajustes de localização ou classificação:

- **Setor Reservatório:**
  - UHE Aimorés (UHE AIM) e UHE Mascarenhas (UHE MAS) foram reajustadas, permanecendo no setor Reservatório.
- **Setor Lagoa:**
  - Lagoa do Areal (LAL-01) foi ajustada e manteve-se no setor.
- **Setor Rio:**
  - As estações Rio Doce – Baixo Guandu (RDO-11), Linhares (RDO-15) e Estuário (RDO-16) tiveram suas coordenadas ajustadas e continuaram no setor Rio;
  - A estação Rio Doce – Colatina (RDO-13) foi mantida sem alterações de classificação.

- **Setor Tributário:**
    - Rio Manhuaçu (RMH-01) – estação ajustada.

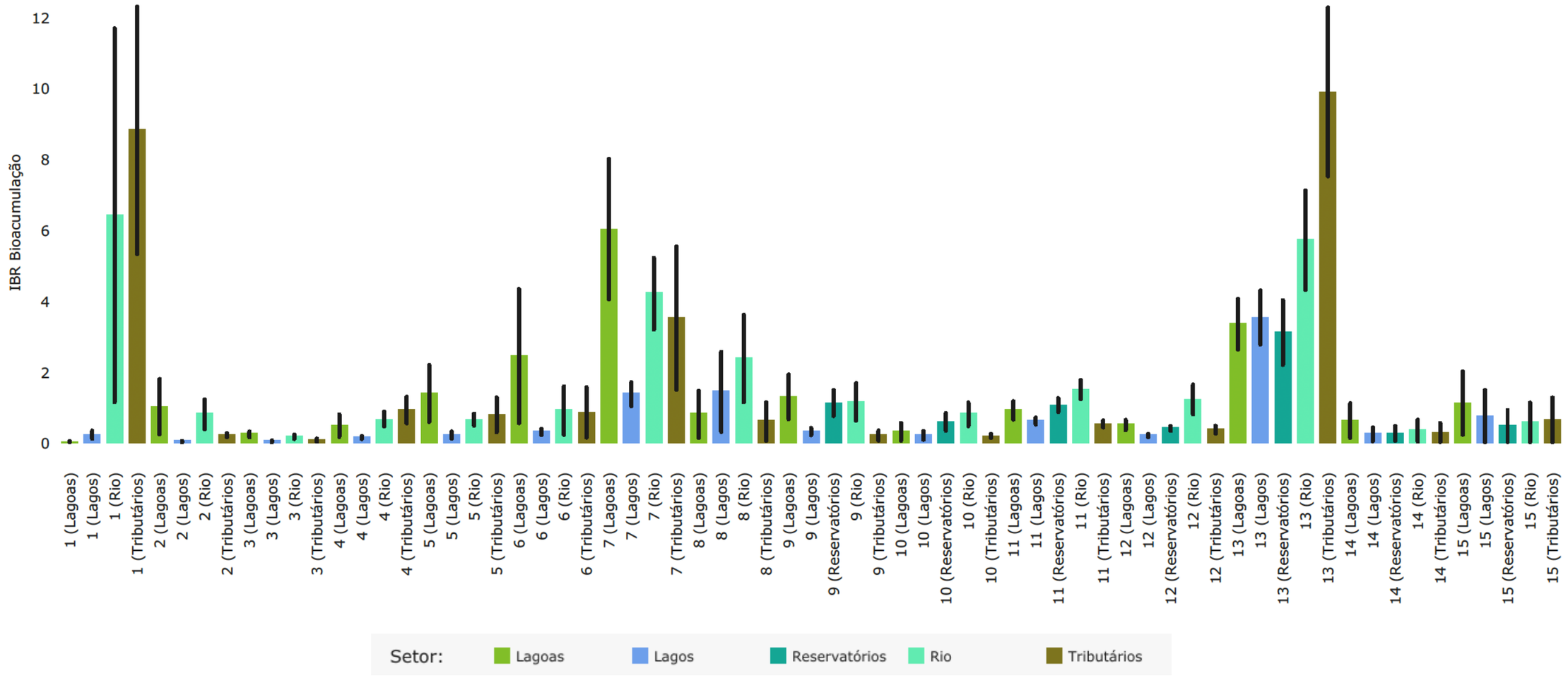
3 RESULTADOS DOS INDICADORES

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 como se segue.

3.1 ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (*IBR BIOACUMULAÇÃO*)

Figura 1: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para o fitoplâncton coletado 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. Malha amostral conforme Quadro 1. 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 avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais de bioacumulação dos metais e As no fitoplâncton do Ambiente Dulcícola, ao longo de todo o monitoramento. O IBR Bioacumulação integra os níveis de contaminação de diferentes organismos/órgãos/tecidos pelos metais e As, originando assim um indicativo/valor sintético e holístico do estado de "saúde" dos organismos analisados.

Ao longo das Campanhas, três picos de valores de IBR Bioacumulação foram observados. Na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), os maiores índices foram observados nos Setores Rio e Tributário, enquanto, na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), os Setores Lagoas, Rio e Tributário tiveram os maiores valores de IBR Biomarcadores. A Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) representou valores de índice semelhantes ao início no monitoramento, sobretudo no Setor Tributário. De maneira geral, Rio e Tributário foram os Setores com maiores índices. Em contrapartida, declínios nos valores médios do IBR Bioacumulação foram observados a partir da Campanha 2 (jun/jul 2019 – período chuvoso), chegando aos menores índices na Campanha 3 (set/out 2019 – período seco). Em menor escala, os índices reduziram entre a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e, novamente, na Campanha 14 (jul 2025 – período seco), independentemente do Setor. Finalmente, um discreto aumento foi observado para todos os Setores na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso).

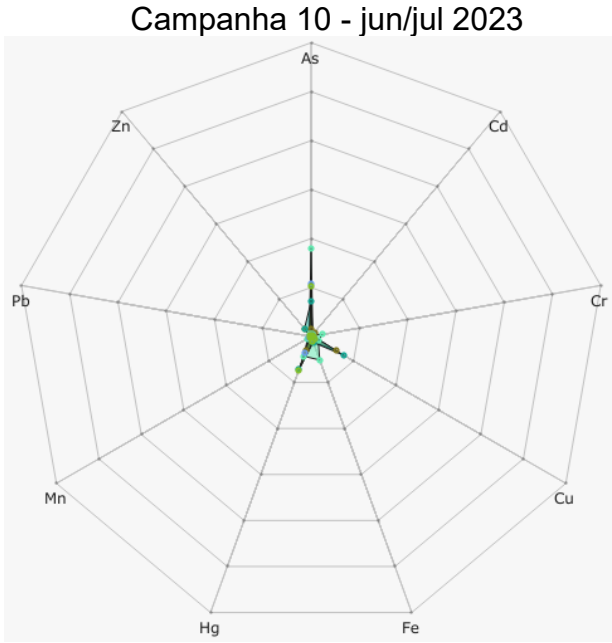
A partir do novo ciclo do PMBA/Fest-UFES (Campanha 9: jan/fev 2023 – período chuvoso; Campanha 10: jun/jul 2023 – período seco; Campanha 11: jan 2024 – período chuvoso; Campanha 12: jul 2024 – período seco; Campanha 13: jan/fev 2025 – perío so chuvoso; Campanha 14: jul 2025 – período seco e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso), foi dado início às amostragens de organismos no Setor Reservatório. O IBR Bioacumulação neste Setor foi maior na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), seguido pela Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). Neste contexto, observou-se o aumento dos índices em períodos chuvosos, possivelmente em função da remobilização do sedimento neste Setor e consequente biodisponibilidade dos metais e As presentes.

É importante ressaltar que o fitoplâncton constitui a base da cadeia alimentar em ambientes aquáticos por se tratar de um produtor primário. Desta forma a bioacumulação de metais e As nesses organismos caracteriza a via de entrada de metais e As na cadeia alimentar. Estes elementos são considerados persistentes no ambiente aquático, o que lhes confere a capacidade de serem acumulados nos organismos e biomagnificados ao longo da cadeia trófica, resultando em diversos efeitos negativos à biota aquática.

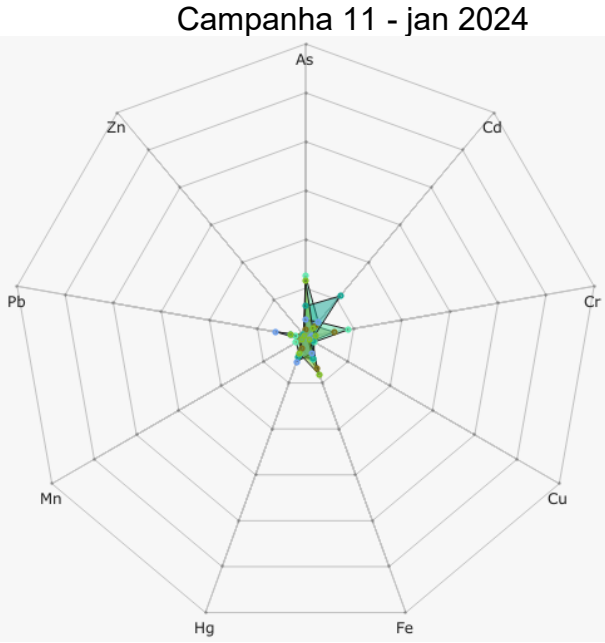
Figura 2: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) para o fitoplâncton coletado durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 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 Campanmha 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); e Zinco (Zn). Malha amostral conforme Quadro 1.



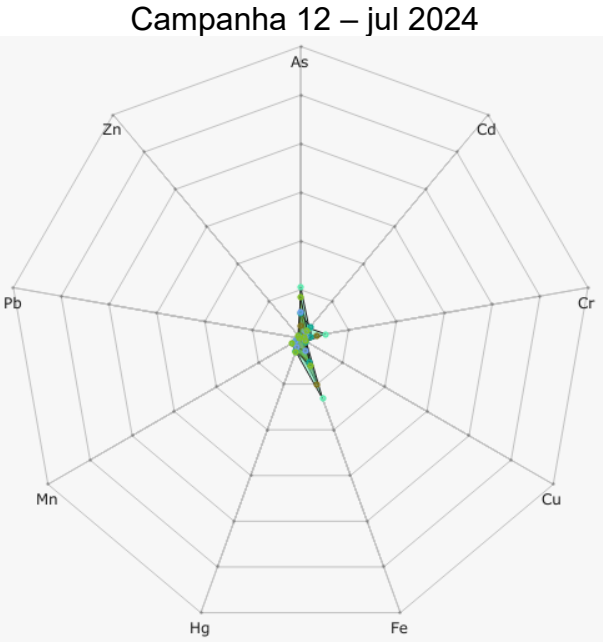
Campanha 10 - jun/jul 2023



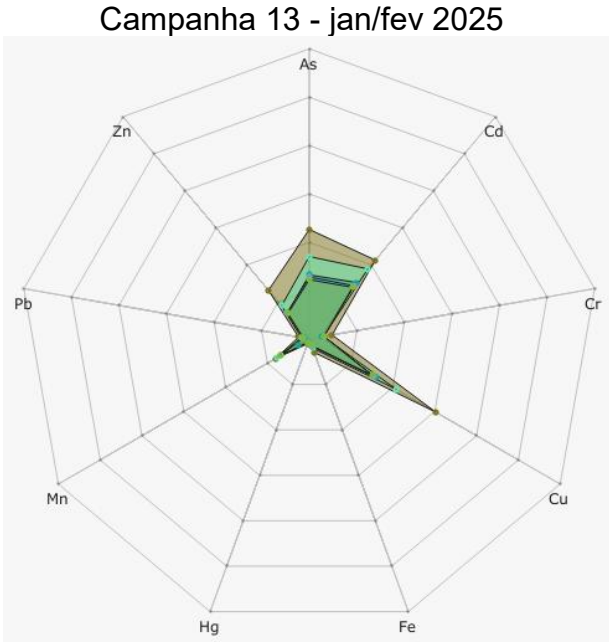
Campanha 11 - jan 2024



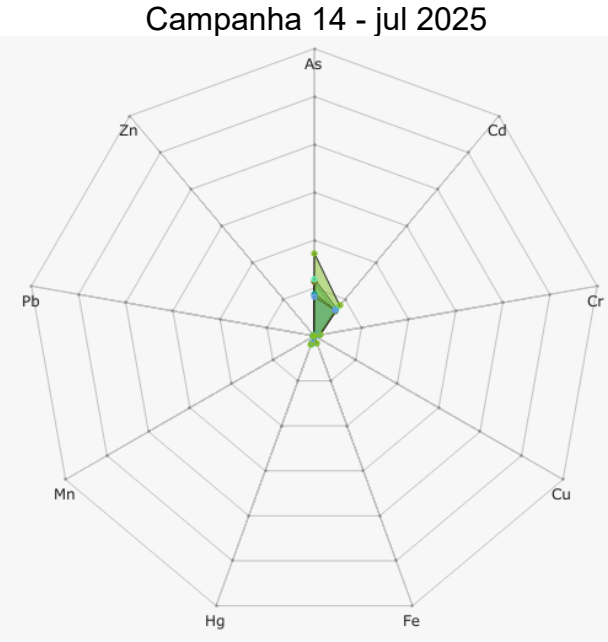
Campanha 12 – jul 2024



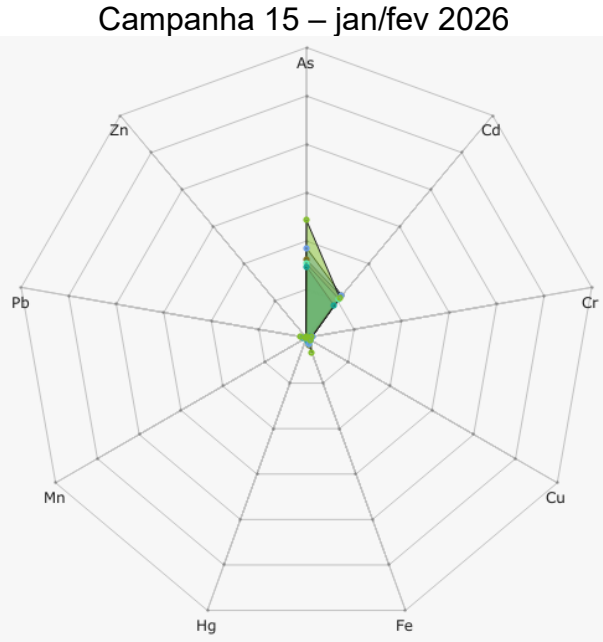
Campanha 13 - jan/fev 2025



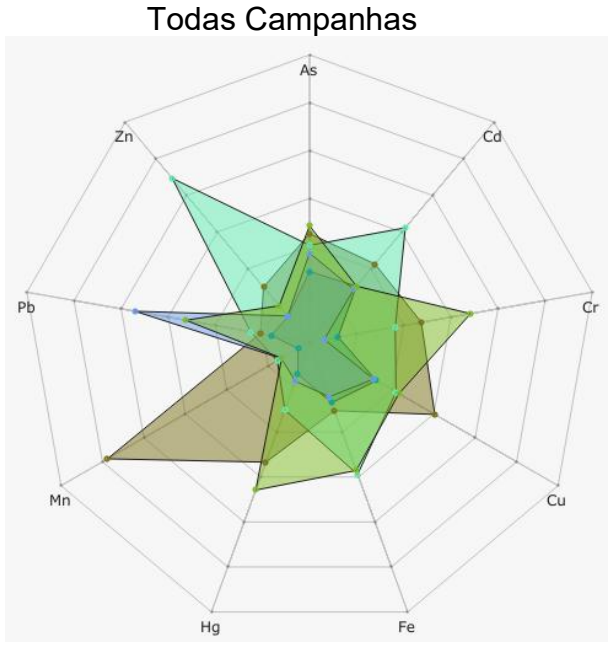
Campanha 14 - jul 2025

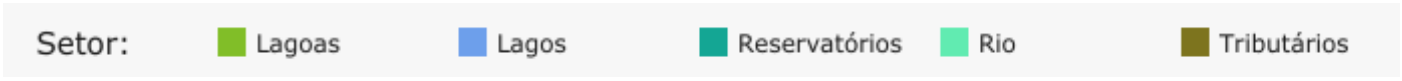


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas





Os gráficos de radar apresentados na Figura 2 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) 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 fitoplâncton do Ambiente Dulcícola, bem como a contribuição de cada um destes na composição do valor deste índice.

A Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) apresentou níveis elevados de IBR Bioacumulação, sobretudo no Setor Tributário, onde se destacaram os metais Mn, Zn e Cr. O Setor Rio também apresentou um pico no índice, o qual teve como principais contribuições a concentração de Cd, Zn e, em menor escala, Cr. Os demais Setores, quando comparados ao Setor Rio e Tributário, tiveram índices baixos.

Na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), observou-se um declínio, com picos sendo observados a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) nos Setores Lagoas, Rio e Tributário. Primeiramente, Cr, Hg, As e Fe foram os principais elementos que contribuíram para o IBR Bioacumulação no Setor Lagoas. No Setor Rio, os elementos As, Pb e Cr contribuíram majoritariamente para o índice, ao passo que no Setor Tributário, os metais de maior importância para o índice foram o Hg e Cr. O Setor Lago apresentou um valor de IBR Bioacumulação mais baixo, com influência de Pb.

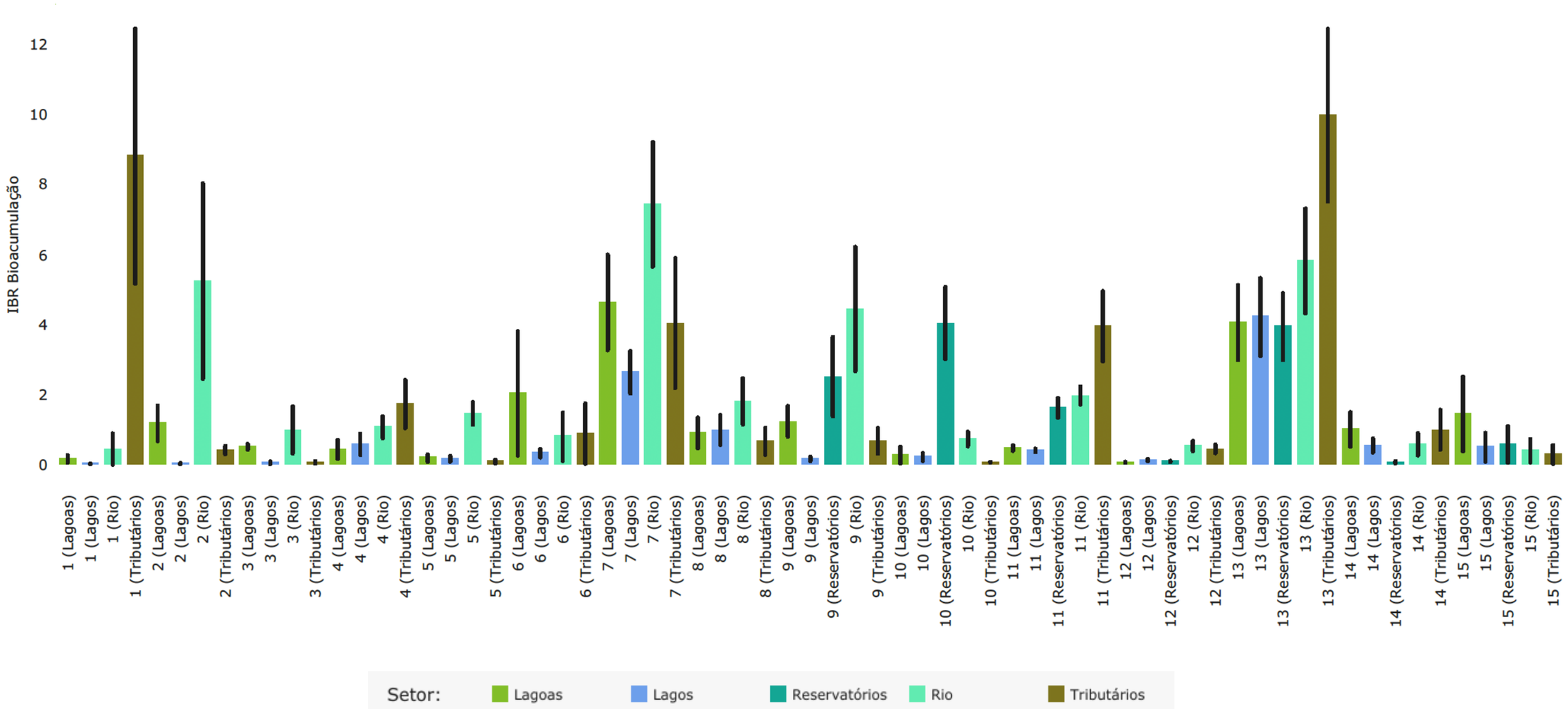
A Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) apresentou padrões de contribuição dos elementos semelhantes para os Setores amostrados, com destaque para Cu, As e Cd em todos os Setores. O maior IBR Bioacumulação para o Setor Tributário. Neste caso, os elementos com maior contribuição para o índice foram Cu, As, Cd e Zn. Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) observou-de uma redução conspícua dos valores médios do IBR Bioacumulação, seguido de um aumento discreto na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Nesta Campanha, houve também similaridade espacial na composição do índice, com destaque para os elementos As e Cd.

O Setor Reservatório passou a ser amostrado a partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), atingindo o pico de IBR Bioacumulação na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), o índice deste Setor foi principalmente influenciado por Fe e Pb, enquanto, na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), os elementos de destaque foram As, Hg e Cu. Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) o IBR Bioacumulação deste Setor foi principalmente composto por Cd e As, enquanto na Campanha 12, os elementos As e Fe foram os de maior destaque. Na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), o Setor Reservatório apresentou um pico no IBR Bioacumulação, onde se destacaram os elementos As, Cd, Cu e Zn. Nas últimas Campanhas (Campanha 14: jul 2025 – período seco e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso), As e Cd foram os elementos com contribuição para o índice.

Considerando todas as Campanha em conjunto, os contaminantes que maior contribuiram para a composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor Tributário foram o Mn, Cu e As, em ordem descrescente de contribuicão. No Setor Lagoa, Hg, Cr e Pb foram metais que se destacaram por sua importância para o índice. Chumbo foi o elemento de maior importância para o IBR Bioacumulação no

Setor Lago, enquanto Zn, Cd e Fe foram destaque no Setor Rio. Finalmente, o Setor Reservatório teve expressiva participação dos elementos As, Cd, Cu e Fe para a composição do IBR Bioacumulação. É importante lembrar que alguns elementos que tiveram participação na composição do IBR Bioacumulação, como por exemplo As e Pb, tem potencial de causar toxicidade mesmo em baixas concentrações. Por outro lado, os metais Cr, Cu, Fe, Mn e Zn são considerados micronutrientes, ou seja, quando em pequenas quantidades, são essenciais para o funcionamento dos organismos vivos. Entretanto, quando presentes em quantidades excessivas, podem causar efeitos tóxicos à biota aquática e ao ser humano (Lokeshappa et al., 2012). Neste contexto, cabe destacar que estes metais, especialmente Cu e Fe, apresentaram altos valores de contribuição para a composição do valor do IBR Bioacumulação em algumas Campanhas, ao longo do período de monitoramento.

Figura 3: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para o zooplâncton coletado 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. Malha amostral conforme Quadro 1. 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 avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais de bioacumulação dos metais e As no zoooplâncton do Ambiente Dulcícola, ao longo de todo o monitoramento. O IBR Bioacumulação integra os níveis de contaminação de diferentes organismos/órgãos/tecidos pelos metais e As, originando assim um indicativo/valor sintético e holístico do estado de "saúde" dos organismos analisados.

Ao longo das Campanhas, picos de valores de IBR Bioacumulação foram observados, variando de acordo com os Setores amostrados. Na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), o maior valor do índice foi registrado para o setor Tributário, enquanto na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), o Setor Rio apresentou o maior valor para o índice de Bioacumulação. Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) todos os Setores amostrados apresentaram índices médios relativamente altos, com o Setor Rio seguido pelo Setor Lagoas, Tributário, e, finalmente, em menor valor médio, Setor Lagos.

A Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) apresentaram picos de IBR Bioacumulação para os Setores Rio e Reservatório, Reservatório, e Tributário, respectivamente. Já a Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) representou os maiores índices da série temporal, sobretudo no Setor Tributário. De maneira geral, os Setores Rio, Lago e Lagoa tiveram índices elevados e semelhantes entre sí. Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), houve uma diminuição substancial do IBR Bioacumulação em todos os Setores.

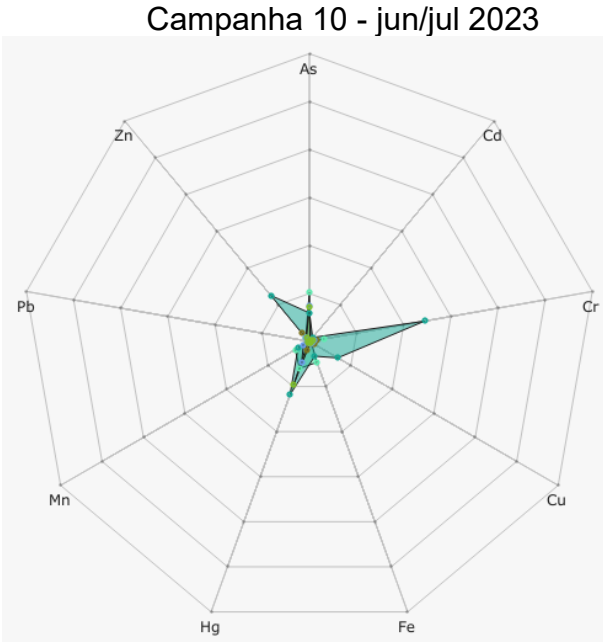
A partir do novo ciclo do PMBA/Fest-UFES (Campanha 9: jan/fev 2023 – período chuvoso, Campanha 10: jun/jul 2023 – período seco, Campanha 11: jan 2024 – período chuvoso, Campanha 12: jul 2024 – período seco, Campanha 13: jan/fev 2025 – perióso chuvoso; Campanha 14: jul 2025 – período seco e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso), foi dado início às amostragens de organismos no Setor Reservatório. O IBR Bioacumulação neste Setor foi maior na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), seguido pela Campanha 10 (jan 2024 – período chuvoso) e, finamente, pela Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Neste contexto, observou-se o aumento dos índices em períodos chuvosos, possivelmente em função da remobilização do sedimento neste Setor e consequente biodisponibilidade dos metais e As presentes.

É importante ressaltar que o zooplâncton é composto por consumidores primários que, de certa forma, constituem níveis basais das cadeias alimentares em ambientes aquáticos. Desta formaa bioacumulação de metais e As nesses organismos caracteriza as fases iniciais do processo de transferência trófica de metais e As na cadeia alimentar. Estes elementos são considerados persistentes no ambiente aquático, o que lhes confere a capacidade de serem acumulados nos organismos e biomagnificados ao longo da cadeia trófica, resultando em diversos efeitos negativos à biota aquática.

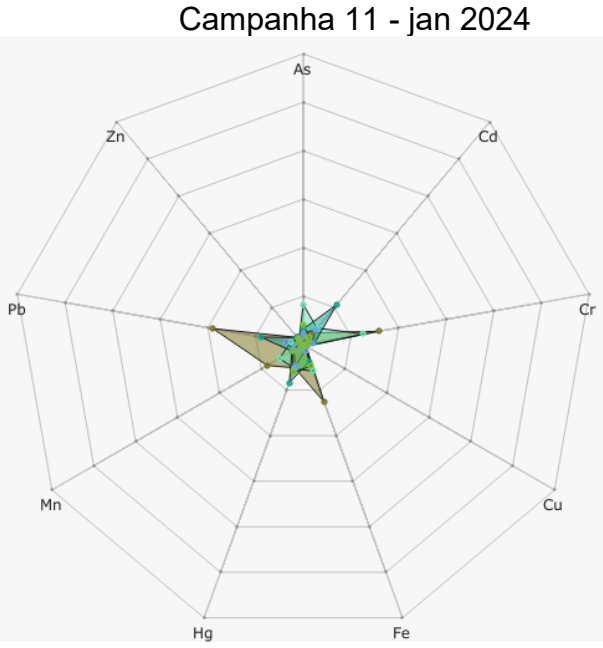
Figura 4: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) para o zooplâncton coletado durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 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 Campnaha 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); e Zinco (Zn). Malha amostral conforme Quadro 1.



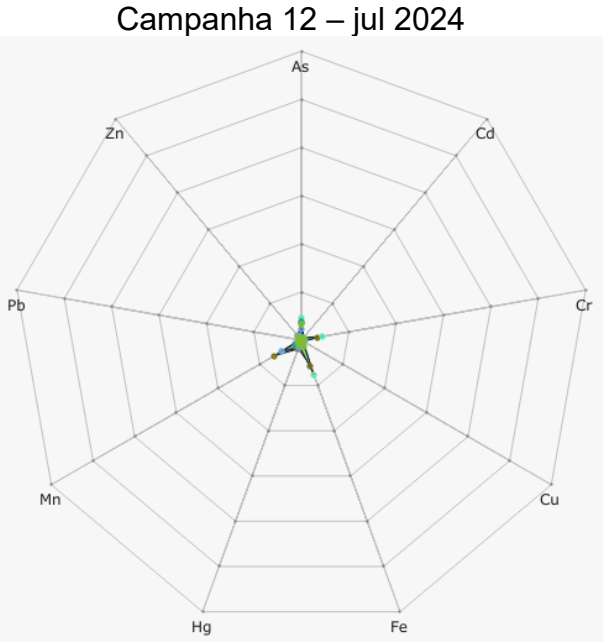
Campanha 10 - jun/jul 2023



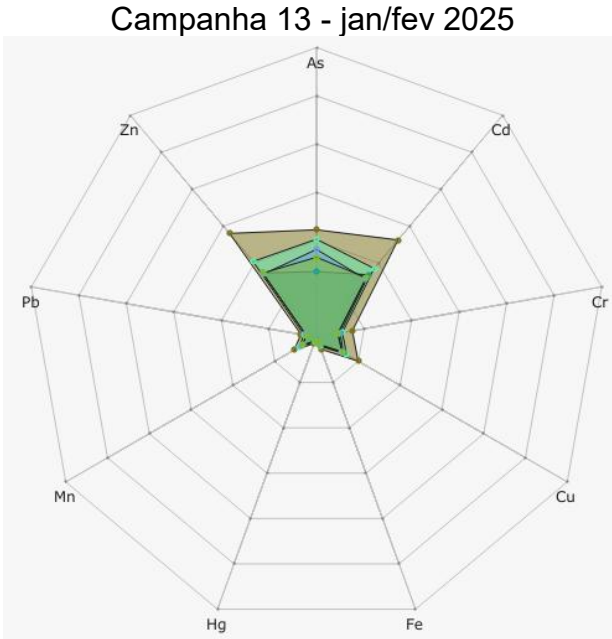
Campanha 11 - jan 2024



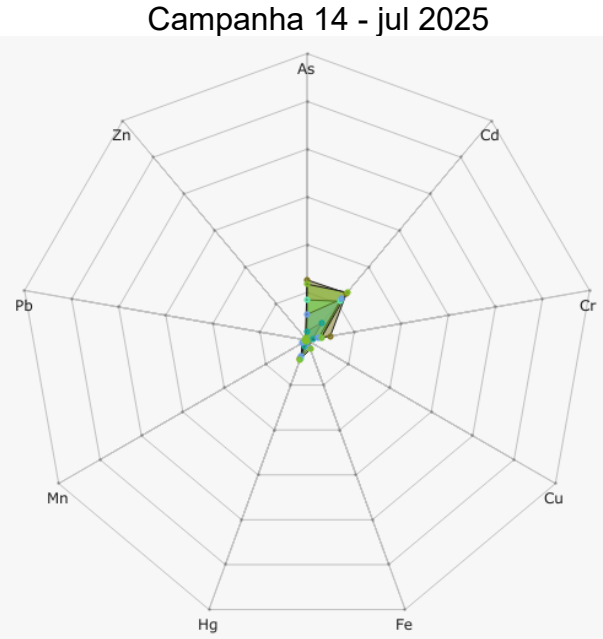
Campanha 12 – jul 2024



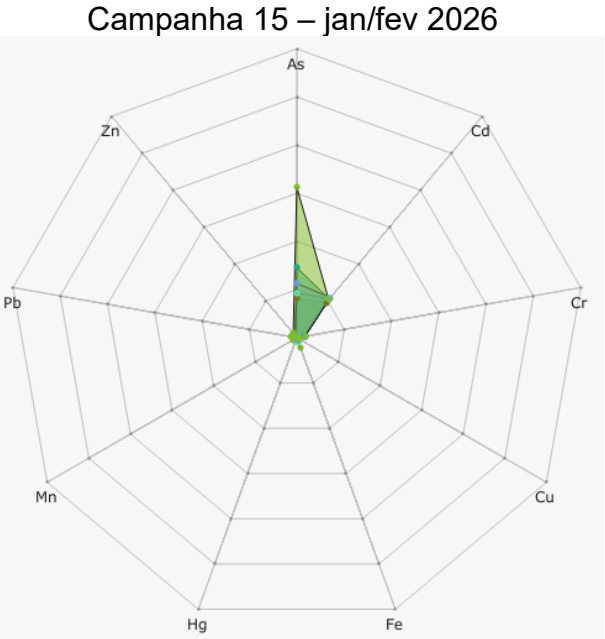
Campanha 13 - jan/fev 2025



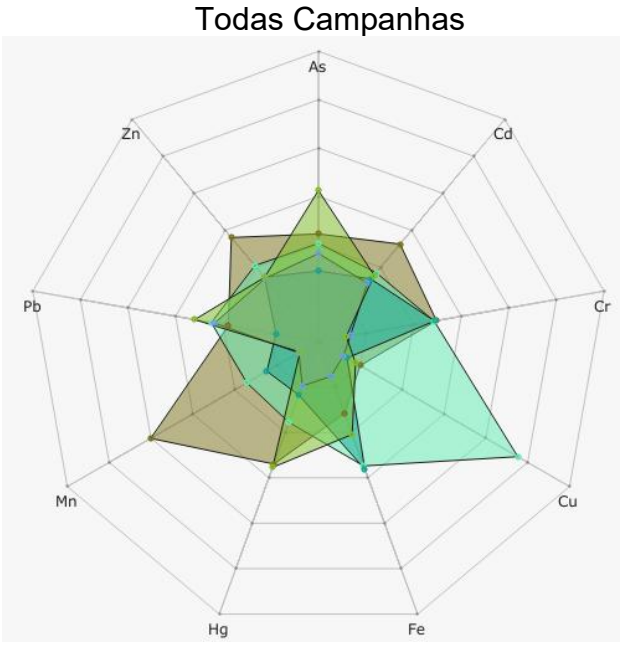
Campanha 14 - jul 2025

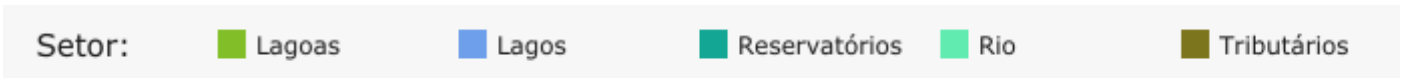


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas





Os gráficos de radar apresentados na Figura 4 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) 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 zooplâncton coletado no Ambiente Dulcícola, bem como a contribuição de cada um destes para a composição do índice.

O valor do IBR Bioacumulação no Setor Tributário da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), o qual apresentou o segundo maior valor médio do índice nesta Campanha, foi principalmente influenciado pelos metais Mn e Cr, de maneira similar ao observado na Figura 4, para fitoplâncton. O elemento Zn também importante contribuição para o índice. Na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), observou-se um pico para o índice do Setor Rio, o qual teve importante contribuição do Cu e As e, em menor escala, Mn. Estes elementos, juntamente com Fe também contribuiram para o valor de IBR Bioacumulação no Setor Lagoas.

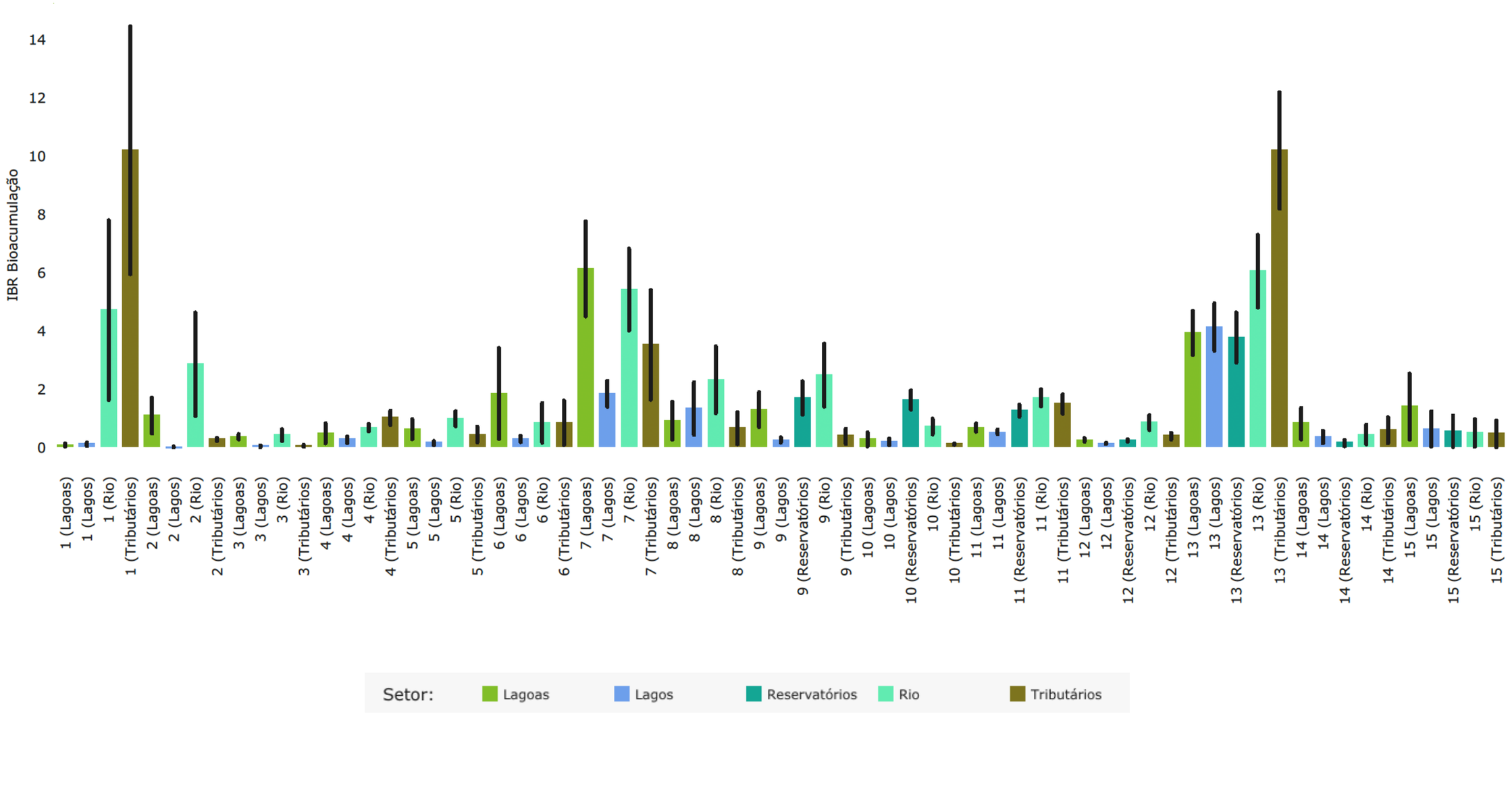
A Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) apresentou um aumento expressivo no valor do índice dos Setores amostrados, sobretudo para o Setor Rio. Os elementos Pb, Cr e As foram os principais contribuintes para o IBR Bioacumulação neste Setor. Já no Setor Lagoa, Pb, As e Hg foram os elementos que mais influenciaram o índice. O índice do Setor Tributário teve principal contribuição das concentrações de Mn, Hg e Cr, enquanto os elementos Pb e Hg foram importantes para o Setor Lago.

A partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), o Setor Reservatório passou a ser amostrado, apresentando importante contribuição de Fe e Mn para o IBR Bioamarcador. Ainda nesta Campanha, o Setor Rio se destacou com valor de índice elevado, o qual foi composto principalmente por Fe e Cu. O Setor Reservatório seguiu com IBR Bioacumulação elevado na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), com Cr, Zn e Hg sendo os elementos em destaque para a formação do índice. O índice para o Setor Reservatório sofreu um declínio nas Campanhas 11 (jan 2024 – período chuvoso) e 12 (jul 2024 – período seco), retornando à valores semelhantes na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso).

A Campanha 13 apresentou picos para os valores de IBR Bioacumulação para todos os Setores, e uma composição de elementos analisados semelhante entre os Setores. De maneira geral, Zn , As e Cd foram os principais contaminantes influenciando os índices de todos os Setores nesta Campanha.Uma redução conspícua foi observada na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), com destaque para os elementos As e Cd, que tiveram significante contribuição no IBR Bioacumulação do zooplâncton em ambos períodos.

Na análise conjunta de todas as Campanhas, é possível observar a influência de elementos como o Mn, Zn, As e Cd em praticamente todos os Setores. No Setor Tributário, o Mn foi o principal contribuinte para o IBR Bioacumulação, enquanto, no Setor Lagoa, As, Pb e Hg tiveram destaque. Chumbo e As tiveram destaque no Setor Lago, e Cu foi o elemento com expressiva contribuição para o índice do Setor Rio. Finalmente, no Setor Reservatório Fe e Cr, bem como Zn, tiveram maior contribuição para a composição do índice.

Figura 5: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para o plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletado 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 – pe'riodo 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. Malha amostral conforme Quadro 1. 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 avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais de bioacumulação dos metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Dulcícola, 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.

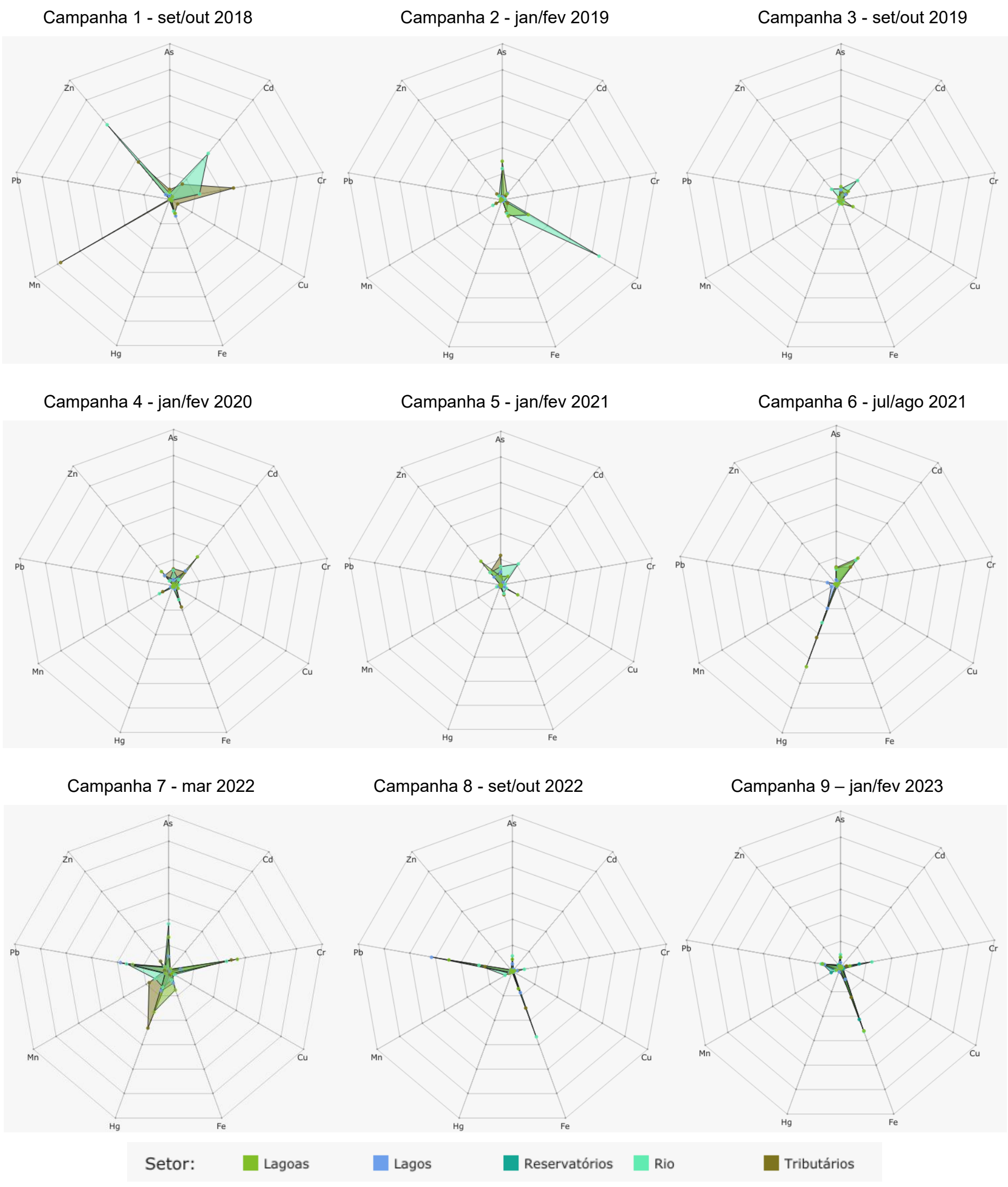
De forma geral, pode ser observado na Figura 5 que os maiores valores do IBR Bioacumulação de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton), ao longo de todo o monitoramento, foram observados para o Setor Rio e Setor Tributário. Este resultado indica que os organismos da base da cadeia alimentar foram mais afetados pela exposição aos metais e As na calha do rio Doce do que nos demais Setores avaliados. Isto pode estar associado ao fato de que a calha do rio Doce foi o corpo hídrico mais diretamente impactado pelo Material Ligado ao Desastre (MLD). A Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jun/jul 2019 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) foram aquelas que apresentaram os maiores valores do IBR Bioacumulação no plâncton.

Na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), os maiores valores do IBR Bioacumulação foram observados nos Setores Tributário e Rio. Já na Campanha 2 (jun/jul 2019 – período chuvoso), o maior IBR Bioacumulacão foi observado no Setor Rio. Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), os Setores com maiores valores do IBR Bioacumulação foram Lagoa e Rio, enquanto na Campanha 13 (jan/fev 2025 - período chuvoso) se observou um aumento do IBR Bioacumulação, com os maiores valores médios registrados dentre todas as Campanhas, exceto para o Setor Tributário. Além disso, vale ressaltar que, a partir do novo ciclo do PMBA/Fest-UFES (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 – perío so chuvoso, Campanha 14: jul 2025 – período seco e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso), foi dado início às amostragens de organismos no Setor Reservatório, o qual apresentou valores do IBR Bioacumulação maiores que aqueles observados nos Setores Tributários, Lago e Lagoa na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), maior dentre os Setores na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), e segundo maior IBR Bioacumulação, juntamente ao Setor Tributário na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). Uma redução no IBR Biomarcadores foi observada para todos os Setores na Campanha 12. Porém, este declínio não se manteve na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), onde o IBR Bioacumulação do Setor Reservatório foi o maior dentre o período amostral. Este achado indica uma maior quantidade de contaminantes, incluindo metais e As, associados aos sedimentos e à matéria orgânica depositados nos reservatórios, bem como às diferentes características físicas, químicas e hidrológicas deste Setor, as quais estariam favorecendo uma maior biodisponibilidade e bioacumulação de metais e As nos organismos residentes neste Setor, já na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco), o setor Rio voltou a apresentar o maior valor médio do IBR Bioacumulação dentre todos os Setores avaliados. Finalmente, uma redução expressiva foi observada para o IBR Bioacumulação do plâncton em todos os Setores amostrados durante a

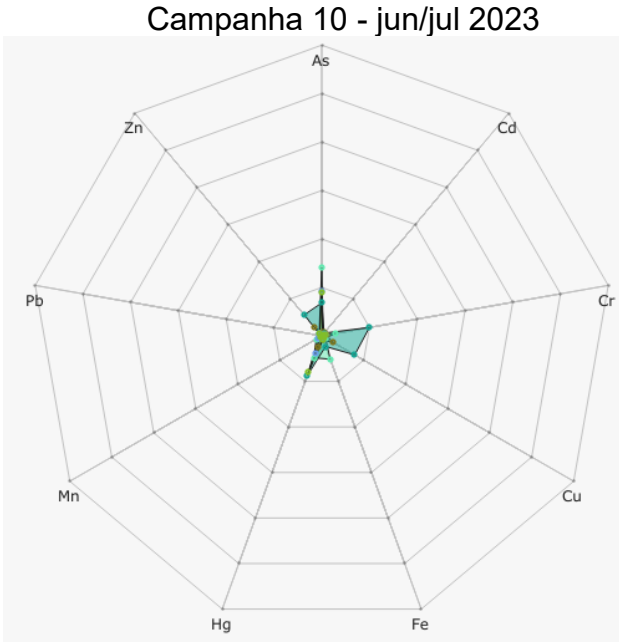
Campanha 14 (jul 2025 – período seco), enquanto, na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), os valores médios do índice sofreram um discreto aumento, sobretudo no Setor Lagoas.

Os organismos planctônicos constituem a base da cadeia alimentar, sendo o fitoplâncton um produtor primário enquanto o zooplâncton é um consumidor primário que faz parte da dieta de diversos organismos aquáticos, incluindo os peixes. Portanto, a bioacumulação de metais e As nesses organismos caracteriza a via de entrada de metais e As na cadeia alimentar. Estes elementos são considerados persistentes no ambiente aquático, o que lhes confere a capacidade de serem acumulados nos organismos e biomagnificados ao longo da cadeia trófica, resultando em diversos efeitos negativos à biota aquática. É sabido que a exposição crônica e a bioacumulação por metais e metaloides no zooplâncton pode diminuir a reprodução destes organismos, acarretando em perdas na população e na biodiversidade da comunidade zooplanctônica (Hussain et al., 2020; Ju et al., 2019).

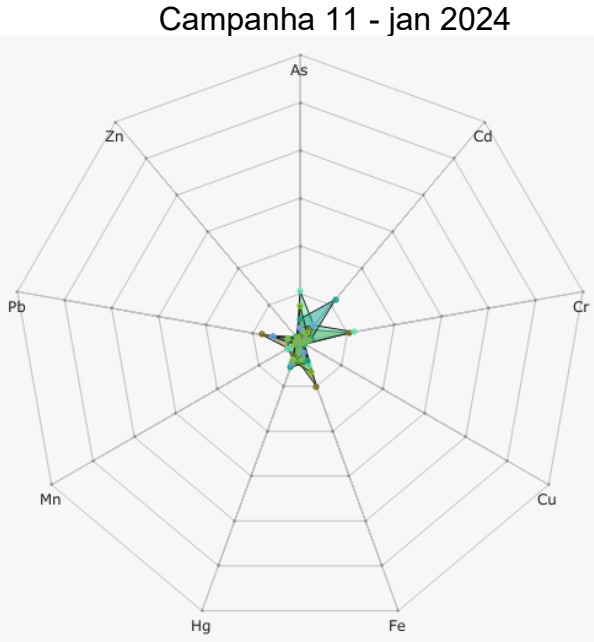
Figura 6: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) para o plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletado durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – 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); e Zinco (Zn). Malha amostral conforme Quadro 1.



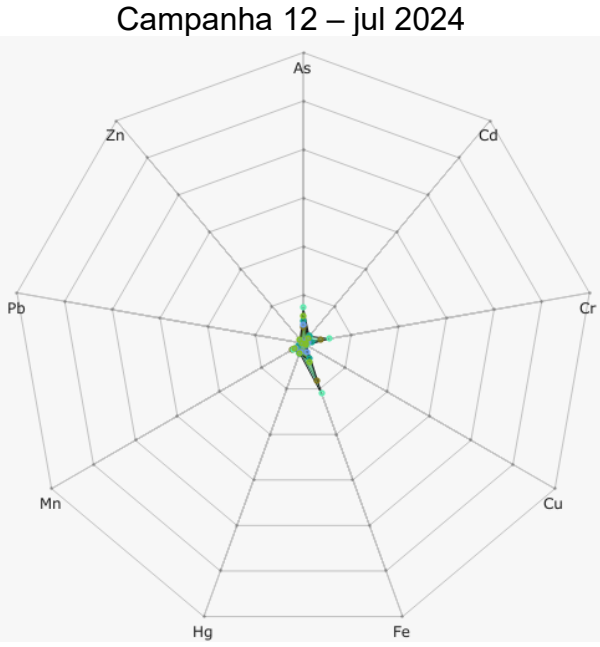
Campanha 10 - jun/jul 2023



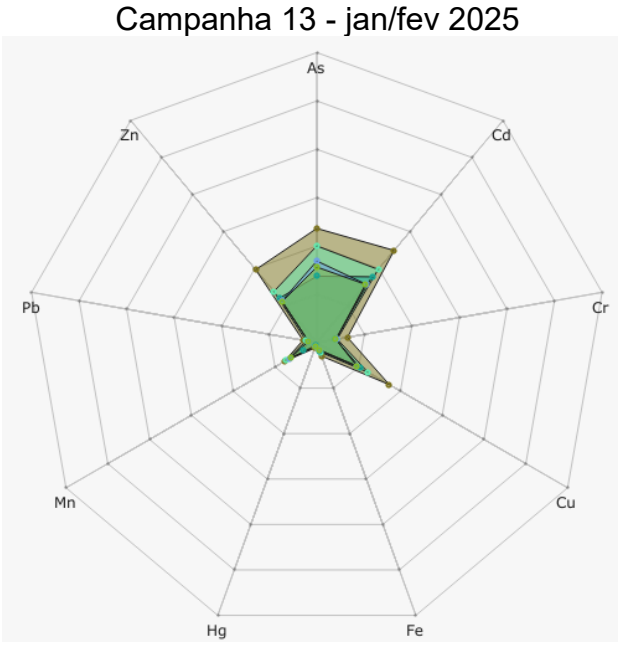
Campanha 11 - jan 2024



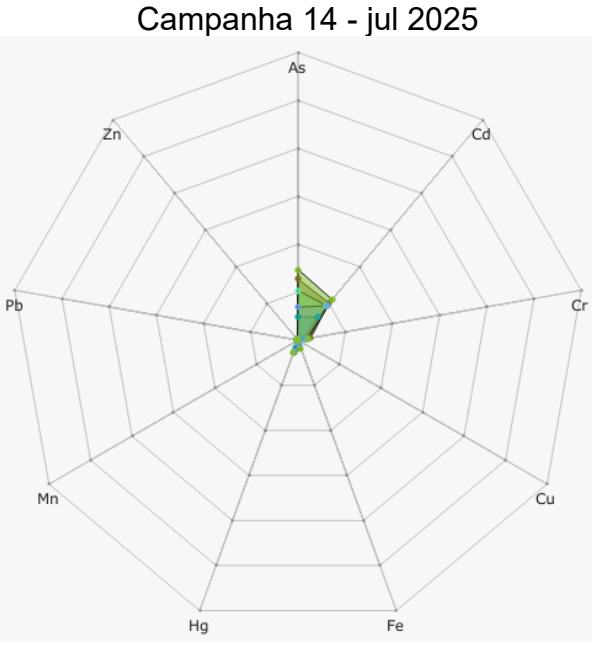
Campanha 12 – jul 2024



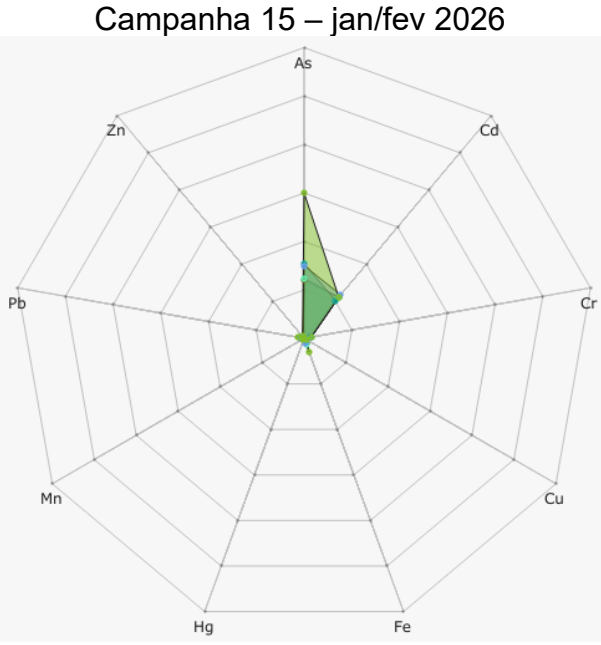
Campanha 13 - jan/fev 2025



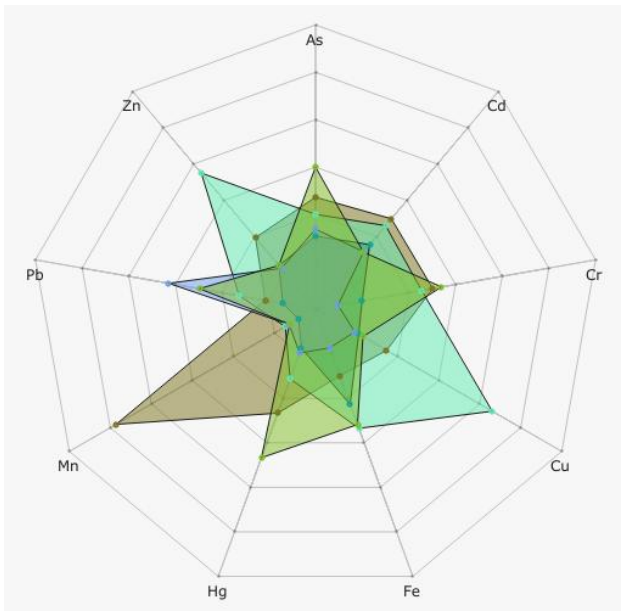
Campanha 14 - jul 2025

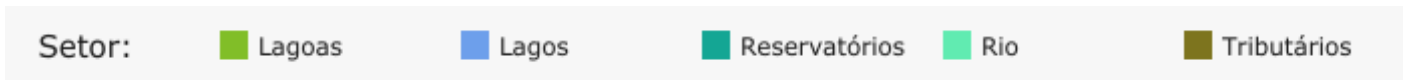


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas





Apesar da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) terem apresentado os maiores valores do IBR Bioacumulação no plâncton coletado no Setor Rio, pode ser observado na Figura 6 que todas as Campanhas do período de monitoramento demonstraram uma diversidade alta de contaminantes (metais e As) contribuindo para a composição dos valores do índice. Na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), o Setor Tributário apresentou os maiores valores do IBR Bioacumulação de todo o período de monitoramento e todos os contaminantes analisados contribuíram para a composição do valor do índice neste Setor, com exceção do Hg e Pb na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), e com exceção de Hg na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). O Mn foi elemento que mais contribuiu para a composição do IBR Bioacumulação na primeira Campanha, enquanto o As, seguido de Cd, foram os elementos de maior importância para o IBR Biomarcadores da Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). Por sua vez, o IBR Bioacumulação no Setor Rio teve seus maiores valores observados na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), com destaque para os metais Cd e Zn; . Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), com IBR Bioacumulação principalmente relacionado aos elementos As, Cr e Pb, e na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), com destaque para As, Cd e Zn.

No Setor Lagoa, o Cr, As, Pb e Hg foram os contaminantes que mais contribuíram na composição do valor do IBR Bioacumulação na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), enquanto As, Cd e Zn foram os contaminantes predominantes no valor do IBR Bioacumulação da Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). No Setor Lago, o valor do índice esteve associado principalmente ao Pb na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), enquanto, na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), os elementos que influenciaram os elevados valores do índice foram As, Cd e Zn.

A partir da Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), um padrão similar de composição dos IBR Bioacumulação foi observado em todos os Setores, com principal contribuição do As, Cd e Zn na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), e As e Cd na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso)

Quanto ao Setor Reservatório, este foi amostrado a partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), quando foi observado um pico do valor do IBR Bioacumulação para o Fe e Cr. Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), foi observado que as maiores contribuições para a composição do valor do IBR Bioacumulação foram do As, Cr, Cu e Hg. No Setor Reservatório da Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) teve destaque para uma maior contribuição do Cd. Na Campanha 12 (jul 2024 – período chuvoso), teve uma redução, e o valor do IBR Bioacumulação contou com uma maior contribuição do As.

Quando todas as Campanhas são analisadas em conjunto, o contaminante que mais contribuiu para a composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor Tributário foi o Mn. No Setor Lago, destaca-se a contribuição expressiva do Pb, seguida do As, na composição do valor do índice. No Setor Lagoa, o valor do IBR Bioacumulação contou com importantes contribuições do As, Cr, Fe, Hg e Pb. Por sua vez, o Fe e Cd foram os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do índice no

Setor Reservatório. Por fim, o Zn e Cu foram os contaminantes que mais contribuíram na composição do IBR Bioacumulação no Setor Rio.

Em síntese, todos os contaminantes analisados estiveram presentes na formação do IBR Bioacumulação em todas as Campanhas realizadas, com exceção do Hg e Pb, os quais participaram da composição do índice em apenas algumas Campanhas. No caso do Hg, as maiores contribuições deste metal para a composição dos valores do IBR Bioacumulação foram observados na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). No caso do Pb, foram observados picos de contribuição nos valores do IBR Bioacumulação na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). Embora presentes em poucas Campanhas, vale lembrar que Hg e Pb são altamente tóxicos. Mesmo em baixas concentrações, estes metais podem causar toxicidade à biota e ao ser humano. Além disso, vale ressaltar que o Cd e As, contaminantes também considerados altamente tóxicos à biota aquática, demonstraram picos no valor de IBR Bioacumulação ao longo do período de monitoramento, com destaque para sua contribuição do IBR bioacumulação nas últimas três Campanhas. Por outro lado, os metais Cr, Cu, Fe, Mn e Zn são considerados micronutrientes, ou seja, quando em pequenas quantidades, são essenciais para o bom funcionamento dos organismos vivos. Entretanto, quando presentes em quantidades excessivas, podem causar efeitos tóxicos à biota aquática e ao ser humano (Lokeshappa et al., 2012). Neste contexto, cabe destacar que estes metais apresentaram altos valores de contribuição para a composição do valor do IBR Bioacumulação em algumas Campanhas, ao longo do período de monitoramento.

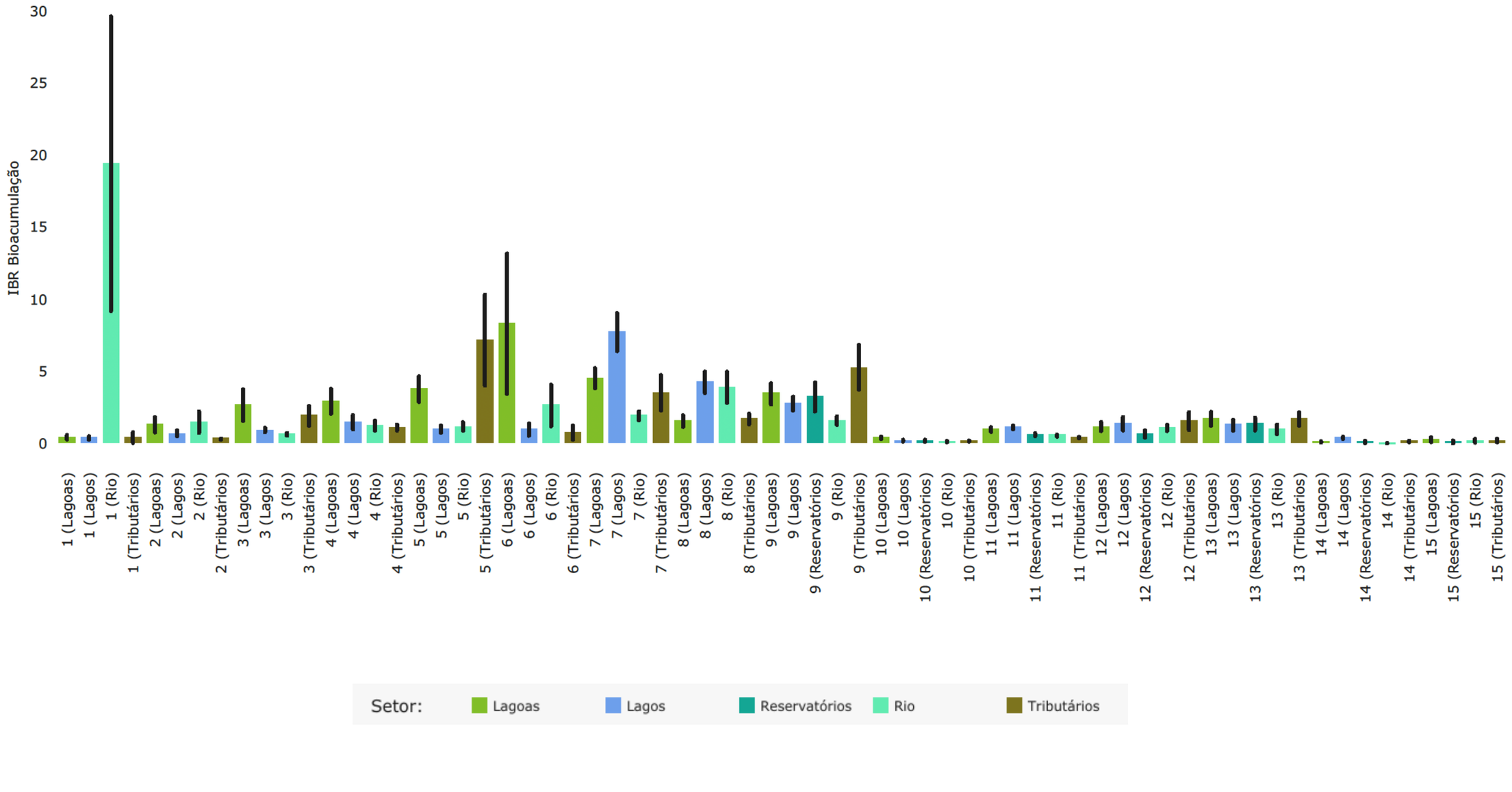
Tabela 4: Concentração média de metais (mg.Kg^{-1}) em amostras de zooplâncton coletadas nos diferentes Setores do ambiente dulcícola (Tributário, Lago, Lagoa e Rio) durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), 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), comparadas com a concentração média de metais em amostras de zooplâncton coletadas na foz do rio Doce antes da chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) (Bianchini, 2019). Concentrações dos metais abaixo dos dados pretéritos estão destacadas em verde enquanto concentrações acima dos valores pretéritos estão destacadas em vermelho. A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Malha amostral conforme Quadro 1.

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do Rio Doce	Zooplâncton	0,121	0,001	0,150	0,069	15,550	6,684	0,005
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 1 (set/out 2018)	Tributário (RGU-01)	Zooplâncton	0,194	0,107	5,148	2,284	123,562	124,649	0,073
		Rio Doce		0,123	0,159	0,025	0,099	306,195	0,460	0,046
		Lagos		0,020	0,019	0,032	0,191	14,191	0,918	0,089
		Lagoas		0,144	0,026	0,076	1,113	229,427	1,115	0,096
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Tributário (RGU-01)	Zooplâncton	0,022	0,030	0,272	3,277	107,327	20,289	0,014
		Rio Doce		0,520	0,020	0,035	55,546	198,532	41,192	0,023
		Lagos		0,033	0,049	0,049	0,197	14,786	2,485	0,016
		Lagoas		0,479	0,043	0,008	10,356	265,668	8,793	0,170
	Campanha 3 (set/out 2019)	Tributário (RGU-01)	Zooplâncton	0,020	0,069	0,016	0,384	27,284	4,658	0,014
		Rio Doce		0,133	0,218	0,053	0,567	50,055	3,117	0,009
		Lagos		0,142	0,045	0,021	0,269	12,993	1,288	0,022
		Lagoas		0,137	0,064	0,252	6,993	48,200	12,341	0,012
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Tributário (RGU-01)	Zooplâncton	0,041	0,146	0,035	0,816	224,513	42,860	0,082
		Rio Doce		0,164	0,041	0,601	0,517	143,136	52,050	0,106
		Lagos		0,082	0,135	0,049	0,545	40,604	10,311	0,024
		Lagoas		0,026	0,168	0,292	1,492	17,771	2,354	0,005
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Tributário (RGU-01)	Zooplâncton	0,230	0,014	0,050	0,227	75,204	1,980	0,086
		Rio Doce		0,288	0,144	0,497	2,251	87,002	14,810	0,021

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do Rio Doce	Zooplâncton	0,121	0,001	0,150	0,069	15,550	6,684	0,005
		Lagos		0,129	0,021	0,036	0,634	20,448	7,037	0,057
		Lagoas		0,085	0,029	0,031	1,576	9,863	1,045	0,026
	Campanha 6 (jul/ago 2021)	Tributário (RGU-01)	Zooplâncton	0,184	0,116	0,046	0,050	1,480	0,118	0,178
		Rio Doce		0,153	0,154	0,251	0,284	1,216	0,277	0,221
		Lagos		0,072	0,021	0,141	0,344	22,619	12,689	1,295
		Lagoas		0,246	0,251	0,239	0,513	11,939	0,265	0,380
	Campanha 7 (mar/ 2022)	Tributário (RGU-01)	Zooplâncton	0,005	0,014	3,906	0,909	31,649	61,235	0,545
		Rio Doce		0,566	0,011	5,050	1,696	85,250	40,616	11,696
		Lagos		0,150	0,015	1,397	0,429	147,943	13,495	11,335
		Lagoas		0,436	0,016	1,221	0,955	148,509	12,559	13,498
	Campanha 8 (set/out 2022)	Tributário (RGU-01)	Zooplâncton	0,059	0,079	0,387	55,586	294,582	12,760	1,547
		Rio Doce		0,278	0,116	0,394	41,656	348,661	11,090	1,328
		Lagos		0,297	0,063	0,355	30,853	396,785	10,358	2,605
		Lagoas		0,206	0,058	0,336	33,351	403,025	9,039	2,374
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Tributário (RMH-01)	Zooplâncton	0,012	0,012	0,757	0,250	441,190	8,466	3,485
		Rio Doce		0,161	0,010	3,492	0,932	766,820	23,527	4,527
		Lagos		0,076	0,007	0,457	0,368	313,467	9,375	4,717
		Lagoas		0,095	0,007	0,563	0,523	459,375	22,828	4,206
		Reservatório		0,128	0,007	2,140	1,051	622,457	44,558	1,554
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 10 (jun/jul 2023)	Tributário (RMH-01)	Zooplâncton	0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
		Rio Doce		0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
		Lagos		0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
		Lagoas		0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
		Reservatório		0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
		Tributário (RMH-01)		0,027	0,048	3,284	0.864	350,805	26,862	9,830

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do Rio Doce	Zooplâncton	0,121	0,001	0,150	0,069	15,550	6,684	0,005
	Campanha 11 (jan 2024)	Rio Doce	Zooplâncton	0,307	0,066	2,624	0,791	164,039	17,822	1,360
		Lagos		0,087	0,061	0,368	0,301	35,486	7,082	1,885
		Lagoas		0,152	0,032	0,224	0,421	133,445	7,753	0,449
		Reservatório		0,123	0,153	0,505	0,716	104,943	8,521	4,638
	Campanha 12 (jul 2024)	Tributário (RMH-01)	Zooplâncton	0,139	0,013	0,728	0,351	157,340	20,465	0,211
		Rio Doce		0,171	0,015	0,912	0,560	213,941	15,047	0,136
		Lagos		0,091	0,013	0,152	0,346	25,409	14,662	0,170
		Lagoas		0,124	0,013	0,055	0,291	40,870	3,318	0,216
		Reservatório		0,150	0,013	0,138	0,542	31,070	4,926	0,186
	Campanha 13 (jan/fev 2025)	Lago	Zooplâncton	0,669	0,221	0,958	7,006	45,070	10,746	1,158
		Lagoa		0,610	0,226	0,932	7,204	46,264	10,431	1,099
		Reservatório		0,514	0,244	1,079	7,880	50,551	10,745	1,215
		Rio		0,746	0,260	1,137	8,429	54,917	12,953	1,378
		Tributários		0,817	0,366	1,574	11,654	75,054	16,769	1,715
	Campanha 14 (jul 2025)	Lago	Zooplâncton	0,202	0,160	0,500	0,129	45,636	3,812	0,187
		Lagoa		0,434	0,185	0,634	0,130	56,866	1,403	0,330
		Reservatório		0,074	0,071	0,253	0,068	3,179	0,556	0,081
		Rio		0,298	0,141	0,563	0,056	9,503	1,469	0,239
		Tributários		0,466	0,181	1,031	0,061	18,663	1,354	0,199
	Campanha 15 (jan/fev 2026)	Lago	Zooplâncton	0,418	0,154	0,365	0,386	15,758	2,330	0,477
		Lagoa		1,146	0,147	0,364	0,586	64,490	3,228	0,660
		Reservatório		0,538	0,149	0,341	0,485	18,590	1,357	0,395
		Rio		0,332	0,145	0,350	0,335	30,001	1,304	0,291
		Tributários		0,303	0,136	0,309	0,306	20,383	0,839	0,268

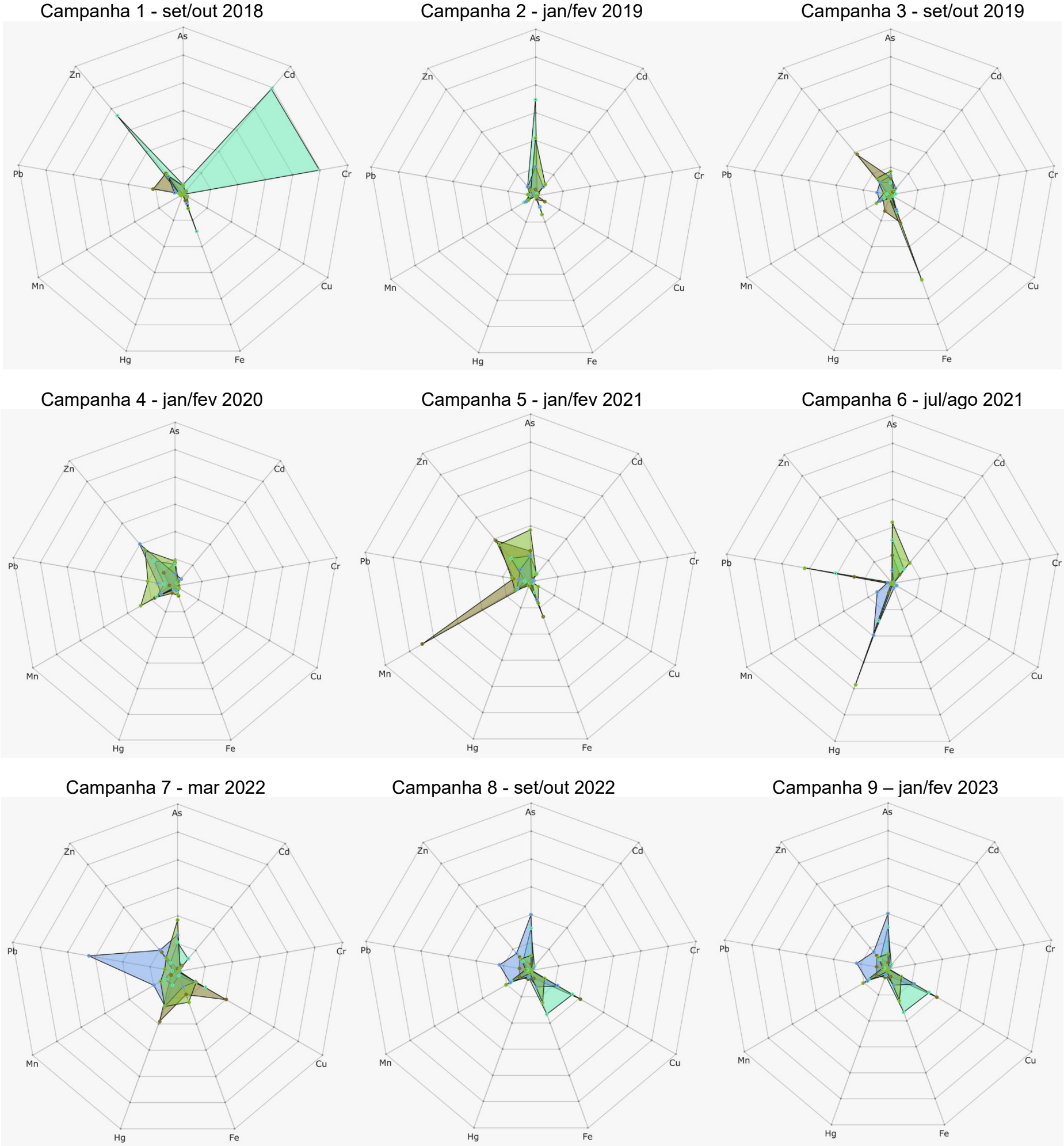
Figura 7: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de camarões coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 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. Malha amostral conforme Quadro 1. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



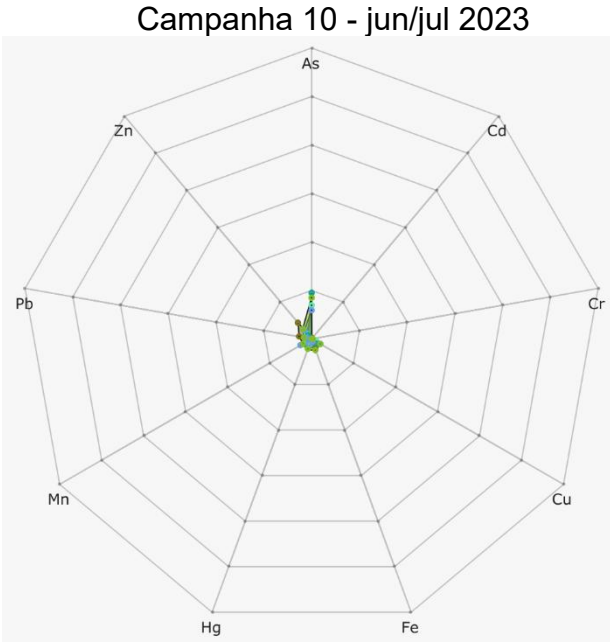
O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação), gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar as tendências espaço-temporais da bioacumulação de metais e As nos camarões do Ambiente Dulcícola, ao longo de todo o monitoramento.

Com relação à comparação temporal para os camarões do Ambiente Dulcícola, pode ser observado na Figura 7 que o Setor Rio foi aquele que apresentou um valor de IBR Bioacumulação bastante alto, porém apenas na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco). Após a ocorrência deste pico no valor do IBR Bioacumulação, os valores deste índice foram consideravelmente menores nas Campanhas seguintes do monitoramento. De modo geral, a partir da Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) até Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) foi observada uma tendência de aumento dos valores do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados. Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), os valores deste índice diminuíram consideravelmente em todos os Setores avaliados, tendendo a zero. Porém, esta redução foi transitória, uma vez que os valores do IBR Bioacumulação aumentaram progressivamente em todos os Setores na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). As últimas duas Campanhas (Campanha 14: jul 2025 – período seco e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso) apresentaram, novamente, uma redução no valor médio do índice em todos os Setores, semelhante aos observados na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). Assim, denota-se a partir dos resultados obtidos que os níveis de bioacumulação de metais e As nos camarões apresentam variações em longo prazo, possivelmente associadas ao fato de que os invertebrados bentônicos, incluindo os camarões, sofrem influência tanto da qualidade da água quanto do sedimento. Portanto, as variações das condições físico-químicas destas duas matrizes ambientais, observadas especialmente entre os períodos secos e chuvosos, certamente afetam os níveis de bioacumulação de metais e As nestes organismos. Apesar disso, observa-se claramente que, de uma maneira geral, há uma tendência de discreta oscilação dos valores médios do IBR Bioacumulação ao longo do tempo. Isto indica uma tendência de contaminação crônica dos camarões dulcícolas ao longo do período de monitoramento. Os valores reduzidos das últimas Campanhas não descartam a falta de impacto, uma vez que assemelham-se aos valores da Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), que foi seguida por um aumento nas Campanhas subsequentes.

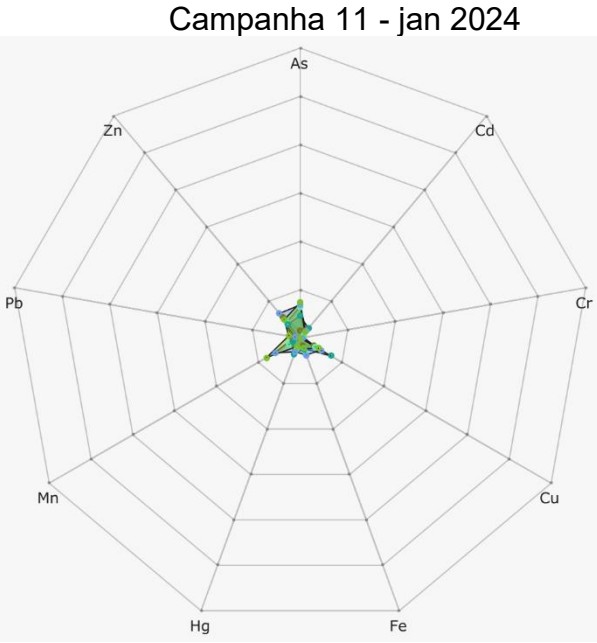
Figura 8: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de camarões coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – 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); e Zinco (Zn). Malha amostral conforme Quadro 1.



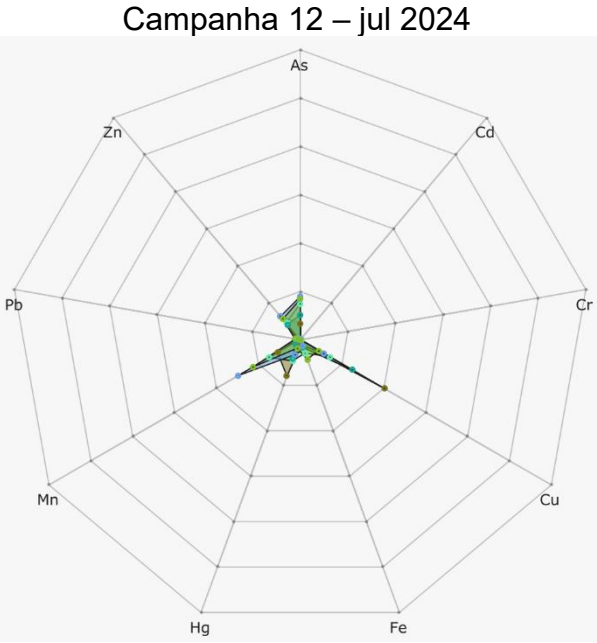
Campanha 10 - jun/jul 2023



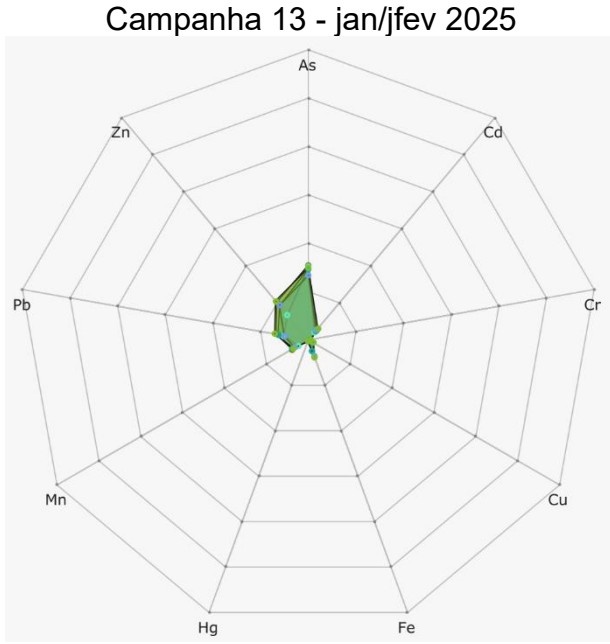
Campanha 11 - jan 2024



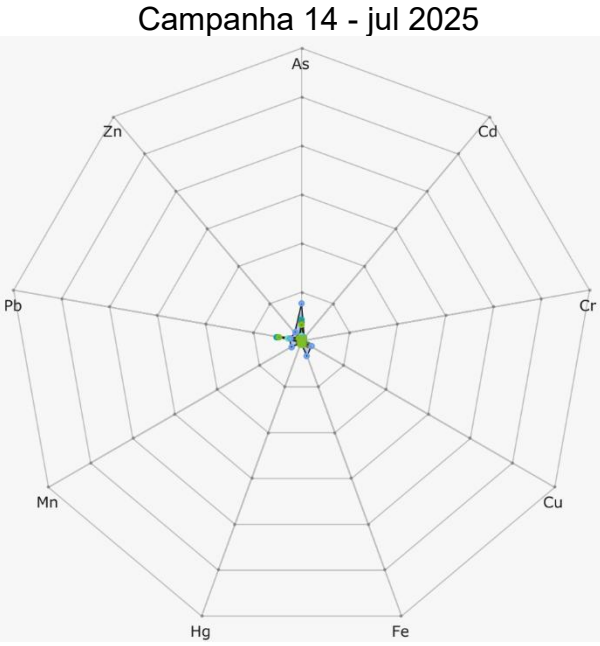
Campanha 12 – jul 2024



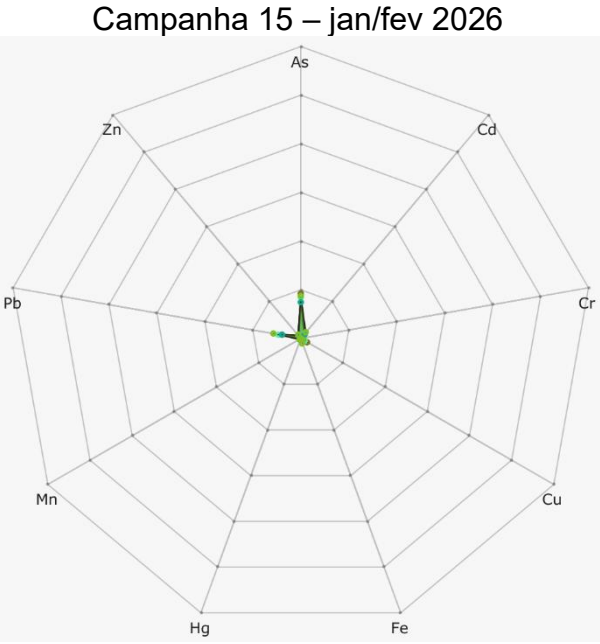
Campanha 13 - jan/jfev 2025



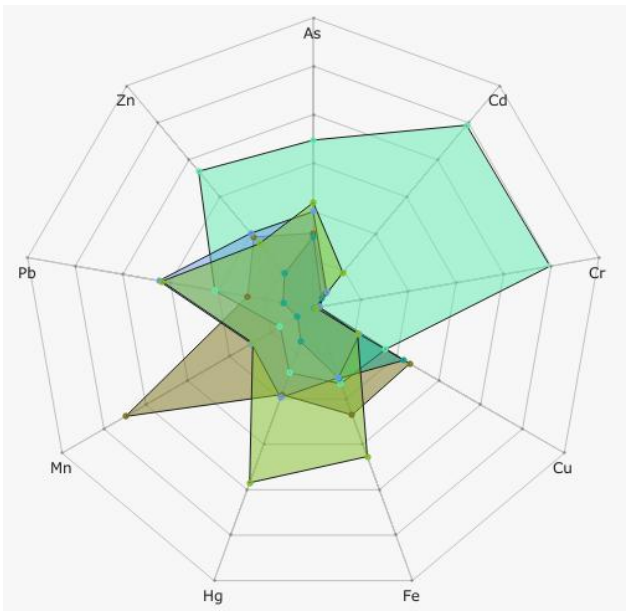
Campanha 14 - jul 2025

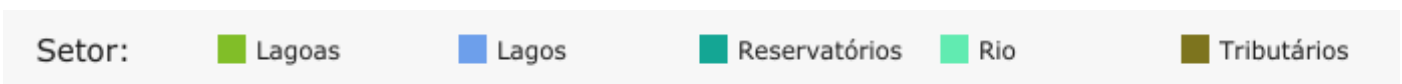


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas





Os gráficos de radar apresentados na Figura 8 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e do As nos camarões do Ambiente Dulcícola, bem como a contribuição de cada um destes na composição do valor deste índice.

Com relação aos valores de IBR Bioacumulação que mais se destacaram ao longo do monitoramento, o mais proeminente foi aquele observado no Setor Rio na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), tendo este sido composto por todos os contaminantes analisados, com menor contriobuicão de Cu, Hg e Mn. Neste caso, foram observadas expressivas contribuições dos metais Cd, Cr e Zn. Em seguida, destaca-se o valor do IBR Bioacumulação do Setor Lagoas e Setor Tributário na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), onde o valor do índice foi composto principalmente pelas contribuições do As, Zn e Fe, além da expressiva contribuição de Mn no Setor Tributário. Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), o Setor Tributário teve o valor do seu índice composto por todos os contaminantes analisados, exceto o Cr. Neste caso, foram observados picos de valores de Cu e Fe.

Desde a Campanha 1 (set/out 2028 – período seco) até a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), foi observado que os valores do IBR Bioacumulação no Setor Lagoa sempre foram mais altos que aqueles registrados para o Setor Lago. Contudo, no período compreendido entre a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), o Setor Lago se destacou, não só por ser maior em relação ao Setor Lagoa, mas também por apresentar os maiores valores do índice nestas Campanhas, quando comparado aos demais Setores avaliados. Nestas Campanhas, os valores do IBR Bioacumulação do Setor Lago foram compostos , principalmente, por Pb, As e Hg, e por As, Cu e Pb, respectivamente. O Setor Reservatório teve o valor do seu maior índice composto por todos os elementos, exceto Mn e Pb, apresentando um pico de contribuição do Cu, seguido do Fe, na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso).

Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), os valores de IBR Biomarcador foram relativamente baixos, com destaque para os valores do Setor Tributários, influenciados pelo Cu e Hg. Na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), o SetorTributários e Setor Lagoas apresentaram alta similaridade na diversidade de elementos compondo o IBR Bioacumulação de camarões dulcícolas, com influência dos metais As e Zn em ambos os Setores. As últimas Campanhas foram caracterizadas por uma redução no valor médios dos índices, com contribuição principalmente de Pb e As.

Quando todas as Campanhas são analisadas em conjunto, denota-se que os contaminantes que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor Tributário foram Mn, Zn, Fe e Cu. No Setor Lago, o valor do índice foi composto sobretudo pelos elementos Pb, Zn e As. No Setor Lagoa, o valor do IBR Bioacumulação contou com as contribuições expressivas do Hg, Fe e Pb. Por sua vez, o Cu, Fe e As foram os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do índice no Setor Reservatório. Por fim, o Cd, Cr, Zn e As foram os contaminantes que mais contribuíram na composição do IBR Bioacumulação no Setor Rio.

Apesar de não ter sido observado um padrão temporal de variação do IBR Bioacumulação nos Setores avaliados, em função das Campanhas realizadas, todas as Campanhas apresentaram uma diversidade dos contaminantes analisados contribuindo para a composição dos valores do IBR Bioacumulação. Cabe ressaltar que elementos como, por exemplo, As, Pb e Zn, se destacaram devido à sua maior frequência de contribuição com picos altos de valores na composição do índice. Isto é preocupante, uma vez que o As e Pb são contaminantes altamente tóxicos à biota aquática, bem como ao ser humano. Por outro lado, os demais contaminantes mencionados são considerados micronutrientes essenciais, mas que em concentrações excessivas podem gerar toxicidade aos organismos vivos (Lokeshappa et al., 2012).

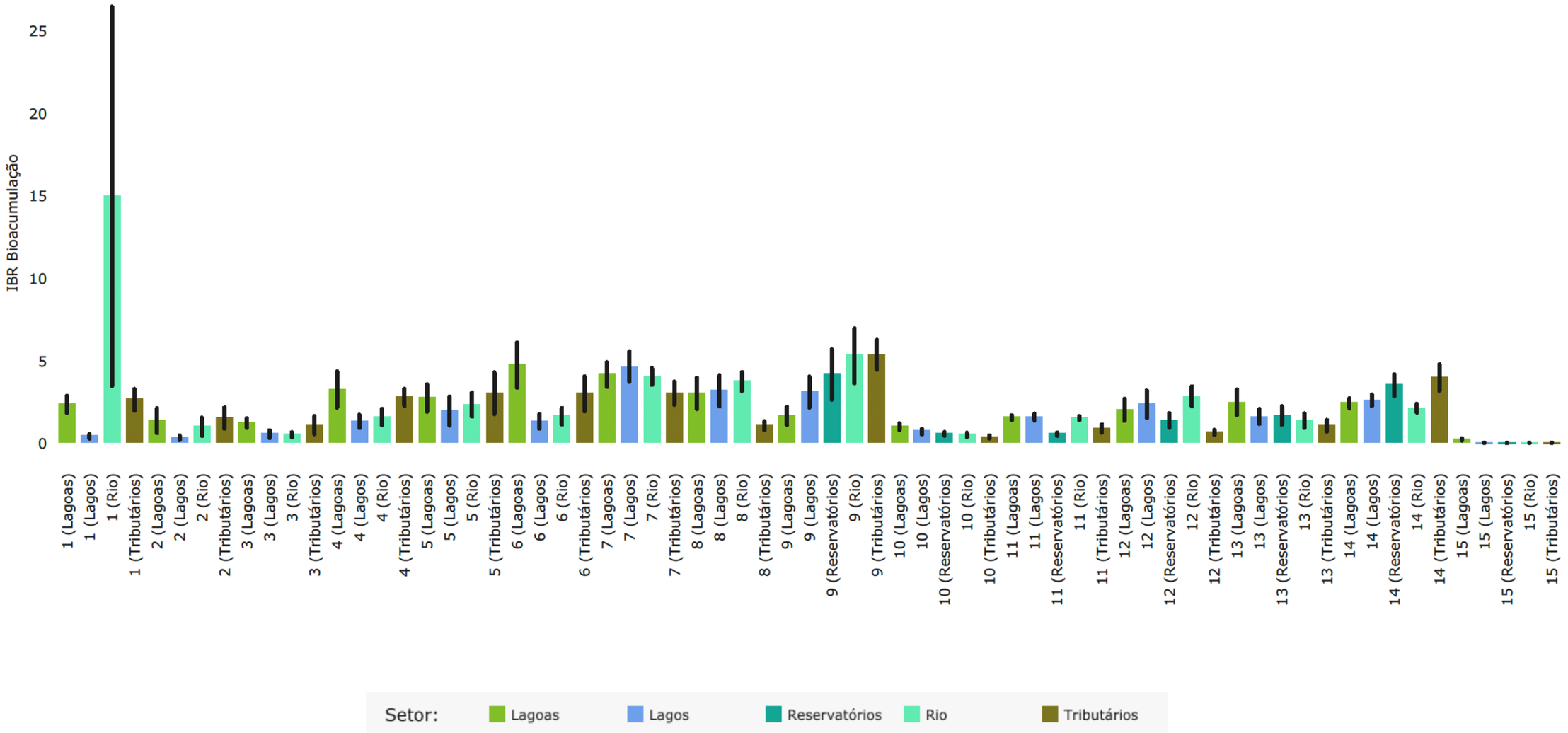
Tabela 5: Concentração média de metais (mg.Kg^{-1}) no músculo de camarões coletados nos diferentes Setores do ambiente dulcícola (Tributário, Lago, Lagoa e Rio) durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), 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), Campnaha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), comparadas com a concentração média de metais no músculo de camarões coletados na foz do rio Doce antes da chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) (Bianchini, 2019). Concentrações dos metais abaixo dos dados pretéritos estão destacadas em verde, enquanto concentrações acima dos valores pretéritos estão destacadas em vermelho. A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Malha amostral conforme Quadro 1.

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do Rio Doce	Camarões	0,7720	0,0010	0,0030	0,8350	26,9000	0,1640	0,2860
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 1 (set/out 2018)	Tributário (RGU-01)	Camarões	0,0371	0,0361	0,1397	0,4843	6,2662	0,1494	0,2240
		Rio Doce		0,0318	0,0827	0,0557	0,1136	17,6685	0,1914	0,0564
		Lagos		0,0601	0,0421	0,0216	0,8182	4,1530	0,2377	0,0309
		Lagoas		0,0605	0,0293	0,0305	1,6644	6,7484	0,4462	0,0231
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Tributário (RGU-01)	Camarões	0,0314	0,0378	1,4655	2,6000	4,8969	1,5006	0,0454
		Rio Doce		1,2740	0,0273	0,6114	0,3411	59,0219	2,4008	0,0398
		Lagos		0,1236	0,1061	0,2177	1,6554	8,4426	1,3728	0,0218
		Lagoas		0,5508	0,0896	0,0551	2,8199	52,2980	2,9142	0,0449
	Campanha 3 (set/out 2019)	Tributário (RGU-01)	Camarões	0,2745	0,0233	0,5234	1,7616	9,9427	1,2208	0,0047
		Rio Doce		0,1970	0,0700	0,2421	4,7483	50,3542	1,6465	0,0168
		Lagos		0,1299	0,0741	0,0385	0,1588	28,1492	1,8533	0,0611
		Lagoas		0,2868	0,0495	0,1326	1,1481	30,7090	3,0565	0,0087
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Tributário (RGU-01)	Camarões	0,0192	0,0324	1,1598	2,2677	5,0574	1,4213	0,0602
		Rio Doce		0,3141	0,0396	0,3548	2,2770	3,2271	2,5185	0,0764
		Lagos		0,0475	0,1828	0,1134	0,2741	4,7008	2,4130	0,0904
		Lagoas		0,2738	0,2132	0,1774	14,4481	24,2823	2,2055	0,0272
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Tributário (RGU-01)	Camarões	0,1686	0,0239	0,0466	0,2795	128,1383	74,6369	0,1264
		Rio Doce		0,0888	0,1030	0,3510	3,3497	9,8579	3,7124	0,0662
		Lagos		0,1923	0,0494	0,2020	1,3781	44,7589	10,4155	0,1573

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do Rio Doce	Camarões	0,7720	0,0010	0,0030	0,8350	26,9000	0,1640	0,2860
		Lagoas		0,1523	0,1644	0,0612	0,4817	15,7895	2,1400	0,0553
	Campanha 6 (jul/ago 2021)	Tributário (RGU-01)	Camarões	0,1351	0,0802	0,0419	0,5005	0,5982	0,1948	0,1240
		Rio Doce		0,2504	0,2335	0,3092	0,7161	0,7425	0,3873	0,3450
		Lagos		0,0875	0,0224	0,1554	1,9369	2,2600	0,8464	0,0145
		Lagoas		0,1991	0,1896	0,3727	0,8725	1,8505	0,5439	0,3101
	Campanha 7 (mar/ 2022)	Tributário (RGU-01)	Camarões	0,0788	0,1224	0,1121	6,2620	9,1294	0,6623	0,1605
		Rio Doce		0,4903	0,6821	0,5982	94,9291	30,8546	12,6090	0,1225
		Lagos		0,6722	0,1493	1,5507	54,3798	50,5994	12,7923	0,3070
		Lagoas		0,7213	0,1724	0,4287	55,2438	75,2772	18,3853	1,2169
	Campanha 8 (set/out 2022)	Tributário (RGU-01)	Camarões	0,0450	0,0243	0,1296	1,9583	3,7867	0,2342	0,0243
		Rio Doce		0,7267	0,2243	0,4936	142,0471	240,3798	16,7859	0,0885
		Lagos		0,4148	0,0574	0,2138	53,4625	113,4153	21,0732	0,1173
		Lagoas		0,9219	0,1244	0,7979	81,1242	153,8429	21,2444	0,6737
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Tributário (RMH-01)	Camarões	0,0316	0,0242	0,2278	3,8200	17,7500	0,5505	0,0242
		Rio Doce		0,2184	0,4269	0,2518	84,1561	95,1592	8,7373	0,0849
		Lagos		0,4063	0,0756	0,3629	55,4281	254,2124	10,2034	0,4869
		Lagoas		0,3978	0,0734	0,2812	50,6924	222,5509	11,1548	0,1295
		Reservatório		0,1081	0,1420	0,2625	50,9502	139,6465	2,2778	0,0281
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 10 (jun/jul 2023)	Tributário (RMH-01)	Camarões	0,0262	0,0244	0,1762	3,4840	2,5060	0,3598	0,0244
		Rio Doce		0,0769	0,0246	0,1666	3,4257	4,2768	0,5517	0,0244
		Lagos		0,0559	0,0251	0,1669	2,4312	5,7899	0,5110	0,0391
		Lagoas		0,0509	0,0251	0,1336	2,2398	3,2615	0,4180	0,0365
		Reservatório		0,0483	0,0251	0,1083	2,4658	3,0567	0,2361	0,0245
	Campanha 11 (jan 2024)	Tributário (RMH-01)	Camarões	0,106	0,100	1,128	5,740	4,133	0,607	0,033
		Rio Doce		0,233	0,115	6,140	7,949	15,011	1,317	0,056

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do Rio Doce	Camarões	0,7720	0,0010	0,0030	0,8350	26,9000	0,1640	0,2860
		Lagos		0,160	0,072	3,219	6,066	12,021	1,106	0,061
		Lagoas		0,157	0,028	0,654	7,235	5,191	1,488	0,062
		Reservatório		0,073	0,061	0,092	5,198	1,937	0,679	0,040
	Campanha 12 (jul 2024)	Tributário (RMH-01)	Camarões	0,041	< 0,024	0,661	6,737	16,967	0,890	< 0,024
		Rio Doce		0,150	0,088	0,612	7,357	10,459	1,870	0,092
		Lagos		0,108	0,083	0,450	4,731	6,945	2,131	0,081
		Lagoas		0,125	< 0,024	0,584	8,331	18,678	2,575	0,098
		Reservatório		0,102	0,040	0,600	8,262	9,136	0,581	< 0,024
	Campanha 13 (jan/fev 2025)	Lago	Camarões	0.611	0,225	0,549	6,422	32,830	5,347	0,204
		Lagoa		0.613	0,253	0,477	7,440	37,582	4,715	0,339
		Reservatório		0.658	0,203	1,000	6,346	29,965	4,766	0,332
		Rio		0.600	0,164	0,656	5,046	24,184	4,057	0,291
		Tributário		0.736	0,230	1,097	7,266	34,018	5,097	0,306
	Campanha 14 (jul 2025)	Lago	Camarões	0.399	0,022	0,236	6,672	10,514	0,941	0,161
		Lagoa		0.099	0,022	0,273	4,700	10,504	0,508	0,176
		Reservatório		0.425	0,023	0,853	4,935	9,686	1,250	0,391
		Rio		0.163	0,020	0,358	4,425	10,053	0,939	0,166
		Tributário		0.439	0,023	0,825	5,390	10,635	1,322	0,312
	Campanha 15 (jan/fev 2026)	Lago	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Lagoa		0.102	0,112	0,299	3,517	3,114	0,787	0,200
		Reservatório		0.105	<0,004	0,326	1,905	0,565	0,577	0,004
		Rio		0.133	0,110	0,310	3,187	10,716	0,626	0,158
		Tributário		0.094	<0,004	0,294	1,916	0,368	0,427	0,004

Figura 9: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, fígado e músculo) de peixes (onívoros e carnívoros) 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. Malha amostral conforme Quadro 1. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.

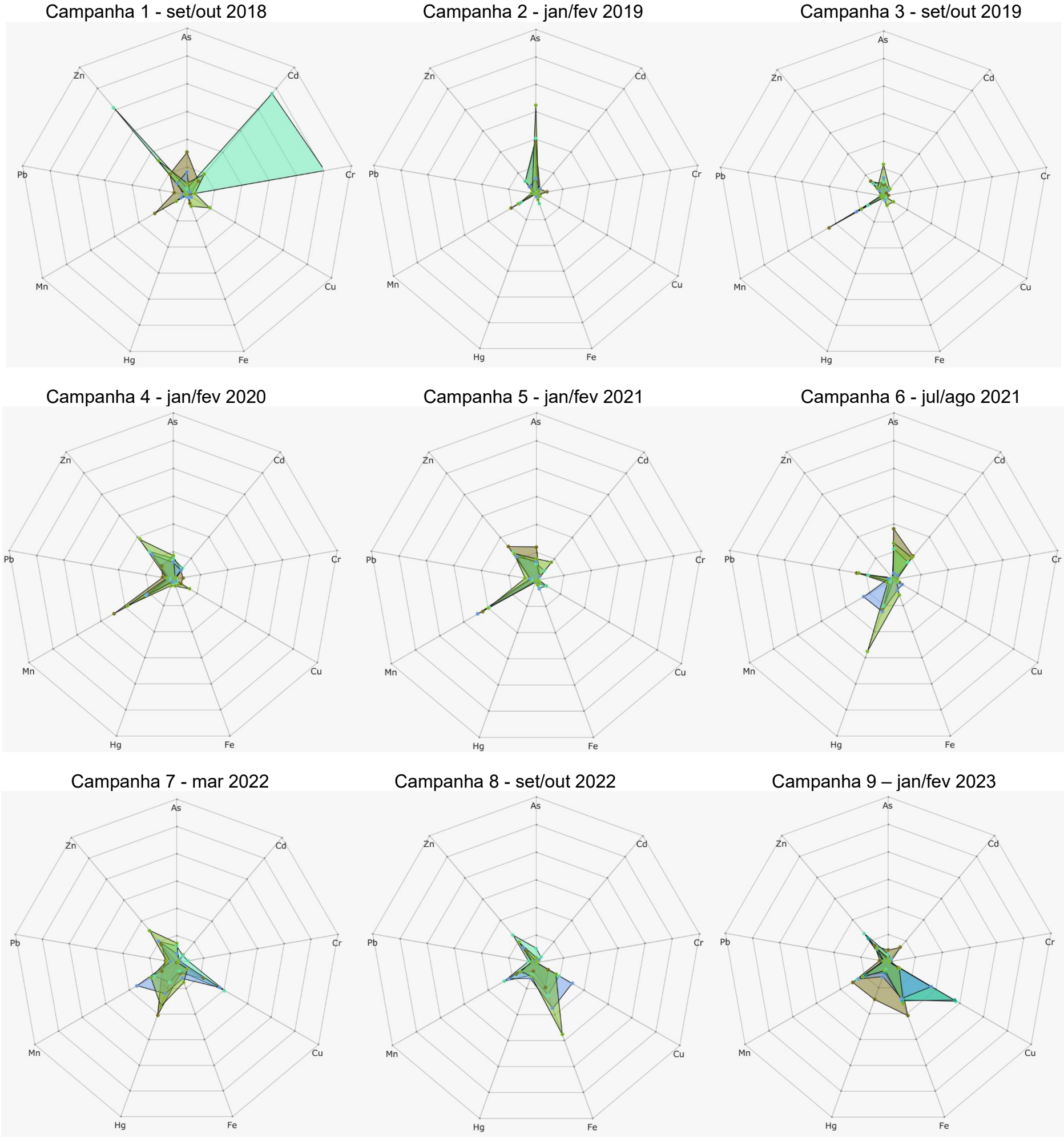


O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação), gerados para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar as tendências espaço-temporais de bioacumulação dos metais e As nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Dulcícola, ao longo de todo o monitoramento.

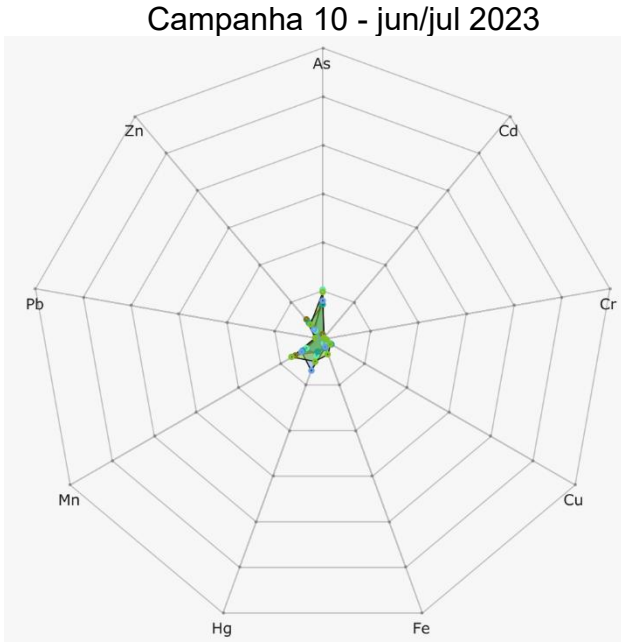
Com relação à comparação temporal global apresentada na Figura 9, pode ser observado que o maior valor do IBR Bioacumulação ao longo de todo o período de monitoramento foi observado no Setor Rio na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco). Na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) e Campanha 3 (set/out 2019 – período seco) foi observada uma redução no valor do IBR Bioacumulação para todos os Setores avaliados. Entre a Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso) e a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), foram observados valores mais altos e relativamente constantes do índice em todos os Setores avaliados. Entretanto, na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) foi observada uma redução expressiva nos valores do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados, inclusive no Setor Rio. Porém, esta redução observada foi transitória, já que na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), foi observado um incremento dos índices, que se manteviveram pelas Campanhas 12 (jul 2024 – período seco e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) para todos os Setores avaliados. Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) observou-se um disvcreto aumento no IBR Bioacumulação dos peixes, seguido de uma redução abrupta a níveis tendendo a zero na última Campanha amostrada (Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso).

De forma geral, as variações observadas nos valores do IBR Bioacumulação de peixes dulcícolas seguem um padrão similar àquelas observadas para os valores do IBR Bioacumulação de plâncton e de camarões dulcícolas. Entretanto, há uma tendência geral dos valores do índice serem maiores para os peixes, sobretudo em relação ao plâncton. Este fato pode ser uma evidência do processo de biomagnificação da contaminação ao longo da cadeia trófica pelos elementos químicos analisados. Além disso, vale lembrar que tanto peixes onívoros como carnívoros foram avaliados, indicando que diferentes fontes alimentares, como detritos, plantas, algas, microcrustáceos, macrocrustáceos, insetos, anfíbios, outros peixes etc. (Alvim & Peret, 2004; Silva et al., 2019), podem estar contribuindo para os níveis de bioacumulação de metais e As observados nos peixes dulcícolas.

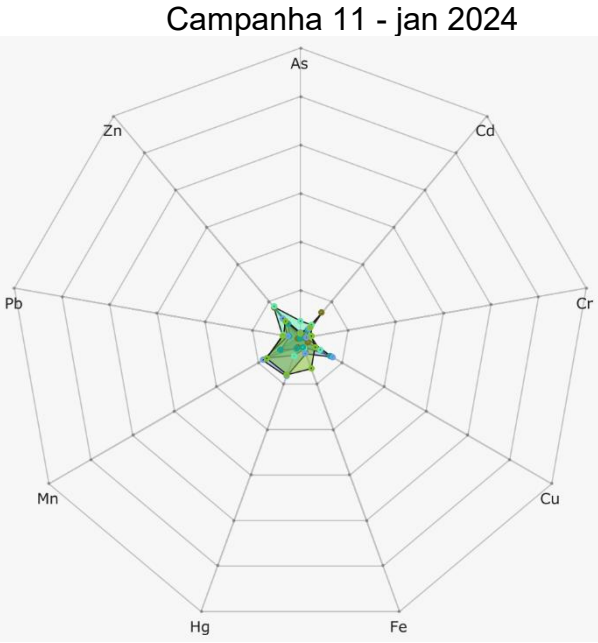
Figura 10: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, fígado e músculo) de peixes (onívoros e carnívoros) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (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 – períodos 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); e Zinco (Zn). Malha amostral conforme Quadro 1.



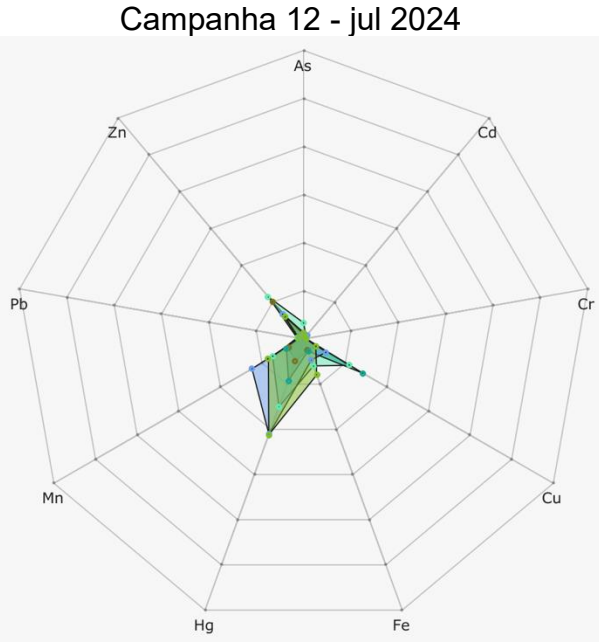
Campanha 10 - jun/jul 2023



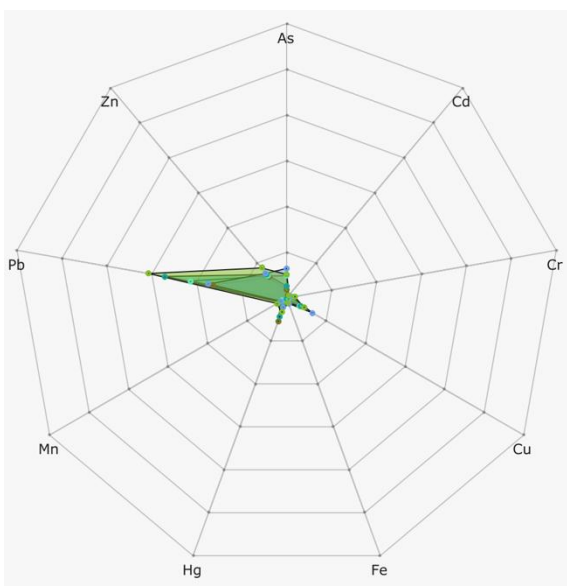
Campanha 11 - jan 2024



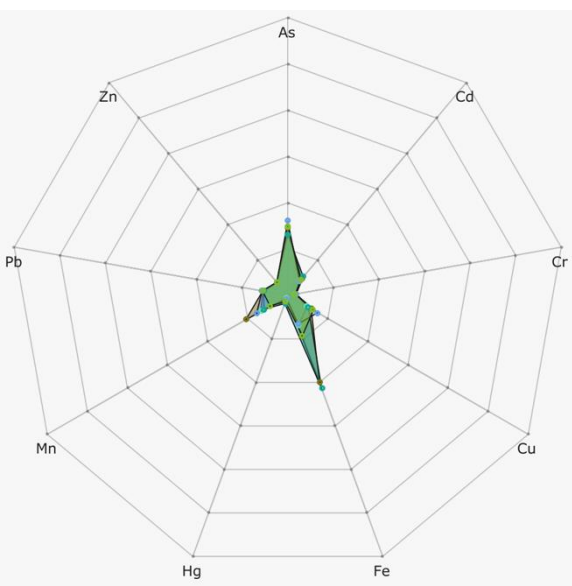
Campanha 12 - jul 2024



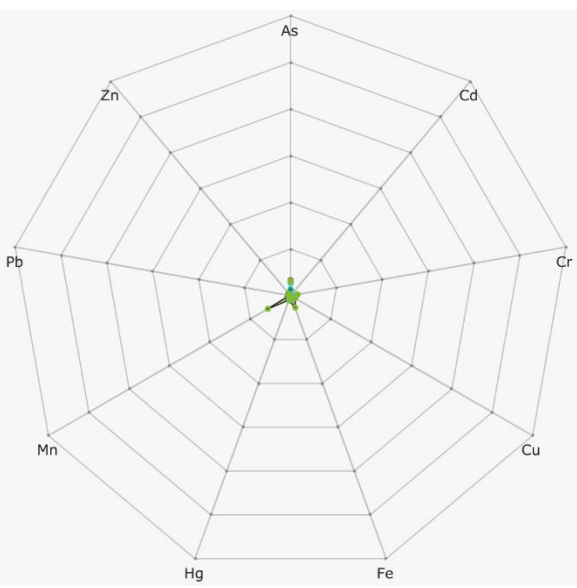
Campanha 13 - jan/fev 2025



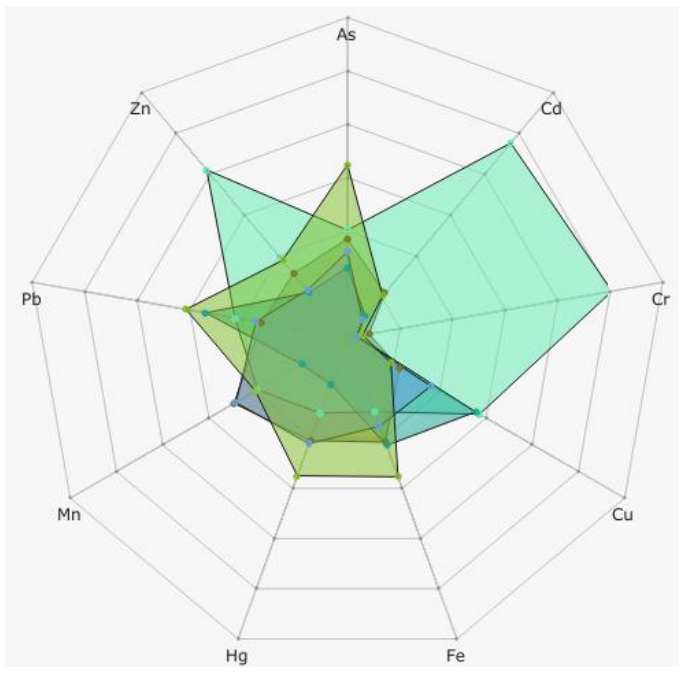
Campanha 14 - jul 2025



Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas



Os gráficos de radar apresentados na Figura 10 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e do As nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Dulcícola, bem como a contribuição de cada um destes para a composição do índice.

O Setor Rio foi aquele que se destacou por apresentar os maiores valores de IBR Bioacumulação ao longo do monitoramento, tendo estes sido observados especialmente na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), com contribuição principalmente de Cd, Cr e Zn, e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), onde se destacaram os elementos Cu, Mn e Zn. Ainda na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chovoso), foi observado um aumento nos valores do IBR Bioacumulação no Setor Tributário, com principal contribuição de Fe, Hg e Mn. Vale lembrar que, a partir desta campanha, foram iniciadas as coletas de organismos também no Setor Reservatório. Neste contexto, cabe destacar que, na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), o Setor Reservatório apresentou um valor elevado do IBR Bioacumulação, sendo este menor apenas do que o valor observado para o Setor Rio. Neste caso, o IBR Bioacumulação do Setor Reservatório foi principalmente composto por Cu, Fe, Mn e Zn nesta Campanha. Como já mencionado para o plâncton dulcícola, onde um resultado similar foi observado, o maior valor do IBR Bioacumulação no Setor Reservatório indica uma maior quantidade de metais e As associados aos sedimentos e à matéria orgânica depositados nos reservatórios, bem como às diferentes características físicas, químicas e hidrológicas deste setor, as quais estariam favorecendo uma maior biodisponibilidade e, consequentemente, uma maior bioacumulação destes elementos nos organismos residentes.

Quando todas as Campanhas são analisadas em conjunto, denota-se que os contaminantes que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor Tributário foram Mn, Fe, Hg e As. No Setor Lago, o valor do índice foi composto sobretudo pelo Mn, seguido do Hg e Fe. No Setor Lagoa, o valor do IBR Bioacumulação contou com as contribuições expressivas do As, Fe e Pb. Por sua vez, o Cu, Pb e Fe foram os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do índice no Setor Reservatório. Por fim, o Cr, Cd e Zn foram os contaminantes que mais contribuíram na composição do IBR Bioacumulação no Setor Rio.

Cabe destacar que, em todas as Campanhas realizadas, os valores do IBR Bioacumulação foram compostos por uma grande diversidade dos contaminantes analisados, inclusive na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), a qual apresentou os menores valores do índice, em todos os Setores avaliados, ao longo de todo o período de monitoramento. Isto indica que, apesar dos contaminantes avaliados estarem presentes em diferentes concentrações no ambiente ao longo do monitoramento, há uma contribuição semelhante de cada um deles para o valor do IBR Bioacumulação, ou seja, a proporcionalidade entre as concentraçõoes destes contaminantes é conservada ao longo do tempo. Corroborando com isso, observou-se um aumento do valor médio do índice em todos os Setores avaliados na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), que se manteve na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), em relação à Campanha 10 (jun/jul

2023 – período seco). Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco), um discreto aumento foi observado, com composição dos índices semelhante entre os Setores, onde se destaca o As e, em menor escala, Fe. A alta diversidade de elementos compondo o IBR Bioacumulação dos peixes em diferentes Setores, ao longo do período amostrado desperta e requer a atenção quanto à bioacumulação dos contaminantes analisados nos peixes do Ambiente Dulcícola, não apenas para os metais não essenciais, considerados altamente tóxicos (As, Cd e Pb), mas também para aqueles considerados como sendo micronutrientes (Cr, Cu, Fe, Mn e Zn), que em altas concentrações exercem toxicidade à biota aquática. Portanto, a devida atenção deve ser dada aos impactos negativos e riscos que estes contaminantes podem estar acarretando tanto na saúde dos ecossistemas dulcícolas quanto à saúde humana (Noman et al., 2022; Zaynab et al., 2022).

Tabela 6: Concentração média de metais (mg.Kg^{-1}) no músculo de peixes (onívoros e carnívoros) coletados nos diferentes Setores do ambiente dulcícola (Tributário, Lago, Lagoa e Rio) 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), comparadas com a concentração média de metais no músculo de peixes (onívoros e carnívoros) coletados em diferentes pontos da calha do rio Doce no estado do Espírito Santo (ES), antes da chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) (ACQUA, 2016). Concentrações dos metais abaixo dos dados pretéritos estão destacadas em verde, enquanto concentrações acima dos valores pretéritos estão destacadas em vermelho."NA" significa que não há informação sobre a concentração do metal. A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Malha amostral conforme Quadro 1.

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à passagem do MLD (ACQUA, 2016)	(nov/2015)	Rio Doce (UHE Mascarenhas; jusante da UHE Mascarenhas; Colatina; Marilândia e Regência)	*Centropomus undecimalis; Cichla monoculus; Genidens genidens; Geophagus brasiliensis; Hypomasticus mormyrops; Mugil sp., Pimelodus maculatus; Polydactylus sp.; Pochiclodus argenteus; Pygocentrus nattereri; Serrasalmus rhombeus*	0,703	0,020	0,111	0,200	9,300	0,460	0,020
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 1 (set/out 2018)	Tributário (RGU-01)	Peixes onívoros	0,261	0,106	0,902	0,683	49,030	1,615	0,068
		Rio Doce		0,062	0,104	17,698	0,179	7,252	0,144	0,019
		Lagos		0,066	0,047	0,048	0,212	4,382	0,406	0,047
		Lagoas		0,049	0,215	0,957	2,078	40,878	0,192	0,039
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Tributário (RGU-01)	Peixes onívoros	0,390	0,041	0,300	1,814	10,769	2,452	0,012
		Rio Doce		0,360	0,039	0,033	1,226	37,882	2,761	0,052
		Lagos		0,118	0,065	0,249	0,741	17,170	1,183	0,019
		Lagoas		0,569	0,031	0,077	2,582	42,234	4,377	0,044
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 3 (set/out 2019)	Tributário (RGU-01)	Peixes onívoros	0,086	0,048	0,627	1,095	10,169	3,841	0,025
		Rio Doce		0,228	0,111	0,209	0,972	31,412	2,861	0,010
		Lagos		0,155	0,059	0,025	0,131	16,251	2,653	0,033
		Lagoas		1,041	0,111	0,511	1,941	80,821	3,725	0,144
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Tributário (RGU-01)	Peixes onívoros	0,173	0,106	0,100	1,956	48,416	10,396	0,070
		Rio Doce		0,159	0,157	0,605	5,197	33,697	6,205	0,056
		Lagos		0,209	0,189	0,254	0,468	47,769	3,138	0,091

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à passagem do MLD (ACQUA, 2016)	(nov/2015)	Rio Doce (UHE Mascarenhas; jusante da UHE Mascarenhas; Colatina; Marilândia e Regência)	*Centropomus undecimalis; Cichla monoculus; Genidens genidens; Geophagus brasiliensis; Hypomasticus mormyrops; Mugil sp., Pimelodus maculatus; Polydactylus sp.; Pochiclodus argenteus; Pygocentrus nattereri; Serrasalmus rhombeus*	0,703	0,020	0,111	0,200	9,300	0,460	0,020
		Lagoas		0,405	0,071	0,704	14,286	59,408	3,258	0,174
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Tributário (RGU-01)	Peixes onívoros	0,201	0,097	0,580	4,272	5,464	3,636	0,054
		Rio Doce		0,120	0,128	0,211	1,442	29,729	4,456	0,041
		Lagos		0,196	0,088	0,254	1,833	30,677	4,307	0,071
		Lagoas		0,156	0,149	0,102	1,378	33,823	3,489	0,123
	Campanha 6 (jul/ago 2021)	Tributário (RGU-01)	Peixes onívoros	0,268	0,251	0,527	0,497	2,484	0,588	0,371
		Rio Doce		0,332	0,207	0,145	0,139	2,025	0,454	0,328
		Lagos		0,064	0,044	0,251	0,330	10,632	0,881	0,034
		Lagoas		0,243	0,238	0,519	0,576	11,490	0,630	0,374
	Campanha 7 (mar/ 2022)	Tributário (RGU-01)	Peixes onívoros	0,019	0,111	0,131	0,295	6,115	0,179	0,183
		Rio Doce		0,178	0,192	2,576	31,137	98,605	4,029	0,155
		Lagos		0,161	0,070	0,528	50,307	114,860	5,405	0,122
		Lagoas		0,208	0,053	0,349	48,221	72,289	6,582	0,120
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 8 (set/out 2022)	Tributário (RGU-01)	Peixes onívoros	0,025	0,025	0,118	0,128	3,774	0,210	0,031
		Rio Doce		0,182	0,126	0,182	10,508	276,863	4,845	0,168
		Lagos		0,036	0,054	0,136	36,629	419,000	4,476	0,050
		Lagoas		0,037	0,068	0,148	43,776	398,119	5,182	0,073
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Tributário (RMH-01)	Peixes onívoros	0,025	0,025	0,216	0,431	16,600	0,545	0,080
		Rio Doce		0,082	0,069	0,172	26,778	203,049	4,216	0,072
		Lagos		0,048	0,061	0,167	38,340	305,018	4,992	0,082

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à passagem do MLD (ACQUA, 2016)	(nov/2015)	Rio Doce (UHE Mascarenhas; jusante da UHE Mascarenhas; Colatina; Marilândia e Regência)	*Centropomus undecimalis; Cichla monoculus; Genidens genidens; Geophagus brasiliensis; Hypomasticus mormyrops; Mugil sp., Pimelodus maculatus; Polydactylus sp.; Pochiclodus argenteus; Pygocentrus nattereri; Serrasalmus rhombeus*	0,703	0,020	0,111	0,200	9,300	0,460	0,020
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia		Lagoas		0,048	0,041	0,177	29,153	255,996	5,261	0,073
		Reservatório		0,027	0,024	0,115	36,256	129,064	1,922	0,041
	Campanha 10 (jun/jul 2023)	Tributário (RMH-01)	Peixes onívoros	0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
		Rio Doce		0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
		Lagos		0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
		Lagoas		0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
		Reservatório		0,026	0,025	0,080	0,044	2,902	0,092	0,029
	Campanha 11 (jan 2024)	Tributário (RMH-01)	Peixes onívoros	0.073	0.068	0.907	0.410	6.359	0.867	0.0828
		Rio Doce		0.513	0.530	3.088	0.243	10.137	0.660	0.074
		Lagos		0.086	0.068	3.152	0.210	7.252	0.708	0.065
		Lagoas		0.058	0.081	3.095	0.274	11.549	0.993	0.061
		Reservatório		0.047	0.051	0.046	0.749	3.406	0.299	0.036
	Campanha 12 (jul 2024)	Tributário (RMH-01)	Peixes onívoros	< 0,024	< 0,024	0,670	0,310	23,300	0,357	< 0,024
		Rio Doce		0,133	0,094	0,579	0,233	10,681	0,657	0,085
		Lagos		0,048	0,065	0,558	0,304	9,064	0,815	0,073
		Lagoas		0,069	< 0,024	0,627	0,437	24,036	1,317	0,086
		Reservatório		0,051	0,054	0,622	0,371	10,519	0,899	0,189
	Campanha 13 (jan/fev 2025)	Lago	Peixes onívoros	0,351	0,016	0,134	6,613	70,661	0,558	0,583
		Lagoa		0,184	0,024	0,604	6,708	50,655	0,833	1,250
		Reservatório		0,199	0,022	0,402	7,016	28,746	2,010	0,515
		Rio		0,234	0,022	0,094	4,171	22,198	0,327	0,291

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à passagem do MLD (ACQUA, 2016)	(nov/2015)	Rio Doce (UHE Mascarenhas; jusante da UHE Mascarenhas; Colatina; Marilândia e Regência)	*Centropomus undecimalis; Cichla monoculus; Genidens genidens; Geophagus brasiliensis; Hypomasticus mormyrops; Mugil sp., Pimelodus maculatus; Polydactylus sp.; Pochiclodus argenteus; Pygocentrus nattereri; Serrasalmus rhombeus*	0,703	0,020	0,111	0,200	9,300	0,460	0,020
		Tributários		0,183	0,021	0,253	11,878	59,471	1,393	1,061
	Campanha 14 (jul 2025)	Lago	Peixes onívoros	0,345	0,030	1,052	1,025	29,363	1,560	0,210
		Lagoa		0,331	0,026	0,895	0,925	17,660	1,116	0,193
		Reservatório		0,260	0,026	0,929	0,877	368,947	2,560	0,205
		Rio		0,300	0,025	0,860	0,842	35,172	1,171	0,209
		Tributários		0,330	0,026	1,171	1,105	1294,634	5,949	0,189
	Campanha 15 (jan/fev 2026)	Lago	Peixes onívoros	0,155	<0,004	0,347	0,294	2,815	0,460	0,012
		Lagoa		0,075	<0,004	0,327	0,293	15,557	0,368	0,013
		Reservatório		0,038	<0,004	0,061	0,089	28,600	0,161	0,013
		Rio		0,111	0,061	0,313	0,563	35,920	0,588	0,020
		Tributários		3,767	<0,004	3,677	3,758	29,774	4,906	3,707
	Campanha 1 (set/out 2018)	Tributário (RGU-01)	Peixes carnívoros	0,023	0,004	0,079	1,814	7,741	0,060	0,005
		Rio Doce		0,031	0,047	0,020	0,076	7,002	0,295	0,022
		Lagos		0,114	0,032	0,039	0,296	9,568	0,303	0,037
		Lagoas		0,063	0,036	0,038	0,622	14,241	0,244	0,050
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Tributário (RGU-01)	Peixes carnívoros	0,217	0,029	2,171	2,110	7,688	1,656	0,007
		Rio Doce		0,643	0,018	0,021	0,706	60,806	2,820	0,022
		Lagos		0,251	0,064	0,085	0,447	20,211	0,860	0,009
		Lagoas		0,641	0,035	0,056	1,879	44,810	4,207	0,023
	Campanha 3 (set/out 2019)	Tributário (RGU-01)	Peixes carnívoros	0,019	0,023	0,081	0,843	10,533	1,600	0,072
		Rio Doce		0,109	0,065	0,230	1,362	23,920	2,120	0,015
		Lagos		0,103	0,096	0,025	0,548	55,797	7,557	0,033

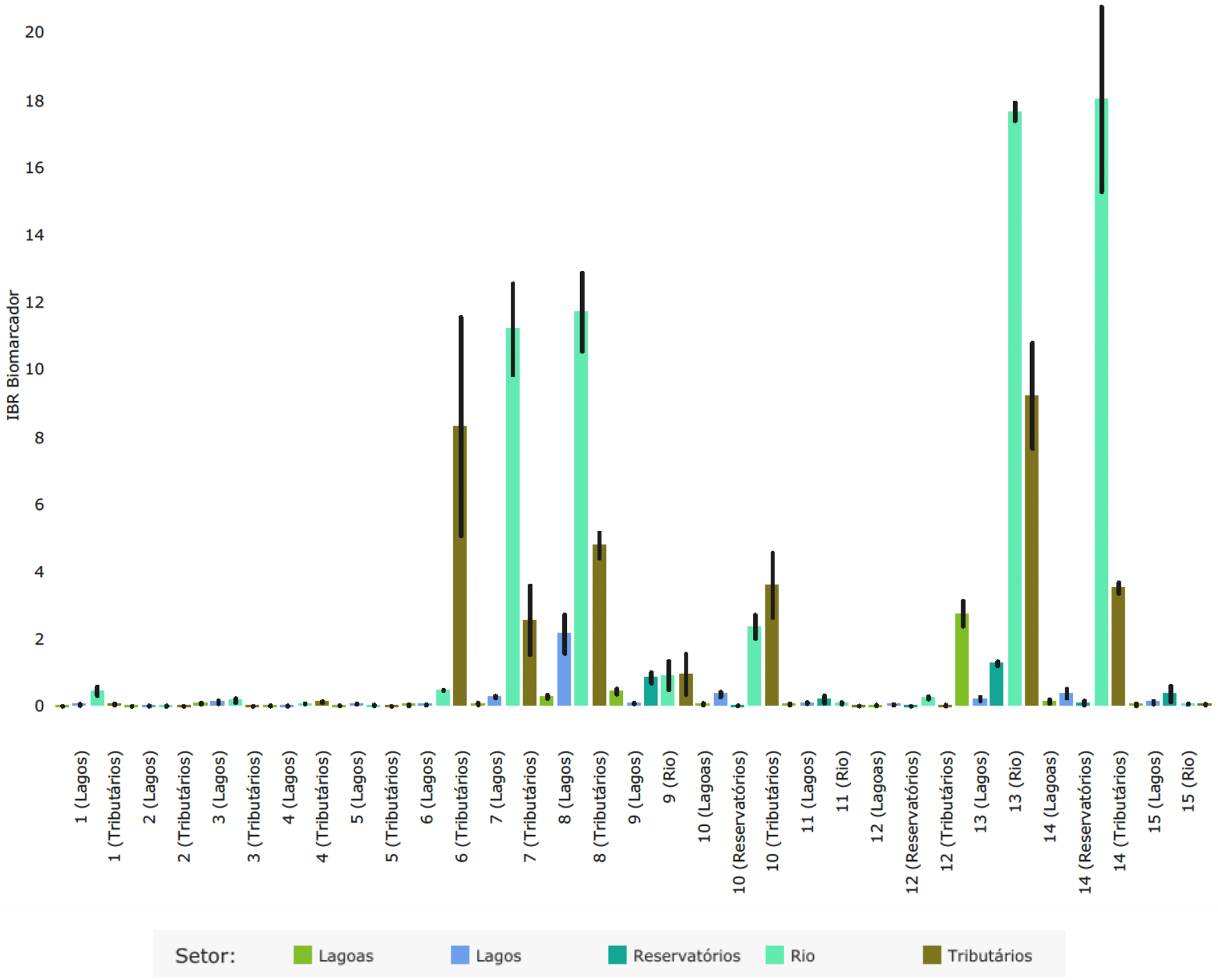
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à passagem do MLD (ACQUA, 2016)	(nov/2015)	Rio Doce (UHE Mascarenhas; jusante da UHE Mascarenhas; Colatina; Marilândia e Regência)	*Centropomus undecimalis; Cichla monoculus; Genidens genidens; Geophagus brasiliensis; Hypomasticus mormyrops; Mugil sp., Pimelodus maculatus; Polydactylus sp.; Pochiclodus argenteus; Pygocentrus nattereri; Serrasalmus rhombeus*	0,703	0,020	0,111	0,200	9,300	0,460	0,020
		Lagoas		0,097	0,074	0,029	0,518	55,646	6,426	0,046
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Tributário (RGU-01)	Peixes carnívoros	0,046	0,060	1,257	2,644	21,728	3,343	0,264
		Rio Doce		0,197	0,116	0,239	2,581	3,455	1,610	0,058
		Lagos		0,131	0,196	0,095	1,615	4,929	1,627	0,103
		Lagoas		0,759	0,028	0,896	4,410	4,088	1,962	0,036
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Tributário (RGU-01)	Peixes carnívoros	0,325	0,025	0,138	5,062	54,442	2,585	0,045
		Rio Doce		0,326	0,183	0,571	14,775	88,531	7,116	0,127
		Lagos		0,096	0,024	0,147	0,641	66,868	6,689	0,055
		Lagoas		0,137	0,116	0,136	1,876	11,998	7,878	0,036
	Campanha 6 (jul/ago 2021)	Tributário (RGU-01)	Peixes carnívoros	0,123	0,099	0,392	0,073	1,045	0,473	0,133
		Rio Doce		0,440	0,362	0,488	0,729	2,808	0,660	0,538
		Lagos		0,058	0,038	0,219	0,268	7,527	0,650	0,030
		Lagoas		0,259	0,257	0,451	0,584	5,189	0,797	0,397
	Campanha 7 (mar/ 2022)	Tributário (RGU-01)	Peixes carnívoros	0,029	0,130	0,159	0,388	5,129	0,511	0,075
		Rio Doce		0,172	0,088	0,352	12,267	38,718	3,361	0,073
		Lagos		0,145	0,056	0,529	8,401	129,731	7,030	0,153
		Lagoas		0,179	0,057	0,704	7,919	104,087	7,327	0,196
	Campanha 8 (set/out 2022)	Tributário (RGU-01)	Peixes carnívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Rio Doce		0,184	0,065	0,147	4,702	199,820	7,775	0,065
		Lagos		0,047	0,043	0,118	7,624	463,073	4,579	0,089
		Lagoas		0,055	0,041	0,132	11,448	497,344	4,208	0,116
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Tributário (RMH-01)	Peixes carnívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Rio Doce		0,085	0,054	0,338	4,538	222,524	3,921	0,094
		Lagos		0,021	0,024	0,134	8,647	261,618	4,503	0,059
		Lagoas		0,032	0,023	0,151	5,992	296,625	5,582	0,080

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à passagem do MLD (ACQUA, 2016)	(nov/2015)	Rio Doce (UHE Mascarenhas; jusante da UHE Mascarenhas; Colatina; Marilândia e Regência)	*Centropomus undecimalis; Cichla monoculus; Genidens genidens; Geophagus brasiliensis; Hypomasticus mormyrops; Mugil sp., Pimelodus maculatus; Polydactylus sp.; Pochiclodus argenteus; Pygocentrus nattereri; Serrasalmus rhombeus*	0,703	0,020	0,111	0,200	9,300	0,460	0,020
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia		Reservatório		0,023	0,025	0,134	7,704	141,888	1,988	0,037
	Campanha 10 (jun/jul 2023)	Tributário (RMH-01)	Peixes carnívoros	0,026	0,024	0,156	0,034	3,180	0,159	0,024
		Rio Doce		0,072	0,025	0,171	0,144	6,174	0,252	0,025
		Lagos		0,036	0,025	0,161	0,070	8,133	0,259	0,028
		Lagoas		0,042	0,025	0,107	0,038	4,138	0,229	0,026
		Reservatório		0,024	0,025	0,091	0,028	3,902	0,104	0,026
	Campanha 11 (jan 2024)	Tributário (RMH-01)	Peixes carnívoros	0,065	0,077	0,815	0,012	3,593	0,260	0,033
		Rio Doce		0,134	0,082	3,763	0,203	10,353	0,580	0,054
		Lagos		0,072	0,057	2,215	0,174	5,874	0,508	0,062
		Lagoas		0,101	0,097	3,124	0,248	9,010	0,727	0,069
		Reservatório		0,039	0,044	0,041	0,268	1,875	0,300	0,048
	Campanha 12 (jul 2024)	Tributário (RMH-01)	Peixes carnívoros	< 0,024	< 0,024	0,671	0,172	18,788	0,346	< 0,024
		Rio Doce		0,296	0,108	0,582	0,275	8,072	0,833	0,077
		Lagos		0,063	0,080	0,582	0,236	7,832	0,774	0,071
		Lagoas		0,054	< 0,024	0,590	0,358	13,929	1,109	0,084
		Reservatório		< 0,024	< 0,024	0,625	0,474	19,557	1,023	0,094
	Campanha 13 (jan/fev 2025)	Lago	Peixes carnívoros	0,241	0,022	0,347	5,722	57,416	0,571	0,605
		Lagoa		0,120	0,027	0,975	8,660	50,356	1,919	1,561
		Reservatório		0,229	0,028	0,107	4,909	27,314	0,910	0,443
		Rio		0,230	0,023	0,093	4,079	21,530	0,365	0,304
		Tributários		0,167	0,015	0,184	7,564	45,532	0,876	0,589
	Campanha 14 (jul 2025)	Lago	Peixes carnívoros	0,379	0,028	0,969	0,932	22,247	1,211	0,206
		Lagoa		0,327	0,029	1,011	0,999	21,879	1,176	0,203
		Reservatório		0,279	0,030	1,089	1,065	155,110	2,602	0,187

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à passagem do MLD (ACQUA, 2016)	(nov/2015)	Rio Doce (UHE Mascarenhas; jusante da UHE Mascarenhas; Colatina; Marilândia e Regência)	*Centropomus undecimalis; Cichla monoculus; Genidens genidens; Geophagus brasiliensis; Hypomasticus mormyrops; Mugil sp., Pimelodus maculatus; Polydactylus sp.; Pochiclodus argenteus; Pygocentrus nattereri; Serrasalmus rhombeus*	0,703	0,020	0,111	0,200	9,300	0,460	0,020
		Rio		0,343	0,024	0,874	0,833	30,358	1,572	0,204
		Tributários		0,379	0,028	1,438	1,216	207,920	8,945	0,203
	Campanha 15 (jan/fev 2026)	Lago	Peixes carnívoros	0,143	<0,004	0,333	0,287	0,420	0,402	0,012
		Lagoa		0,066	<0,004	0,321	0,331	37,209	0,370	0,013
		Reservatório		0,036	<0,004	0,034	0,222	42,878	0,371	0,011
		Rio		0,118	<0,004	0,299	0,273	26,197	0,426	0,024
		Tributários		0,105	0,008	0,302	0,238	56,805	0,579	0,029

3.2 ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA *(IBR BIOMARCADOR)*

Figura 11: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) 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. Malha amostral conforme Quadro 1. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



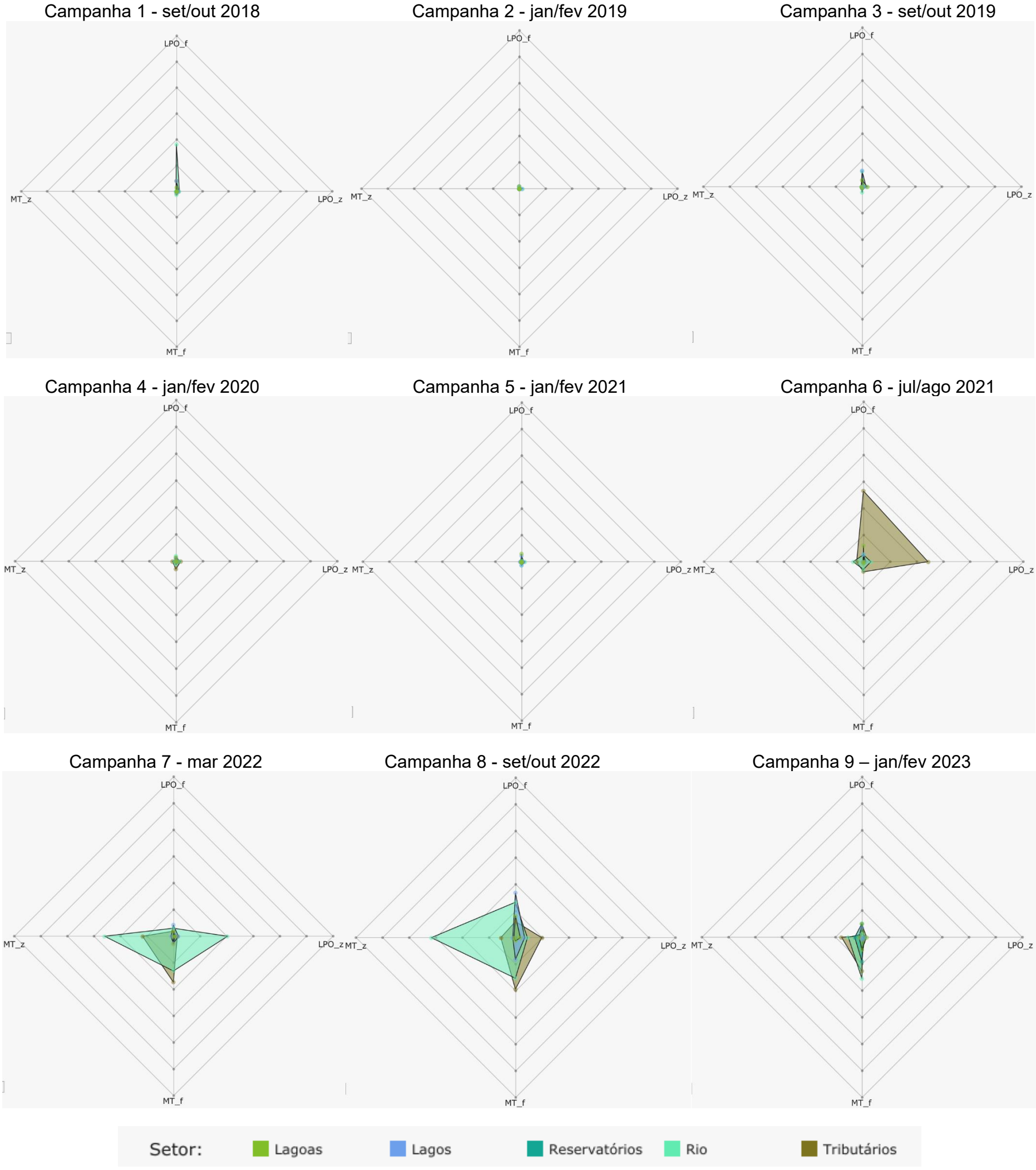
Os gráficos de barras dos valores do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) que serão apresentados abaixo para cada matriz foram feitos para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada. Estes gráficos permitem identificar as tendências espaço-temporais das respostas dos biomarcadores nos diferentes táxons do Ambiente Dulcícola, ao longo de todo o período de monitoramento.

Com relação à comparação temporal global, feita a partir da avaliação do IBR Biomarcador e apresentada na Figura 11, foi observado que o estresse fisiológico mais pronunciado no plâncton dulcícola, caracterizado pelo valor do índice composto pelos biomarcadores selecionados, teve seu início na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco). Neste caso, o Setor Tributário foi o que mais se destacou, com valores do índice consideravelmente mais elevados em relação aos outros Setores. Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), observou-se um aumento expressivo no IBR Biomarcador do plâncton do Setor Rio e, em menor escala, Setor Tributário, padrão este que se manteve na Campanha subsequente (Campanha 8: set/out 2022 – período seco). Destaca-se, também, o aumento no IBR Biomarcador do Setor Lagos nesta Campanha.

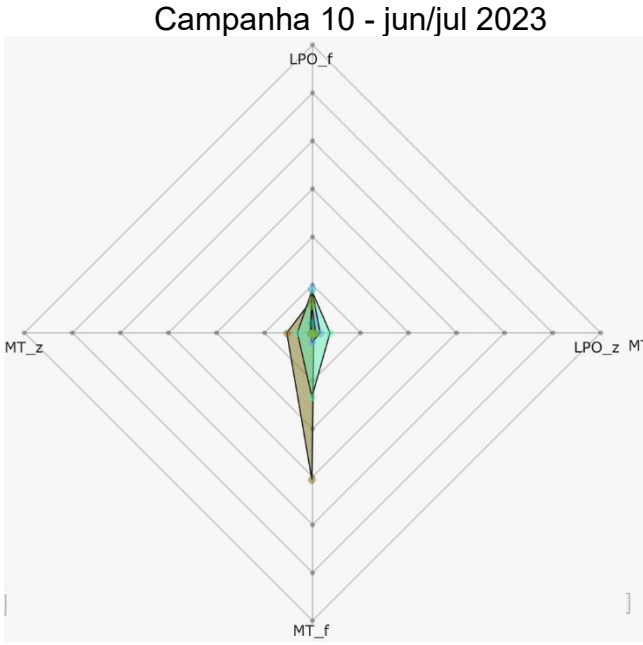
Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) foram observados novos incrementos expressivos no IBR Biomarcador do plâncton, sobretudo nos Setores Rio e Tributário, com um padrão semelhante sendo observado na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), para estes Setores e, em menor escala, Setor Reservatório e Setor Lagoas. Durante a Campanha 14 (jul 2025 – período seco), o Setor Rio e o Setor Tributário tiveram índices elevados, com o Setor Rio apresentando maiores valores de IBR Bioacumulação. No entanto, na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), os valores médios do índice de resposta sofreram uma drástica redução.

É importante salientar que estes resultados sugerem não somente um estresse fisiológico precoce (agudo), mas também um estresse crônico nos organismos planctônicos avaliados, possivelmente associado à toxicidade dos contaminantes presentes no ambiente dulcícola. De fato, comparando-se as variações no IBR Biomarcador (Figura 11) com aquelas observadas no IBR Bioacumulação (Figura 1), pode ser inferido que há uma toxicidade, em nível bioquímico, causada pelos contaminantes (metais e As) analisados no plâncton dulcícola. Apesar de uma tendência de redução neste índice para todos os setores avaliados, a partir da Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), os elevados índices calculados para todos Setores amostrados na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), e manutenção de valores de IBR Biomarcador elevados na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) sugerem um padrão cíclico de respostas fisiológicas para o plâncton. Cabe lembrar que as respostas dos biomarcadores, conforme observado aqui, precedem os efeitos em níveis de indivíduo, população e comunidade. Por isso, as informações aqui apresentadas são relevantes e devem ser consideradas com atenção, uma vez que é evidente a presença de metais e As no Ambiente Dulcícola, com a consequente ocorrência de exposição crônica do plâncton dulcícola a estes contaminantes aquáticos, seguida da observação de efeitos biológicos relevantes.

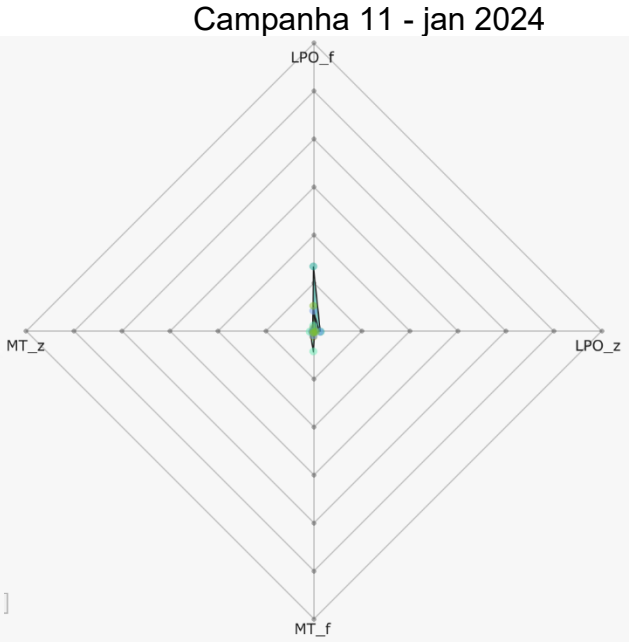
Figura 12: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de plâncton [fitoplâncton (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 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). Malha amostral conforme Quadro 1.



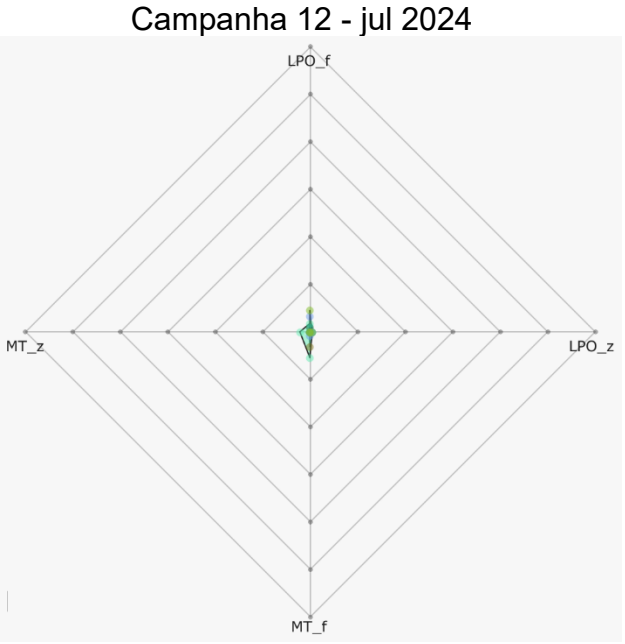
Campanha 10 - jun/jul 2023



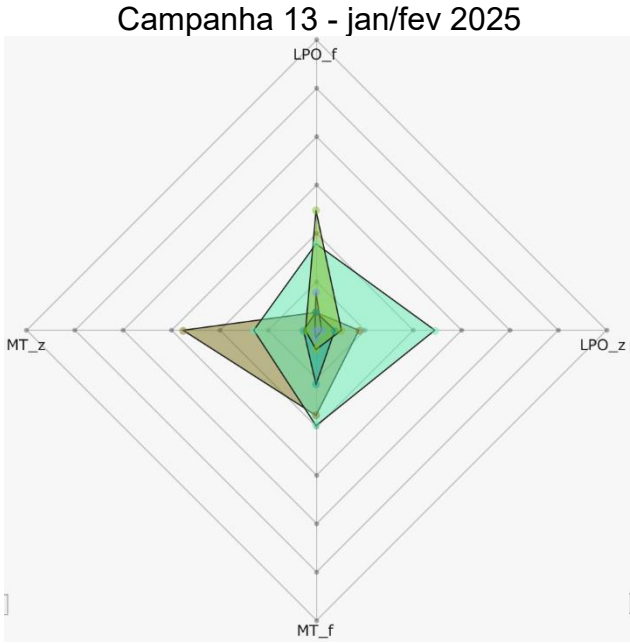
Campanha 11 - jan 2024



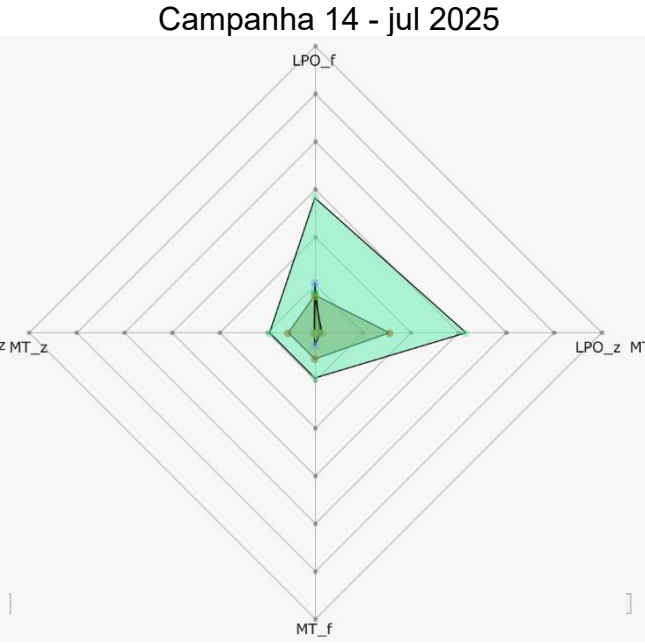
Campanha 12 - jul 2024



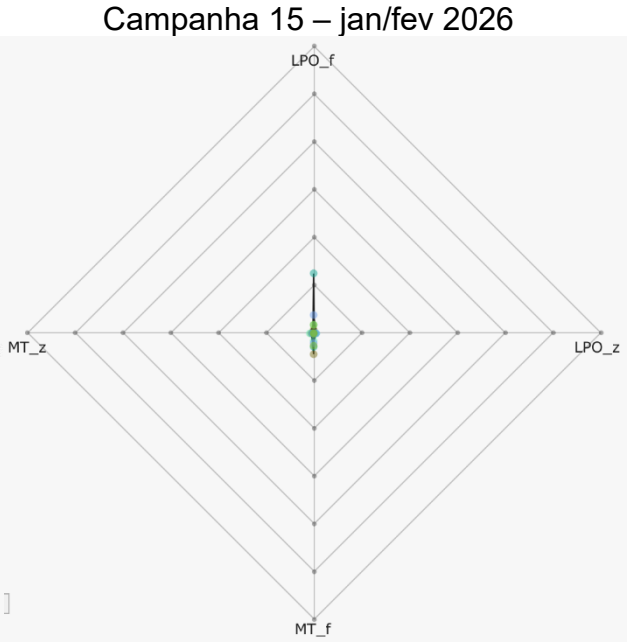
Campanha 13 - jan/fev 2025



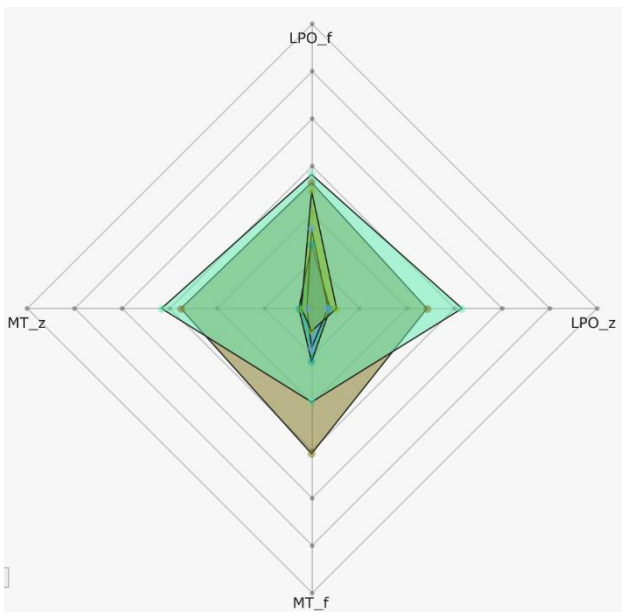
Campanha 14 - jul 2025

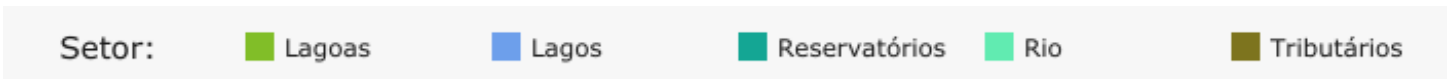


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas





No período entre a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso) (Figura 12), os valores do IBR Biomarcador, apesar de relativamente baixos, demonstraram, em alguns dos Setores avaliados, uma pequena contribuição dos biomarcadores LPO no fitoplâncton e LPO no zooplâncton. Além disso, na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso) e Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), foi observada uma pequena contribuição do biomarcador MT do fitoplâncton na composição do valor do índice. Já na Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), houve uma pequena contribuição do biomarcador MT no zooplâncton. Com base nestes resultados, pode ser inferido que, no período de monitoramento compreendido entre a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), houve apenas uma discreta resposta dos biomarcadores analisados, frente ao estresse dos contaminantes presentes no Ambiente Dulcícola.

As respostas do plâncton ao estresse fisiológico foram mais acentuadas e evidentes a partir da Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), estando mais concentradas nos Setores Tributário e Rio. Nessa Campanha, no Setor Tributário, todos os biomarcadores analisados contribuíram para a composição do valor do IBR Biomarcador, com picos de valores no biomarcador LPO tanto no fitoplâncton como no zooplâncton. Quanto ao Setor Rio, foi observada uma contribuição equivalente de todos os biomarcadores analisados na composição do valor do IBR Biomarcador. Estes resultados podem estar relacionados ao aumento na acumulação de metais e As que passam a ser mais evidentes a partir destas campanhas. De fato, os parâmetros que são integrados no IBR biomarcadores são alterações biológicas que expressam a exposição e os efeitos tóxicos dos poluentes presentes no ambiente, como os metais e metaloides. Portanto, as comentadas elevações neste índice indicam a presença de impactos fisiológicos resultantes da exposição do organismo aos contaminantes, com a elevação de estresse oxidativo, marcado pelo LPO e ativação de mecanismos de defesa celular, indicado pelos níveis de MT.

Já na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o Setor Rio apresentou os maiores valores do IBR Biomarcador dentre os Setores amostrados, o qual foi composto por todos os biomarcadores analisados, mas com picos de valores naqueles monitorados no zooplâncton (MT_z e LPO_z). No Setor Tributário, o IBR Biomarcador também foi composto por todos os biomarcadores analisados, com os maiores valores sendo observados na MT (fitoplâncton e zooplâncton), caracterizando assim uma relevante acumulação de metais e As nas células. A contribuição dos biomarcadores MT e LPO para a composição dos valores do IBR Biomarcador nos Setores Lago e Lagoa também evidenciam uma importante acumulação de metais e As nas células dos organismos planctônicos, com consequentes efeitos biológicos, neste caso, a peroxidação lipídica.

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), todos os Setores tiveram os seus valores do IBR Biomarcador compostos por todos os biomarcadores analisados. Apesar disso, a composição dos IBR Biomarcador apresentou diferença espacial. Por exemplo, o Setor Rio, que apresentou o maior valor do índice, foi composto pelos maiores valores de MT no zooplâncton e fitoplâncton, bem como de LPO no fitoplâncton. Em contrapartida, o IBR Biomarcador do Setor Tributário teve principal contribuição de

MT em fitoplâncton (MT_f_ e LPO em zooplâncton (LPO_z). No Setor Lagos, LPO_f e MT_f tiveram destaque .

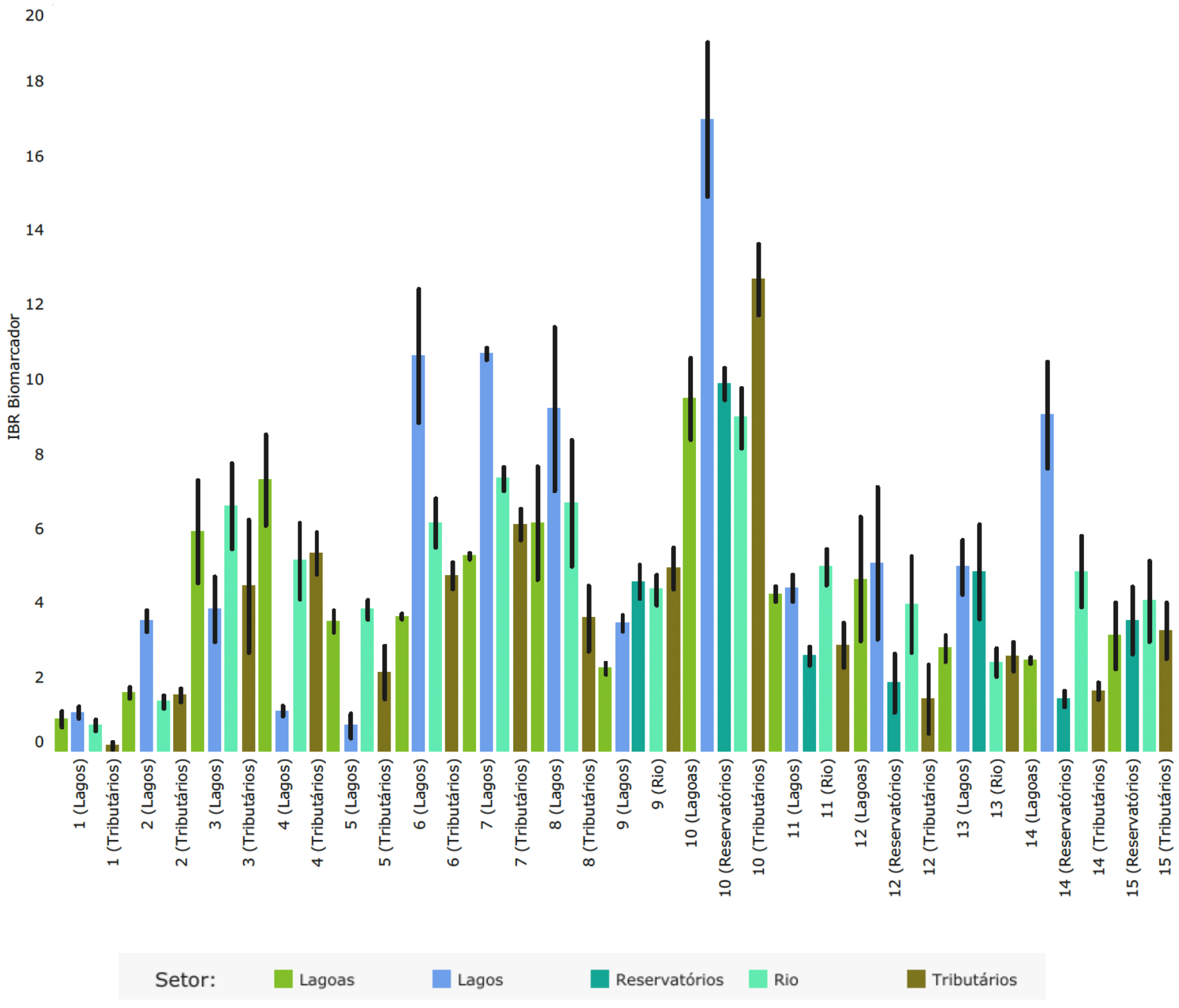
Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), os Setores Tributário, Reservatório e Rio merecem destaque, pois, embora os seus valores de IBR Biomarcador não tenham sido altos quando comparados àqueles observados para os outros Setores ao longo do monitoramento, estes foram os mais relevantes para a Campanha em questão. No caso do Setor Tributário e do Setor Rio, os valores do índice foram compostos pelos biomarcadores MT no fitoplâncton e zooplâncton. Por sua vez, o valor do IBR Biomarcador no Setor Reservatório apresentou composição homogênea entre os biomarcadores analisados.

Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), os biomarcadores que compuseram o valor do IBR Biomarcador no Setor Tributário foram LPO no fitoplâncton, e MT no fitoplâncton e MT no zooplâncton. Já no Setor Rio, o valor do índice foi composto por todos os biomarcadores analisados. Os valores de índice diminuíram consideravelmente na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco), retornando a apresentar picos, principalmente para o Setor Rio e Tributário no ano de 2025. Na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) todos os biomarcadores tiveram contribuição para a composição do IBR Biomarcador para todos Setores, com destaque para LPO em zooplâncton no Setor Rio, LPO em fitoplâncton no Setor Lagoa, MT em fitoplâncton no Setor Reservatório e MT em ambos os organismos no Setor Tributário.

Finalmente, na Campanha 14 (jul 2025 – período seco), o IBR Biomarcador do Setor Rio foi predominantemente composto por LPO em fitoplâncton e zooplâncton, enquanto LPO em zooplâncton teve destaque para o Setor Tributário. Na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), houve uma redução conspícua em todos os valores médios do IBR Biomarcador.

De maneira geral, todos os biomarcadores analisados contribuíram com bastante frequência na composição dos valores do IBR Biomarcador ao longo das Campanhas do monitoramento, refletindo assim os impactos bioquímicos crônicos associados à acumulação de contaminantes (metais e As), com consequentes danos oxidativos (lipoperoxidação) às células dos organismos analisados. Neste contexto, cabe ressaltar que a LPO (fitoplâncton e zooplâncton), o qual é um biomarcador de dano oxidativo na membrana plasmática, foi relevante para a composição do IBR Biomarcador na maioria das Campanhas realizadas.

Figura 13: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) de camarões 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. Malha amostral conforme Quadro 1. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



Na Figura 13, pode ser observado que os valores do IBR Biomarcador tendem a se manterem altos a partir da Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), em todos os Setores avaliados, ao longo do período de monitoramento. Além disso, cabe destacar que a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) apresentou os maiores valores do índice para todos os Setores avaliados, em relação a todas as demais Campanhas realizadas. Porém, da Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco) à Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), foi observada uma tendência de redução nos valores médios do IBR Biomarcador exceto pelo Setor Lagos, o qual apresentou valores elevados na Campanha 14 (jul 2025 – período seco).

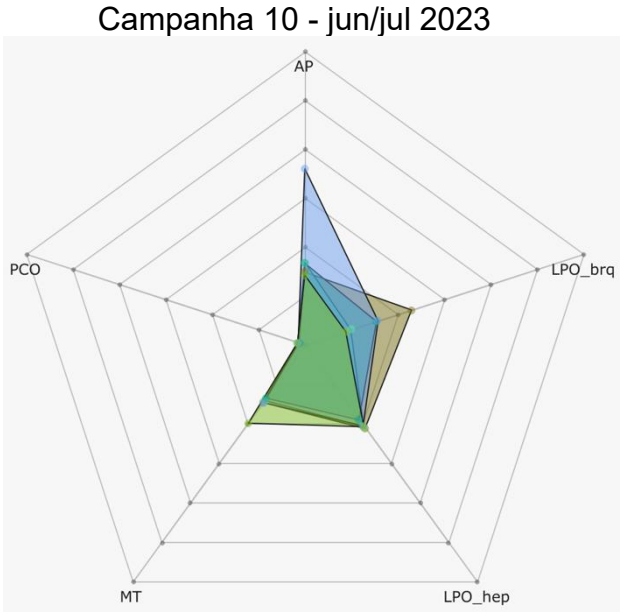
Ao comparar os resultados encontrados na Figura 13 (IBR Biomarcador) com a Figura 7 (IBR Bioacumulação), não foi observada uma relação entre os índices de bioacumulação e resposta fisiológica. É importante destacar que os contaminantes presentes no ambiente, incluindo os metais e o As, não estão ocorrendo de forma isolada, mas sim na forma de misturas. Vale lembrar também que a interação entre eles, mesmo em concentrações baixas, pode desencadear efeitos aditivos, antagônicos (menos severos) ou sinérgicos (mais severos) sobre a biota aquática (Cedergreen, 2014; Rocha et al., 2023). No caso dos camarões do Ambiente Dulcícola, houve a acumulação dos contaminantes analisados nos tecidos destes organismos, ao longo do monitoramento realizado. Isto sugere que os efeitos observados nos biomarcadores analisados estão vinculados à bioacumulação de metais e As nos camarões dulcícolas.

As respostas dos biomarcadores, quando utilizados para investigar os efeitos em decorrência da exposição à contaminantes, indicam os primeiros sinais de efeitos biológicos em nível tecidual, celular e/ou molecular. Entretanto, a persistência crônica da exposição ambiental aos contaminantes pode levar a alterações fisiológicas na espécie, tais como na reprodução e no crescimento dos organismos, com consequentes impactos relevantes em nível populacional e, até mesmo, de comunidade. Portanto, observando o gráfico de barras dos valores de IBR Biomarcador nos camarões dulcícolas (Figura 13), é possível evidenciar a ocorrência de um estresse crônico, o qual tem persistido ao longo de todo o período de monitoramento, inclusive nas últimas Campanhas, referentes aos anos de 2025 (Campanha 13: jan/fev 2025 – período chuvoso e Campanha 14: jul 2025 – período seco) e 2026 (Campnaha 15: jan/fev 2026 – perídoo chuvoso). Assim, os resultados aqui relatados destacam a necessidade de atenção especial à saúde do Ambiente Dulcícola, devido a possibilidade de ocorrência de efeitos tóxicos decorrentes da contaminação por metais e As, em níveis superiores de organização biológica. Os impactos mais preocupantes e negativos, que podem ocorrer a partir desse cenário, seriam os efeitos de cascatas tróficas, perda da biodiversidade, incapacidade dos organismos em realizar suas funções, bem como de fornecer serviços ecossistêmicos.

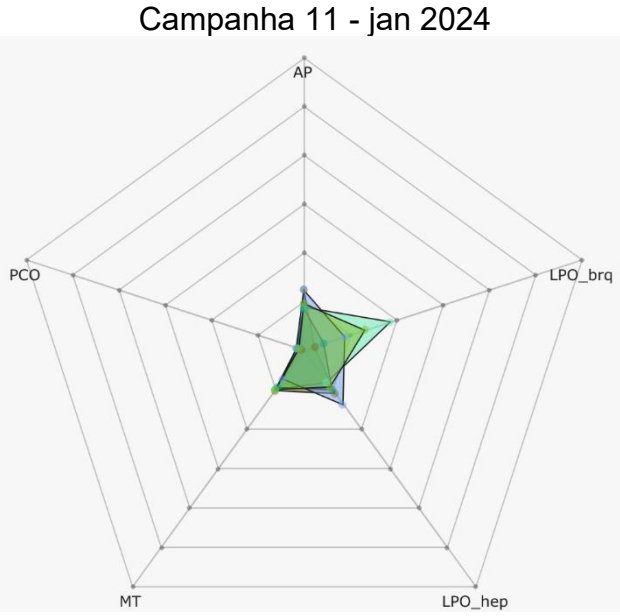
Figura 14: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos de camarões coletadas durante Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período 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) (AP) da Campanha 1 à 8 na hemolinfa e a partir da Campanha 9 no músculo. Malha amostral conforme Quadro 1.



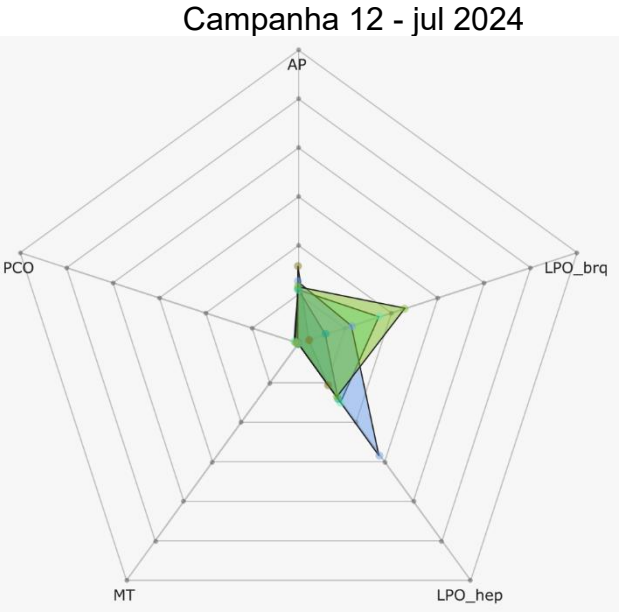
Campanha 10 - jun/jul 2023



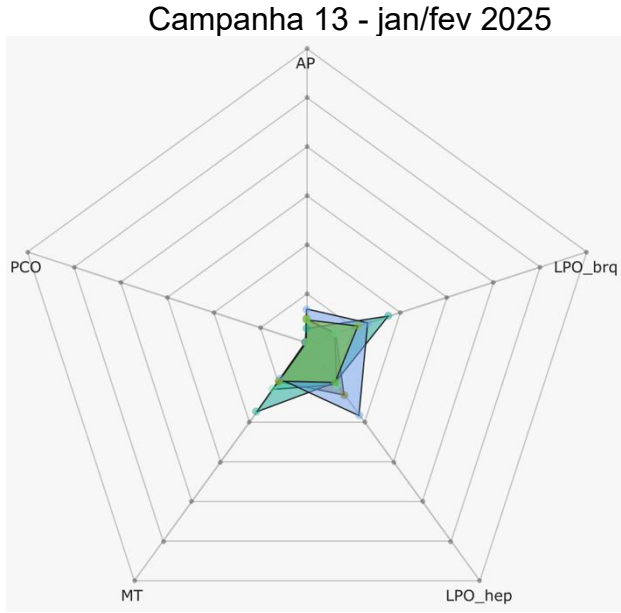
Campanha 11 - jan 2024



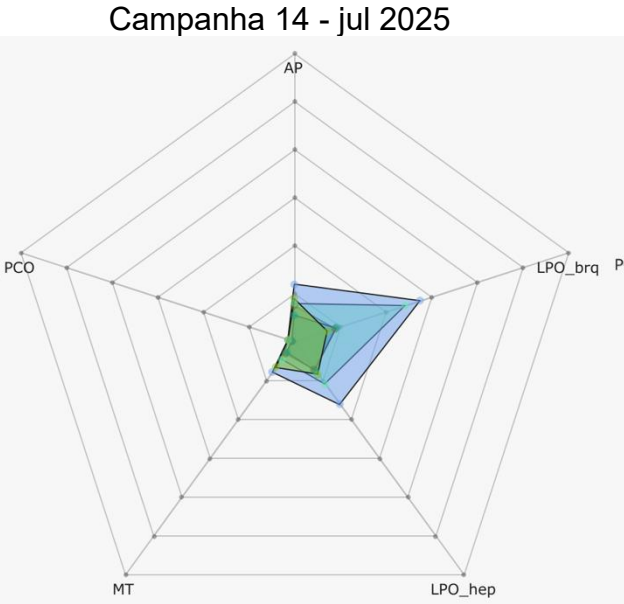
Campanha 12 - jul 2024



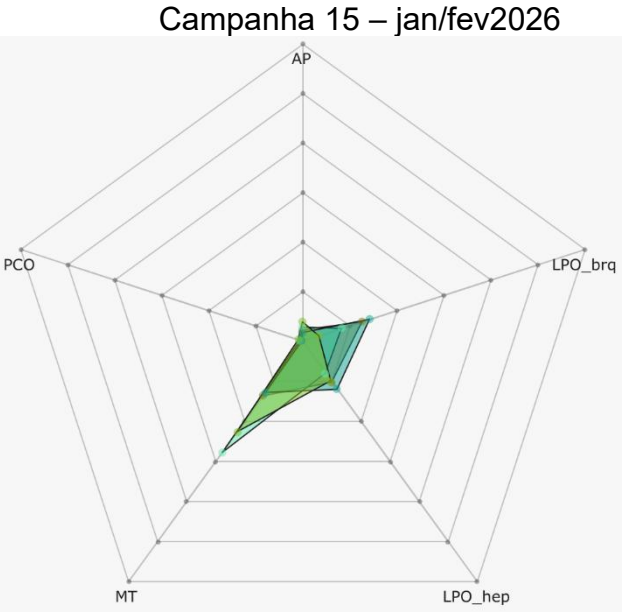
Campanha 13 - jan/fev 2025



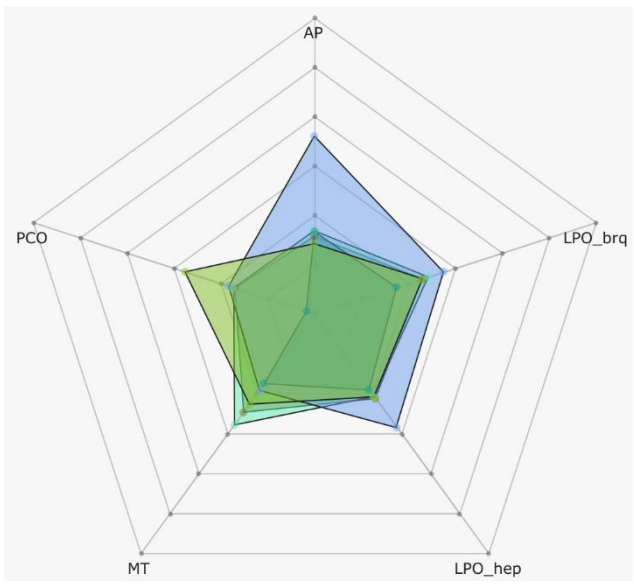
Campanha 14 - jul 2025

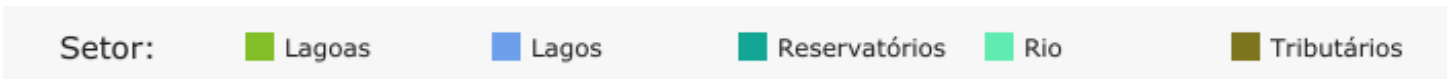


Campanha 15 – jan/fev2026



Todas Campanhas

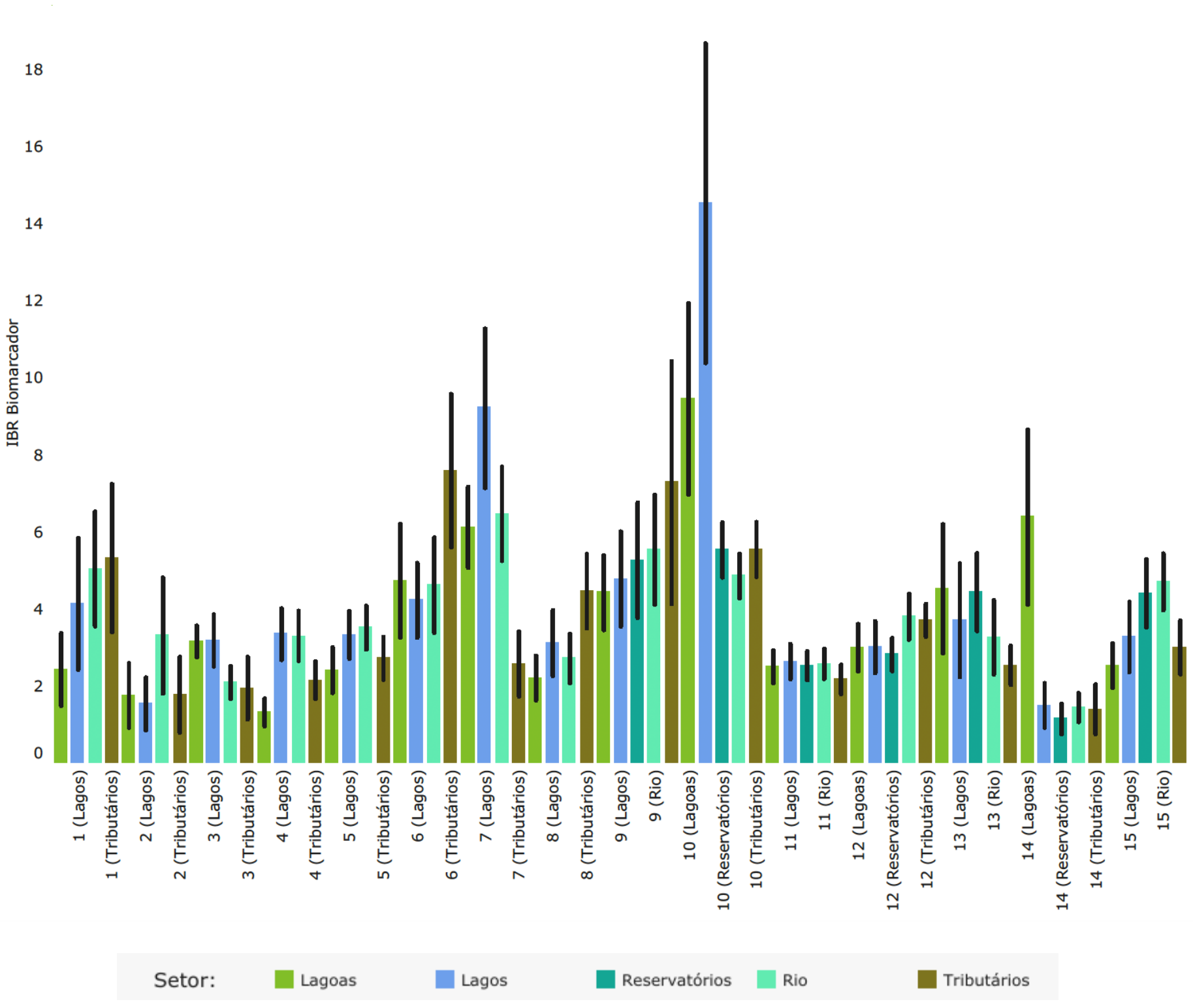




De uma forma geral, observa-se que, em todas as Campanhas realizadas e em todos os Setores avaliados, houve um alto nível de estresse nos indivíduos estudados, fato este representado pelas respostas dos biomarcadores analisados. As campanhas que apresentaram os menores valores do IBR Biomarcador foram a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso). Contudo, vale destacar que, no caso destas duas Campanhas, houve a participação de, pelo menos, quatro dos cinco biomarcadores analisados na composição do valor do IBR Biomarcador. Por outro lado, a Campanha que apresentou os maiores valores do índice foi a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). Neste caso, os biomarcadores sítios AP, LPO nas brânquias (LPO_brq), LPO no hepatopâncreas (LPO_hep) e MT foram os que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Biomarcador, em todos os Setores avaliados. Por sua vez, o biomarcador PCO teve baixa contribuição para o cálculo do IBR Biomarcador. No Setor Lagoa o biomarcador MT, juntamente com LPO_hep foram os principais, enquanto o biomarcador sítios AP teve destaque no Setor Lagos. Todos os biomarcadores, com exceção do PCO, tiveram contribuições semelhantes no Setor Reservatório. O dano oxidativo em lipídios foi o principal biomarcador caracterizando o Setor Rio nas brânquias (LPO_brq), e o Setor Tributário, com LPO em hepatopâncreas (LPO_hep).

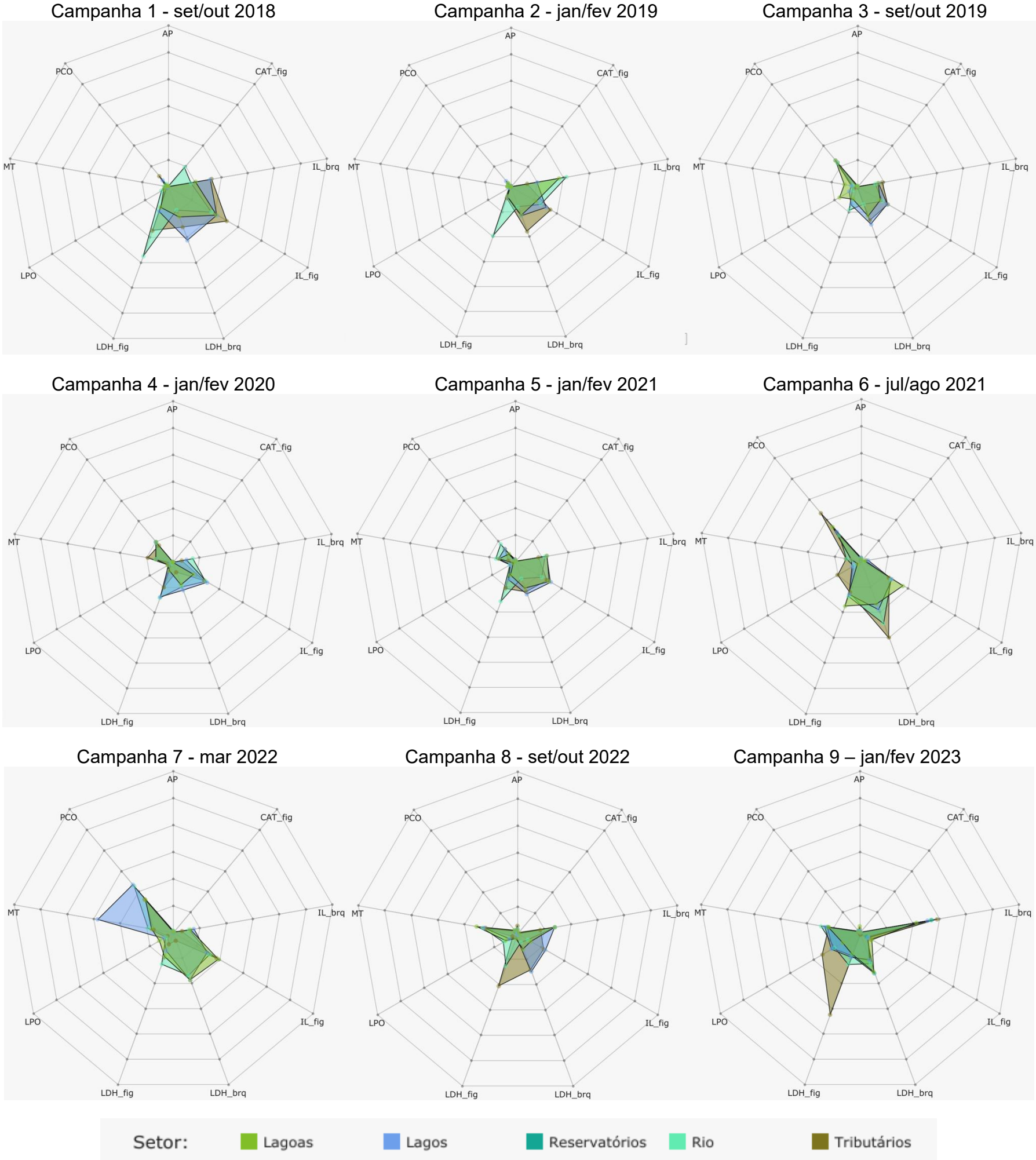
De uma forma geral, todos os biomarcadores analisados se mostraram importantes para evidenciar os impactos biológicos causados pela exposição dos camarões aos contaminantes (metais e As) presentes no Ambiente Dulcícola. O Setor Lagoa se destacou pela contribuição do biomarcador PCO, enquanto os Setores Rio e Tributário foram caracterizados, principalmente, pelos níveis de MT. O dano em DNA, representado pelo biomarcador sítios AP foi o destaque para o Setor Lago. Finalmente, o Setor Reservatório teve, de certa forma, contribuição homogêna dos biomarcadores, exceto PCO, com destaque para MT. A diversidade de biomarcadores contribuindo na composição do IBR Biomarcador em praticamente todas as Campanhas, bem como a intensidade dessa contribuição (altos valores) indicam estresse crônico em nível celular nos camarões do Ambiente Dulcícola. Neste contexto, fica evidente que estes organismos vêm sendo submetidos a um impacto crônico associado à contaminação ambiental por metais e As, fato este que vem ocorrendo desde o início do monitoramento. Além disso, os biomarcadores utilizados sinalizam e caracterizam o estresse oxidativo às biomoléculas, principalmente lipídios, danos ao DNA e impactos no sistema de defesa dos crustáceos, como resultado da bioacumulação de metais e As. Cade salientar que o dano em proteínas foi principalmente característico do Setor Lagoa. A longo prazo, algumas das consequências dessa pressão ambiental podem ser alterações no desempenho da espécie no ambiente, impactos na sobrevivência da população e efeitos negativos na saúde de organismos que os consomem, incluindo o homem (Ezemonye et al., 2019; Frías-Espericueta et al., 2022; MacFarlane et al., 2006).

Figura 15: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, fígado, músculo e sangue) de peixes (onívoros e carnívoros) 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. Malha amostral conforme Quadro 1. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.

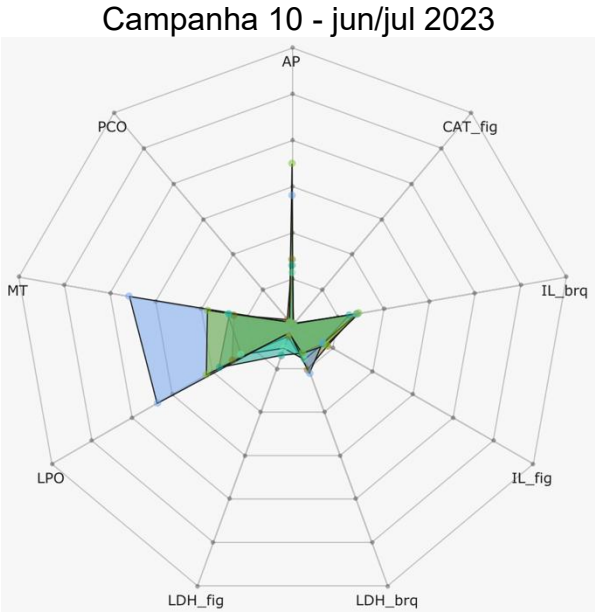


Com relação à comparação temporal feita a partir da avaliação do IBR Biomarcador e apresentada na Figura 15, observa-se que, de forma geral, os valores do IBR Biomarcador foram relevantes em todos os Setores avaliados e em todas as Campanhas realizadas, mesmo que picos e baixas neste índice possam ser observados temporalmente ao longo destas 15 Campanhas. Este fato merece atenção, como já ressaltado para o caso dos camarões dulcícolas. Quando os dados do IBR Biomarcador em peixes (Figura 15) são comparados com aqueles do IBR Bioacumulação em peixes (Figura 9), denota-se que a resposta dos biomarcadores nos peixes, assim como para os camarões, também está sendo influenciada pela bioacumulação dos contaminantes (metais e As) em seus tecidos, apesar de não corresponder diretamente ao padrão temporal observado para a bioacumulação. Outrossim, os resultados apresentados na Figura 15 evidenciam que os peixes também têm sido expostos a um estresse crônico, desde o início do monitoramento, o que pode gerar severas consequências às populações destes animais, bem como afetar o equilíbrio do ecossistema e da diversidade aquática. Particularmente, o aumento no IBR Biomarcador dos Setores, exceto o Setor Lagoas, na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) demonstra que os efeitos fisiológicos ocorrem após mais de 10 anos do rompimento da Barragem do Fundão. Alguns efeitos negativos associados à contaminação dos peixes com metais e As são a diminuição da fecundidade e taxa de eclosão de ovos, bem como inibição do desenvolvimento, alterações fisiológicas, deformidades e tumores (Fatima et al., 2020; Garai et al., 2021; Taslima et al., 2022). Além disso, como os peixes fazem parte da dieta humana, os problemas relacionados à toxicidade dos metais e As podem também causar, indiretamente, problemas de saúde pública (Noman et al., 2022).

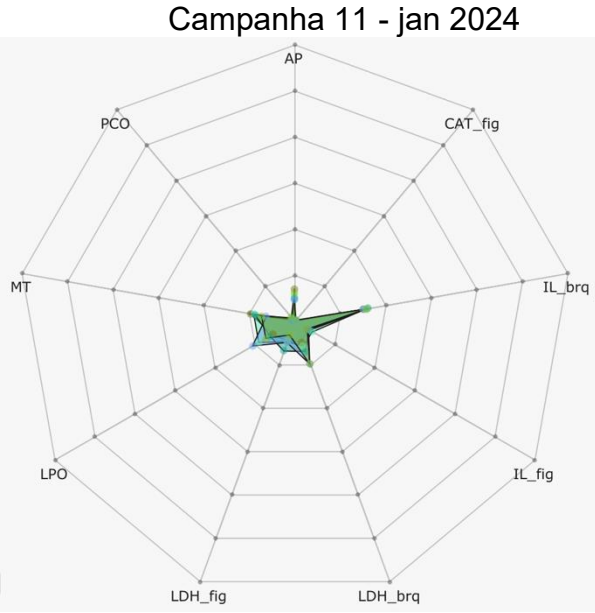
Figura 16: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos de peixes (onívoros e carnívoros) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 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 no fígado (LPO); concentração de metalotioneína no fígado (MT); níveis de proteínas carboniladas da Campanha 1 à 8 no músculo e da Campanha 9 à 10 no fígado (PCO); níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) da Campanha 1 à 8 no sangue e a partir da Campanha 9 nas brânquias (AP); índices médios de lesões histopatológicas nas brânquias (IL_brq) e no fígado (IL_fig); atividade da enzima catalase no fígado (CAT_fig); e atividade da enzima lactato desidrogenase nas brânquias (LDH_brq) e no fígado (LDH_fig). Malha amostral conforme Quadro 1.



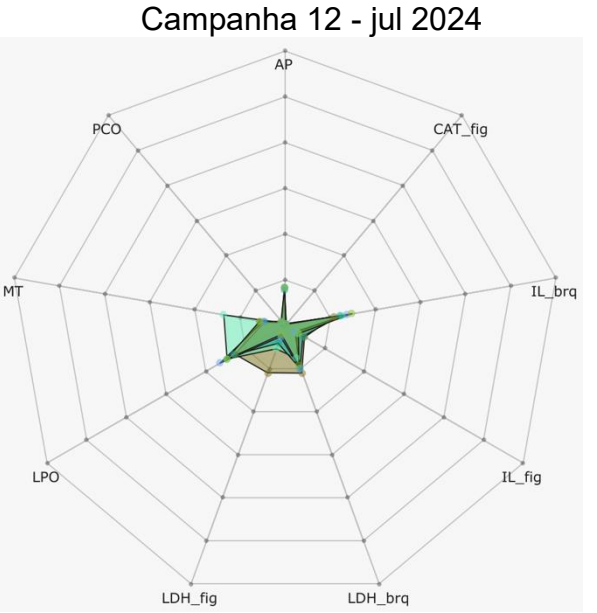
Campanha 10 - jun/jul 2023



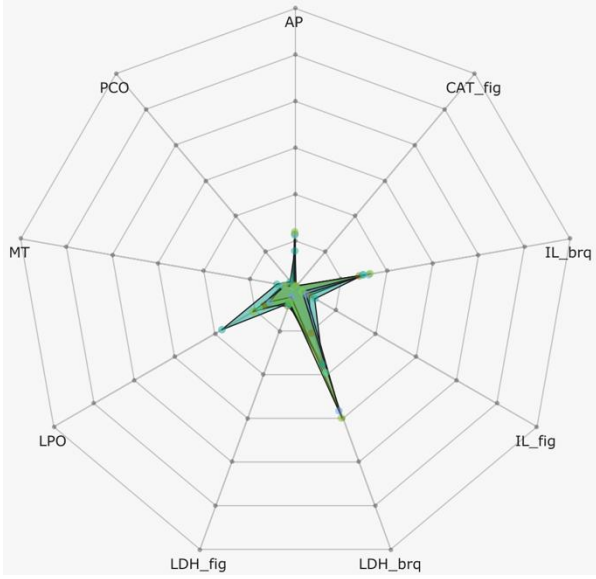
Campanha 11 - jan 2024



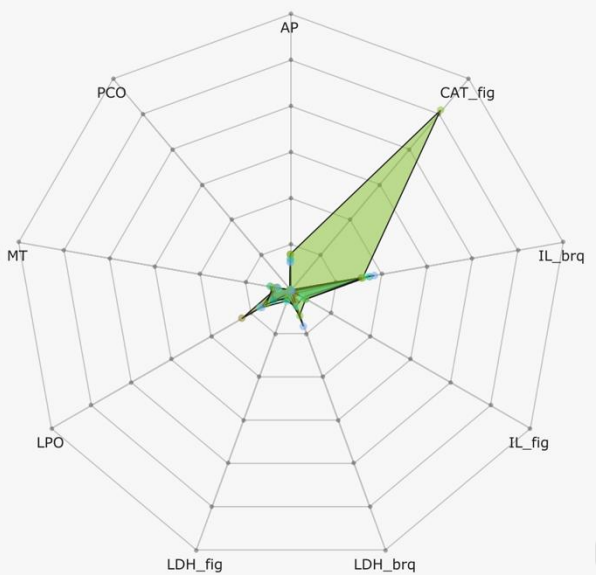
Campanha 12 - jul 2024



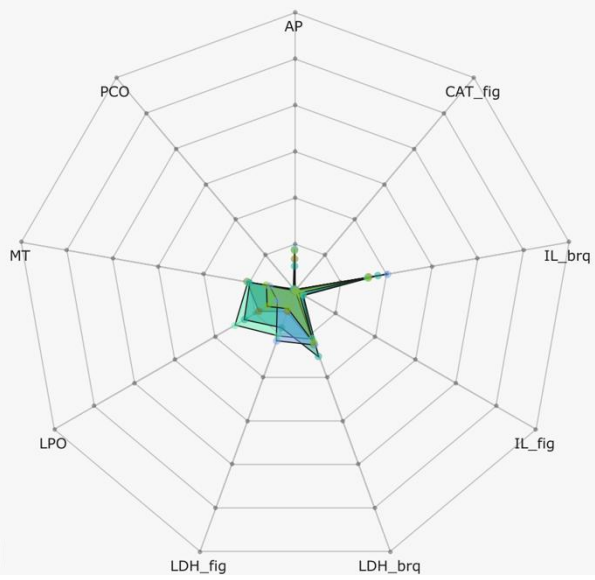
Campanha 13 - jan/fev 2025



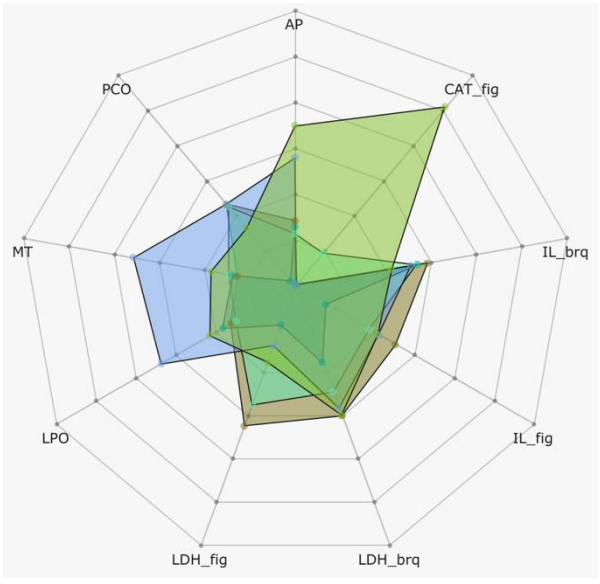
Campanha 14 - jul 2025

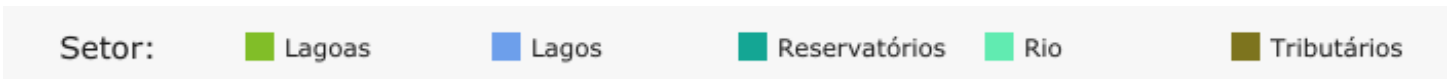


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas



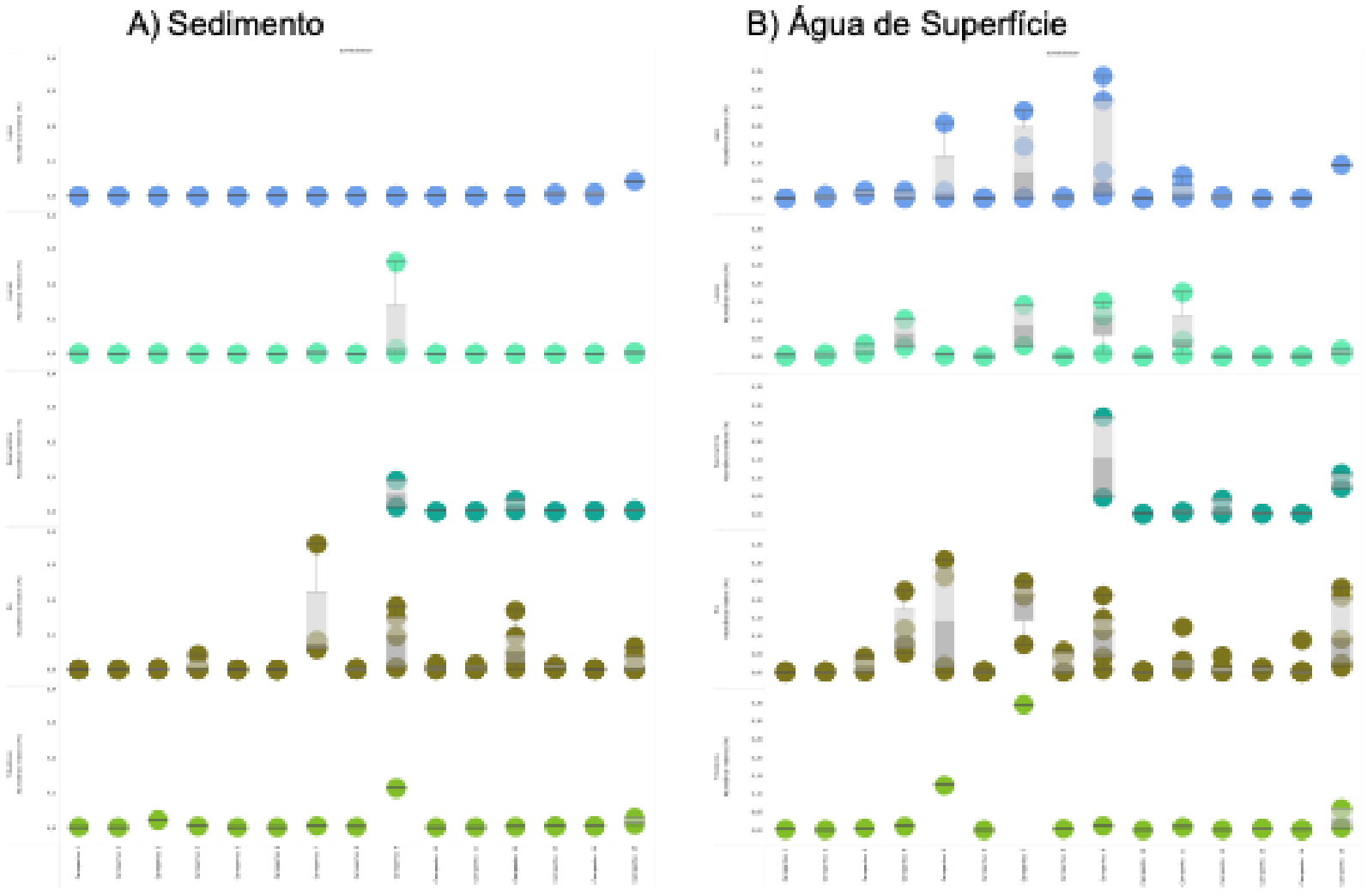


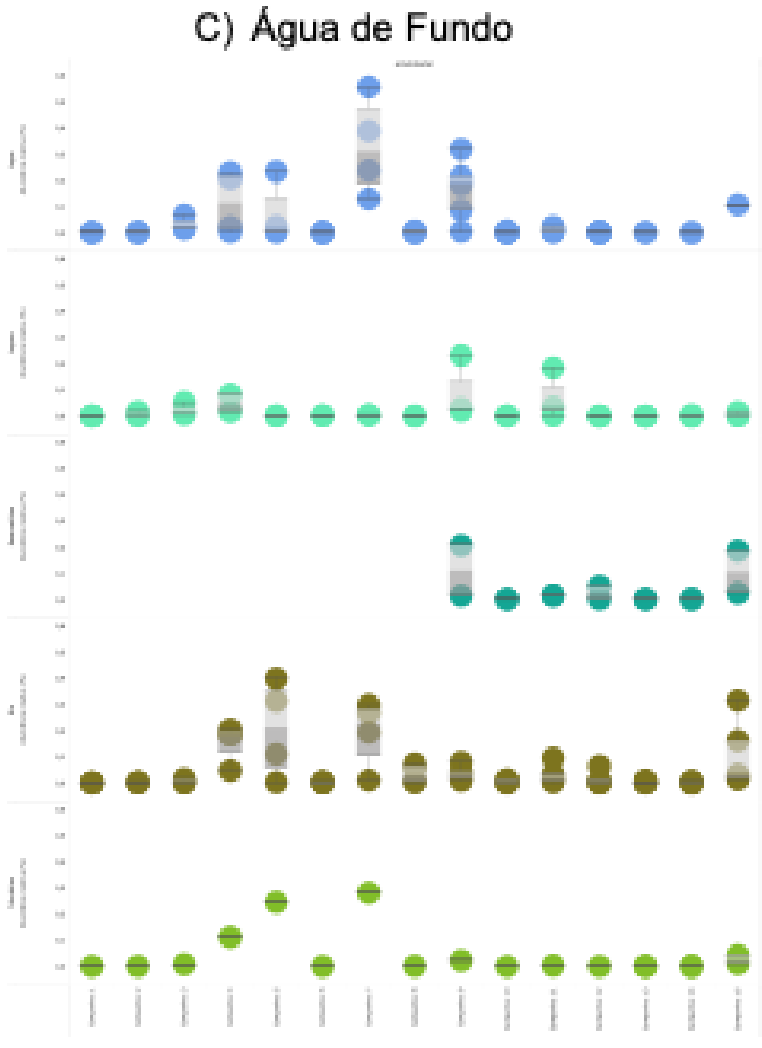
Embora todos os valores de IBR Biomarcador observados para os peixes dulcícolas terem sido altos, no que se refere às respostas dos biomarcadores aos impactos dos contaminantes (metais e As) presentes no ambiente, denota-se que os maiores valores do índice foram observados nos Setores: (*i*) Tributário na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), onde principalmente IL em fígado (IL_fig) e brânquias (IL_brq), e LDH nestes dois órgãos (LDH_brq e LDH_fig) tiveram maior contribuição para o índice; (*ii*) Tributário na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), onde todos os biomarcadores analisados contribuíram para a composição do índice, sendo que os maiores valores foram observados para a LDH nas brânquia e, PCO; (*iii*) Lago na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), com destaque para LDH nas brânquias (LDH_brq), MT e PCO; (*iv*) Rio na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), onde os maiores valores no IBR Biomarcador foram do IL no fígado (IL_fig), LDH nas brânquias (LDH_brq) e fígado (LDH_fig), e PCO; e (*v*) Lagos na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), onde todos os biomarcadores contribuíram na composição do índice, tendo sido observados picos nos valores dos biomarcadores sítios AP, MT e LPO. Cabe ressaltar aqui que os biomarcadores LPO, PCO e Sítio AP são biomarcadores de efeito e, portanto, indicam efeitos diretamente relacionados à danos celulares. Por outro lado, o biomarcador MT indica a exposição à metais e metaloides, bem como a ativação do sistema de defesa celular, sem necessariamente indicar danos propriamente ditos. Apesar disto, uma tendência de diminuição nos valores deste índice pode ser observada a partir da Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), para todos os setores avaliados, a partir de quando, em geral, os biomarcadores mais relevantes passaram a ser MT, LPO, IL nas branquias e LDH em fígado e branquias. Em termos temporais, é possível observar uma tendência crescente nos valores de IBR biomarcador para peixes dulcícolas até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), a partir de quando esta tendência é revertida e passa a ser decrescente até as mínimas observadas durante a Campanha 14 (jul 2025 – período seco). Nesta Campanha, observou-se uma maior contribuição dos biomarcadores CAT_fig para o Setor Lagoa, apesar dos valroes reduzidos dos índices calculados para os demais Setores. Finalmente, na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), houve um incremento no valor médio do IBR Biomarcador, sobretudo nos Setores Rio e Reservatório, com destaque para a contribuição de AP, IL_brq, LPO, MT e LDH_brq para ambos.

Em todas as Campanhas realizadas, os valores do IBR Biomarcador para peixes dulcícolas contaram com a contribuição de uma grande diversidade dos biomarcadores analisados. Além disso, todos os biomarcadores contribuíram na composição do valor do índice na maior parte das Campanhas realizadas, sendo que o IL nas brânquias, IL no fígado, LDH nas brânquias, LDH no fígado, LPO e MT contribuíram para a composição do IBR Biomarcador em todas as Campanhas do monitoramento. Considerando-se as respostas desses biomarcadores, pode-se inferir que os peixes do Ambiente Dulcícola estão impactados pela contaminação por metais e As. Vale lembrar que os biomarcadores analisados indicam lesões nos tecidos dos peixes e ativação de mecanismos que requerem uma demanda anaeróbica das células, devido ao estresse e a ação do metabolismo para a proteção contra a bioacumulação dos contaminantes (como metais e As) presentes no ambiente dulcícola (Walker et al., 1996). Em relação à comparação global entre os diferentes Setores, é possível observar no gráfico de radar feito para todas as companhas que os Setores Tributário, Lago, Lagoa e Rio se destacaram

de forma geral, apresentando áreas maiores. Isto pode indicar uma intensidade geral de impactos maior nestes Setores.

Figura 17: Boxplot da abundância relativa do táxon *Acinetobacter*, bioindicador microbiano da contaminação por metal, mensurada nas amostras de sedimento (A), água de superfície (B) e água de fundo (C) 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). Malha amostral conforme Quadro 1.



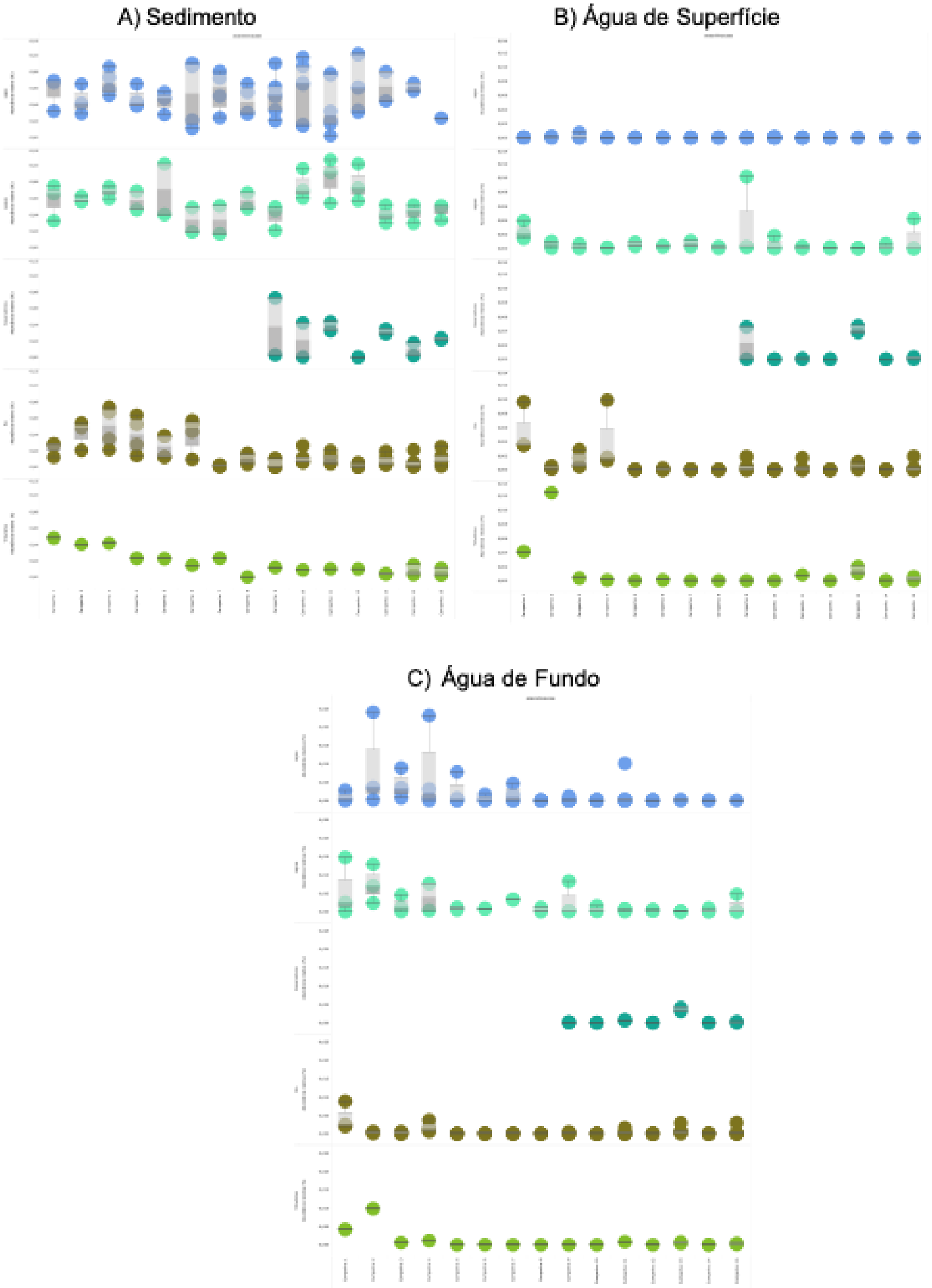


Os dados apresentados na Figura 17 mostram a abundância relativa do táxon *Acinetobacter* em diferentes matrizes ambientais. O sedimento apresentou menores níveis do indicador, em comparação com as outras matrizes analisadas. O Setor Rio apresentou maior variação e maiores valores de abundância. Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) observou-se um pico na abundância relativa do indicador para o Setor Rio, e na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) foram observados os maiores valores para todos os Setores, exceto para o Setor Lago. Os níveis mantiveram-se reduzidos de maneira similar nas campanhas seguintes. Com exceção de im novo pico de *Acintobacter* na Campanha 12 (jul 2024 – período chuvoso) no Setor Rio. Finalmente, de forma menos expressiva, mas não negligenciável, na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoiso) houve um aumento na abundanciado relativa do gênero no Setor Rio, de forma mais acentuada, e nos Setores Lagos e Tributários, de forma mais discreta.

Na água de superfície, de maneira geral, o gênero *Acinetobacter* apresentou os maiores índices de abundância relativa na Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), em todos os Setores. O Setor Rio foi novamente aquele que apresentou maiores oscilações e valores do gênero.

A abundância relativa do táxon *Acinetobacter* medida na água de fundo mostrou-se semelhante àquela observada na água de superfície, apesar dos maiores níveis do indicador terem sido observados nesta matriz. A tendência geral foi de ocorrência de valores mais elevados na Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 9 (jan/fev 2022 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), evidenciando um padrão de aumento da abundância em perídoo chuvosos. O Setor que menos expressou o gênero foi o Setor LagoasO gênero *Acinetobacter* é conhecido por tolerar altas concentrações de metais e óleo (Méndez et al., 2017). Portanto, sua presença no sedimento e água do Ambiente Dulcícola é um indicador de contaminação ambiental, visto que este gênero possui genes de resistência a ambientes altamente alcalinos, bem como a metais presentes no Material Ligado ao Desastre (MLD), tais como Cu, Zn, Cd e Cr (Petrová et al., 2023).

Figura 18: Boxplot da abundância relativa do táxon Anaerolineaceae, bioindicador microbiano da contaminação por metal, mensurada nas amostras de sedimento (A), água de superfície (B) e água de fundo (C) 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 (janf/ev 2026 – período chuvoso). Malha amostral conforme Quadro 1.



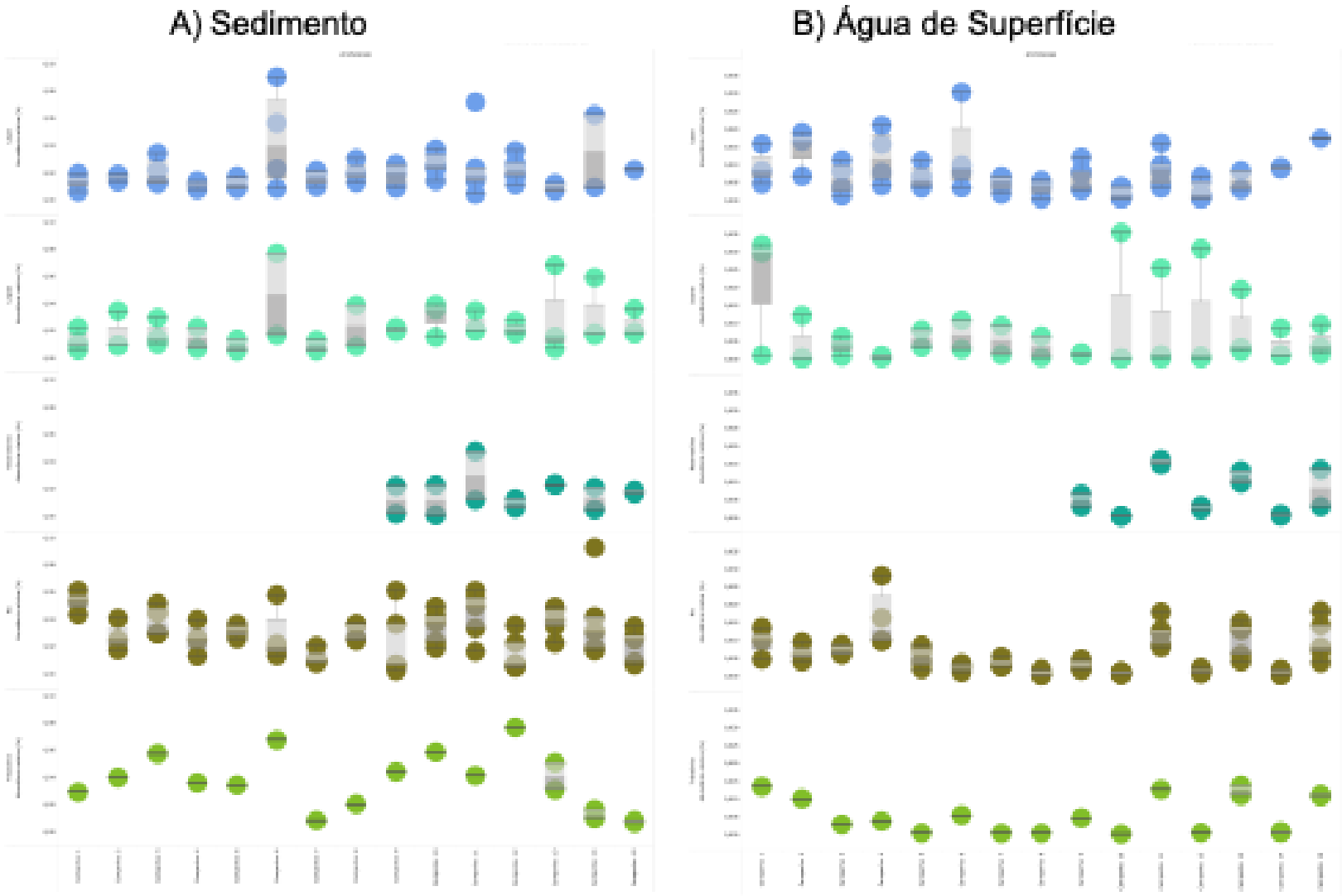
Os dados apresentados na Figura 18 mostram a abundância relativa do táxon Anaerolineaceae em diferentes matrizes ambientais. Os microrganismos da família Anaerolineaceae são fermentadores quimiorganoheterotróficos encontrados, principalmente, em ambientes anóxicos (McIlroy et al., 2017). Eles são altamente dependentes de compostos inorgânicos, funcionando como um indicador sensível da contaminação por metais, especialmente quando se considera a matriz sedimentar do rio Doce, onde estes elementos podem se depositar e permanecer por longos períodos antes de serem transportados em direção à foz do Rio Doce ou diluídos. Em sistemas de tratamento de águas residuais, a presença da Anaerolineaceae já foi associada à contaminação por Mn, Zn, Cu e Fe (Zeng et al., 2022). Os níveis de abundância relativa de Anaerolineaceae manifestaram flutuações ao longo do período monitorado. No sedimento, foi observada uma tendência consistente de oscilação da abundância relativa de Anaerolineaceae. Os Setores Rio e Tributários apresentaram a mesma tendência de maiores valores nas primeiras Campanhas, com redução e manutenção dos níveis a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os Setores Lago e Lagoa, por sua vez, também exibiram perfil semelhante entre si até a Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso). Os maiores picos ocorreram entre a Campanha 3 (set/out 2019 – período seco) e na Campanha 12 (jun 2024 – período seco), com ligeira redução nos anos de 2025 (Campanha 13: jan/fev 2025 – período chuvoso; Campanha 14: jul 2025 – período seco), e período chuvoso de 2026 (Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso). Sendo assim, para o sedimento, houve uma tendência de diminuição na abundância relativa de Anaerolineaceae nos últimos anos, principalmente evidenciado no Setor Lago e Lagoa.

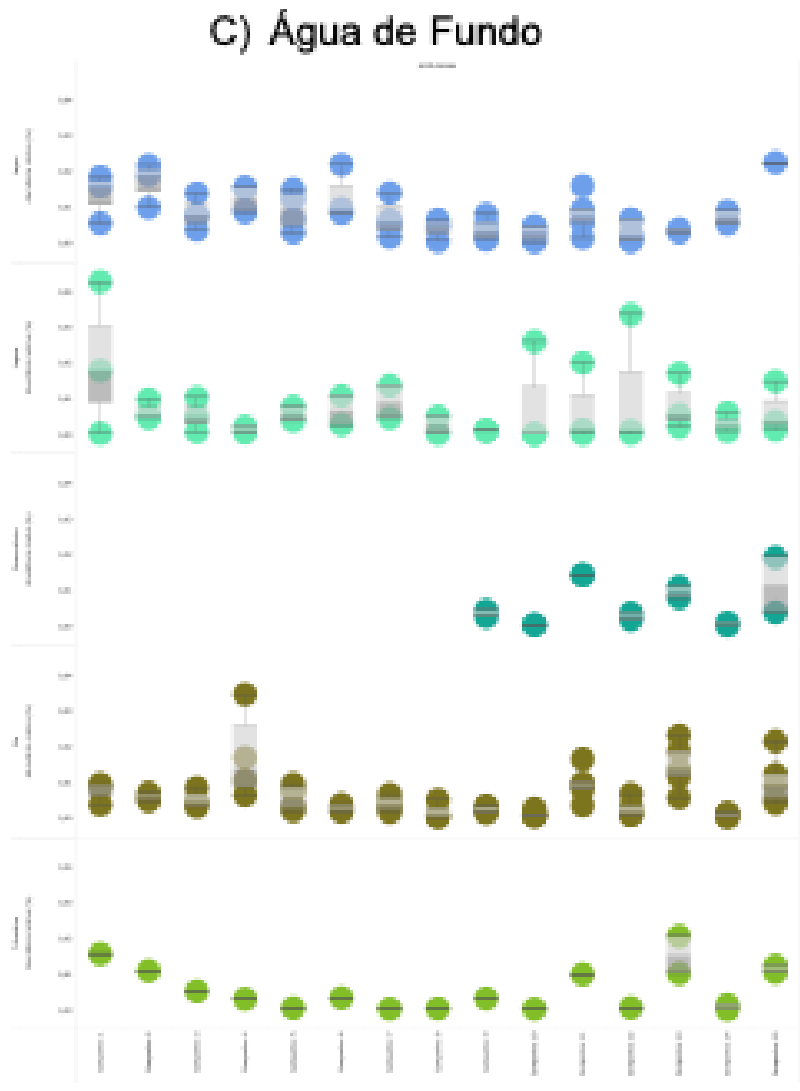
Na água de superfície, os grupos pertencentes à família Anaerolineaceae foram menos abundantes do que no sedimento, conforme esperado, pela característica anóxica desta família de microorganismos. A tendência observada revelou maiores níveis de abundância relativa durante as quatro primeiras Campanhas do monitoramento, especialmente no Setor Rio, seguidos por uma diminuição que alcançou valores de abundância relativa tendendo a zero. Na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2029 – período chuvoso), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), foram registrados aumentos pontuais na abundância relativa do táxon, evidenciando uma influência sazonal por parte dos períodos chuvosos ao longo do monitoramento. A família Anaerolineaceae é comumente encontrada em áreas de descarte de resíduos de mineração em várias partes do mundo, sendo frequentemente associada ao solo contaminado por atividades mineradoras (Chung et al., 2019). Portanto, sua detecção na água superficial, mesmo em concentrações mínimas, caracteriza-se como um indicador de contaminação por metais.

Na água de fundo, apesar da proximidade desta com o sedimento, não foram observados valores notadamente diferentes daqueles registrados para a água superficial. Porém, os valores mais elevados parecem estar concentrados entre a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e a Campanha 4 (janfev 2020 – período chuvoso), seguidos por uma clara tendência de redução para níveis menores de abundância relativa a partir da Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso). Destacam-se os picos na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvos), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), e

Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), novamente indicando uma forte influência dos período chuvosos para o aumento na abundância relativa deste táxon.

Figura 19: Boxplot da abundância relativa do táxon Pirellualaceae, bioindicador microbiano da contaminação por metal, mensurada nas amostras de sedimento (A), água de superfície (B) e água de fundo (C) 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). Malha amostral conforme Quadro 1.





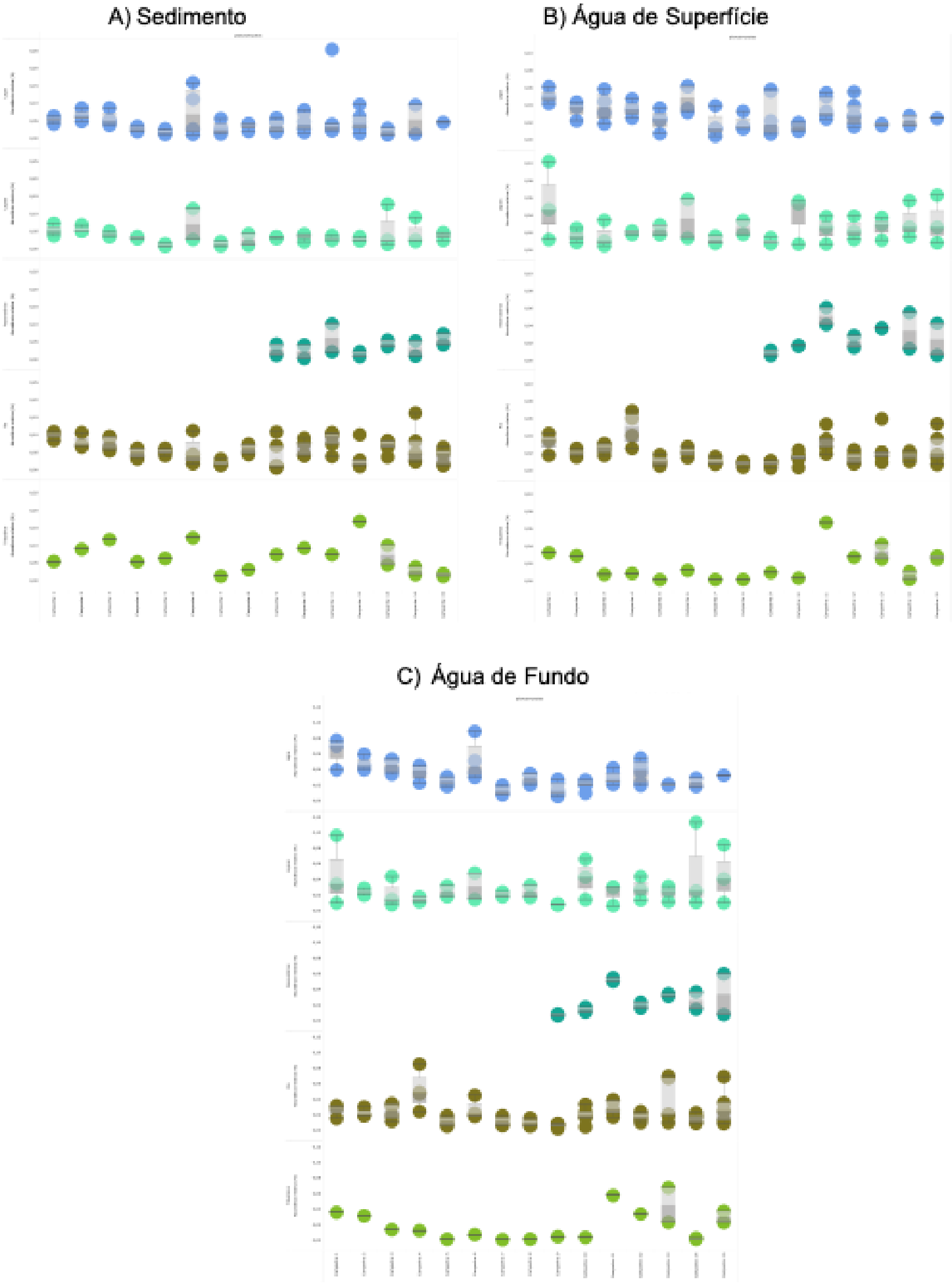
Os dados apresentados na Figura 19 mostram a abundância relativa do táxon Pirellulaceae em diferentes matrizes ambientais. A família Pirellulaceae é frequentemente encontrada em ambientes com pH neutro, mesofílicos ou que demonstram tolerância a condições psicrofílicas. Neste grupo, estão inclusos microrganismos aeróbicos, microaerófilos ou anaeróbicos, além de heterotróficos (Lage et al., 2022). Esta família de microorganismos também está associada à contaminação por metais em resíduos de mineração, particularmente associada a altos níveis de contaminação por Mn (Sjöberg et al., 2020). De fato, ela foi repetidamente identificada em áreas de descarte de resíduos de mineração, demonstrando sua capacidade de tolerar ambientes contaminados por metais, bem como de reduzir esta contaminação ao longo do tempo (Chen et al., 2018; Yan et al., 2020). Para a matriz sedimento, os valores de abundância relativa de Pirellulaceae permaneceram elevados desde o início do monitoramento, alcançando valores elevados na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 14 (jul 2025 – período seco). A partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) houve um crescimento progressivo da abundância relativa desta família, com perfil semelhante, principalmente nos Setores Rio e Tributário. Especialmente nas últimas Campanhas, a partir da Campanha 13 (jan/fev 2025 – perído chuvoso), observou-se um aumento no indicador no sedimento do Setor Lago, enquanto os demais Setores apresentaram um perfil oscilante, de certa forma, similar entre os Setores.

Na água de superfície, a abundância relativa da família Pirellulaceae exibiu padrões distintos em comparação ao sedimento, com menor abundância relativa. De maneira geral, a abundância de Pirellulaceae pareceu ser mais elevada até a Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), tendo sido então observada uma tendência de diminuição ao longo das Campanhas subsequentes. Porém, assim como no sedimento, um aumento da abundância relativa da família Pirellulaceae foi observado da Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) em diante, com incremento adicional na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), principalmente, nos Setores Reservatórios, Rio e Tributários, os quais apresentaram padrões de oscilação muito semelhantes. Na última Campanha (Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso), onde um aumento no indicador foi observado para os Setores amostrados.

Na água de fundo, foi observado um padrão de abundância relativa de Pirellulaceae, de certa forma, similar àquele registrado para a água de superfície, assim como observado para os demais táxons, ainda que a água de fundo se encontre mais próxima ou em contato com o sedimento. É esperado que ocorra deposição de metais e As no sedimento, resultando em concentrações mais elevadas nessa matriz em comparação à água. Porém, as chuvas podem causar flutuações mais acentuadas na abundância relativa da microbiota associada, devido a ressuspensão de partículas sedimentares e os compostos contidos nela, como metais e As. De maneira geral, os valores mais elevados de abundância relativa da família Pirellulaceae foram observados nos dois primeiros anos do monitoramento, seguidos por uma redução gradual. Essa tendência sugere uma possível estabilização da abundância relativa desse grupo de micro-organismos em níveis mais baixos ao longo do tempo. No entanto, a Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) e a Campanha 14 (jan/fev 2026 – período chuvoso) apresentaram um novo aumento na abundância relativa, particularmente evidente no Setores Rio, Tributário e Reservatório, sugerindo possíveis flutuações sazonais ou alterações nas condições ambientais que

podem influenciar a presença desta família de micro-organismos. Ademais, este padrão de oscilação nos últimos dois anos foi, de certa forma, semelhante entre os Setores, exceto no Setor Lago.

Figura 20: Boxplot da abundância relativa do táxon Planctomycetes, bioindicador microbiano da contaminação por metal, mensurada nas amostras de sedimento (A), água de superfície (B) e água de fundo (C) 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) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2024 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Malha amostral conforme Quadro 1.



Os dados apresentados na Figura 20 mostram a abundância relativa do táxon Planctomycetes em diferentes matrizes ambientais. Este filo também está associado a resíduos de contaminação por metais (Köhler et al., 2019). Na matriz sedimento, o filo Planctomycetes demonstrou uma alta abundância relativa inicial, com declinio a partir da Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), seguindo de um pico na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco) para todos os Setores. Este aumento expressivo foi seguido por uma redução até a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), quando, novamente, os valores do indicador voltaram a subir. No Setor Lago e Setor Tributário, houve um pico de abundância relativa de Planctomycetes na Campanha 12 (jul 2024 – período seco). Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco), os valores mantiveram-se elevados neste Setor, e aumentaram para os demais Setores. De maneira geral, as três últimas Campanhas apresentaram valores estáveis e, de certa forma, elevados do indicador, exceto no Setor Tributário, cuja abundância relativa caiu progressivamente até a última Campanha.

Ao contrário de outros indicadores, o filo Planctomycetes possui abrangência taxonômica mais ampla, podendo apresentar variação menos pronunciada na sua abundância relativa. Isso é evidenciado pela menor variação observada na água de superfície no ambiente dulcícola, que apresentou apenas algumas oscilações de abundância, mais nítidas nos Setores Lago e Lagoas e, em menor escala, no Setor Rio. No entanto, picos com valores elevados de abundância relativa deste filo, que ocorreram pontualmente nos Setores avaliados, podem indicar um ambiente significativamente impactado (Storesund & Øvreås, 2013). Além disso, na água de superfície, a tendência do filo Planctomycetes foi de estabilização, com oscilações eventuais na sua abundância relativa, possivelmente associadas a eventos sazonais como chuvas ou outros fenômenos ambientais, uma vez que estas oscilações tiveram perfil semelhante nos Setores avaliados. Porém, o aumento registrado a partir da Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), requer atenção, sobretudo considerando que a última Campanha (Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso) apresentou valores relativamente elevados, quando comparados à Campanha anterior, do indicador nos Setores Rio, Tributários e Lagoa.

A detecção de Planctomycetes na água de fundo também seguiu um padrão similar àquele observado na água de superfície, porém com mais pontos de alta abundância relativa. O primeiro ano de monitoramento, este grupo de microorganismos apresentou abundâncias relativas elevadas em todos os Setores avaliados. Da Campanha 3 (set/out 2019 – período seco) em diante houve uma redução na abundância relativa de Planctomycetes, exceto para o Setor Rio, com picos eventuais na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), sendo maiores nos Setores Lago e Lagoas. A partir da Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), a abundânncia relativa do táxon aumentou novamente, com destaque para a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), quando picos de abundância relativa foram observados no Setor Rio, Setor Reservatório e Setor Lagoa. Estas variações sugerem a possibilidade de ocorrência de eventos de ressuspensão, com aporte de elementos metálicos na água, influenciando assim a abundância relativa deste táxon.

3.4 ÍNDICE DE TOXICIDADE

Figura 21: Classificação e valores da toxicidade das amostras de água e sedimento 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 – períodoo seco) e Camoanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). As amostras foram classificadas de acordo com o índice de toxicidade, expresso numericamente, e seguindo um padrão de cores como: Verde - Não tóxico [NT (≤1 ou Não Estimável (NE))]; Amarelo - Levemente tóxico [LT (2-25)]; Laranja - Moderadamente tóxico [MT (26-50)]; e Cinza – "NA" = sem dados devido a ausência de coleta. Malha amostral conforme Quadro 3.

Estações	Matriz	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4	Campanha 5	Campanha 6	Campanha 7	Campanha 8	Campanha 9	Campanha 10	Campanha 11	Campanha 12	Campanha 13	Campanha 14	Campanha 15
RDO-11	Água	NA	NA	16	0	1	0	0	1	1	7	0	0	0	10	0
	Sedimento	NA	NA	0	0	32	3	0	1	9	17	17	0	6	11	15
RGU-01	Água	0	12	0	0	0	3	0	1	NA	NA	NA	NA	10	1	4
	Sedimento	3	0	0	0	2	1	4	8	NA	NA	NA	NA	8	2	2
RDO-13	Água	NA	NA	0	0	5	0	0	2	10	1	0	0	0	0	9
	Sedimento	NA	NA	4	3	36	1	1	1	1	14	19	1	0	4	0
RDO-16	Água	24	2	3	6	0	0	0	1	5	1	0	2	0	0	10
	Sedimento	46	46	35	24	0	4	1	8	25	2	19	1	4	0	0
RDO-10	Água	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	12	0	0	NA		
	Sedimento	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	12	2	17	2	NA		
RMH-01	Água	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	14	4	0	1	NA		
	Sedimento	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	25	8	17	1	NA		

Classificação por matriz: NT - Não tóxica LT - Levemente tóxica MT - Moderadamente tóxica Sem dados

Os ensaios de toxicidade, sumarizados no Índice de Toxicidade apresentados na Figura 21, indicam variação na toxicidade das matrizes abióticas do rio Doce (RDO-10, RDO-11, RDO-13 e RDO-16) ao longo de período de monitoramento. As matrizes do ponto mais próximo à foz (RDO-16) mostraram-se mais tóxicas no início do monitoramento, inclusive com os sedimento sendo classificado como moderadamente tóxico. Apesar de uma redução ao longo do tempo, o sedimento do ponto RDO-16 na foz do rio Doce, manteve níveis de toxicidade significativos, ainda que classificado como levemente tóxico, especialmente na Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), períodos estes de alta pluviosidade. As amostras coletadas nas últimas Campanhas (Campanha 14: jul 2025 – período seco, e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso) foram classificadas como levemente tóxicas ou não tóxicas. Os maiores valores de toxicidade nestas duas Campanhas foram atribuídos ao ponto RDO-11 que ao longo do monitoramento mostrou ter seu sedimento mais tóxico que a água com maior valor na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso). Apesar destas variações espaciais e teporais, os maiores valores de toxicidade estiveram associadas ao sedimento, possivelmente pelo maior conteúdo de matéria orgânica e outros quelantes, fatores determinantes na especiação de metais e As no ambiente aquático e na sua biodisponibilidade.

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

Os padrões de bioacumulação de metais e As nos diferentes grupos de organismos do ambiente dulcícola foram avaliados através do Índice de Bioacumulação (IBR Bioacumulação). Os resultados obtidos indicam, de maneira geral, maiores concentrações de metais e As na comunidade planctônica do Setor Rio e Tributário, em quase todas as Campanhas monitoradas. Esses resultados refletem um incremento de metais e As na água e sedimento da calha principal do rio Doce até o período chuvoso de 2022 (Campanha 7 – mar 2022) associados à presença do Material Ligado ao Desastre (MLD). Os resultados também indicam que os níveis de metais associados ao MLD aumentaram no plâncton dulcícola ao longo deste período do monitoramento. Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) destacaram-se altos teores de Pb, Fe, As e Cr. Também é possível notar que o Setor Lagoa apresentou um pico de bioacumulação de metais e As em fitoplâncton, zooplâncton e ambos organismos agrupados durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e, em menor grau, na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) e na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), sugerindo um efeito sazonal, possivelmente relacionado com o maior aporte de água do rio Doce para estes ambientes lacustres adjacentes e/ou maior remobilização dos sedimentos neste período, marcado por chuvas intensas na região monitorada. Cabe destacar que os teores elevados de Fe e outros elementos, como As, Cd, Cr, Cu, Mn e Pb ainda são encontrados em níveis elevados no zooplâncton coletado em todos os Setores do Ambiente Dulcícola até a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso – apesar de, em menor concentração nas últimas duas Campanhas - quando comparados com níveis de metais obtidos para amostras de zooplâncton coletadas em

nov/2015, na região marinha mais próxima à foz do rio Doce, antes da chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) (Bianchini, 2019). Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), foi observada uma redução considerável nos níveis de bioacumulação de metais e As na comunidade plânctonica dulcícola de todos os Setores avaliados. No entanto, a Campanha 13 apresentou, novamente elevados valores de IBR Bioacumulação, sugerindo um aumento sazonal, sobretudo para o Setor Tributário. Para o Setor Rio, foi observada uma tendência significativa de redução do valor do IBR Bioacumulação da Campanha 7 (março 2022 – período chuvoso) até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), porém essa tendência foi interrompida por um discreto aumento transitório dos valores do índice na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), o qual foi seguido de uma discreta redução na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e, finalmente, um incremento na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). É importante ressaltar o discreto aumento do IBR Bioacumulação nas comunidades planctônicas na última Campanha(Campanha 15) e a predominância dos elementos tóxicos As e Cd para a composição deste índice.

Com relação aos camarões dulcícolas, os resultados do Índice de Bioacumulação (IBR Bioacumulação) apontaram para uma tendência de aumento temporal nos níveis de metais e As nos camarões coletados no Setor Lago até a Campanha 7 (Campanha 7 – mar/2023 – período chuvoso), seguida de uma redução gradativa nas Campanhas 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e 10 (jun/jul 2023 – período seco), e de um novo e discreto aumento na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), como observado para o plâncton dulcícola, o qual foi ampliado na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) mantendo-se na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). Apesar disso, nas últimas duas Campanhas, os valores médios do índice sofreram uma ligeira redução, tendendo a zero. Além disso, assim como observado para a comunidade planctônica, os teores de Cd, Cr, Cu e Mn ainda são encontrados em níveis elevados no músculo de camarões coletados em todos os Setores do Ambiente Dulcícola quando comparados com níveis obtidos para amostras coletadas em nov/2015, na região marinha mais próxima à foz do rio Doce, antes da chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) (Bianchini, 2019).

Para a comunidade de peixes, representada pelas guildas tróficas onívoros/herbívoros e carnívoros, os dados do IBR Bioacumulação apontaram para uma tendência de aumento temporal nos níveis de metais e As nos tecidos dos peixes coletados no Setor Lago até a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), assim como observado para os camarões. Para o Setor Rio, é importante destacar que o maior pico de bioacumulação de contaminantes foi observado, similarmente ao padrão em camarões dulcícolas, na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), apesar da grande variabilidade dos dados. Na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), os níveis de metais e As nos tecidos dos peixes coletados no Setor Rio diminuíram significativamente. Apesar disso, os resultados obtidos nas Campanhas subsequentes apontaram para uma tendência geral de aumento temporal na bioacumulação destes contaminantes até a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os resultados obtidos no monitoramento ecotoxicológico, especialmente no período compreendido entre a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), bem como entre a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e a Campanha 14 (jul 2025 – perídoo seco),

indicam que, de maneira geral, houve aumento temporal da contaminação por Cu, Fe, Mn e Zn nos peixes, corroborando assim os resultados encontrados por outros temas do PMBA/Fest-UFES e destacados no RA2023, que apontaram que não houve tendência de redução temporal da contaminação ambiental por contaminantes associados ao Material Ligado ao Desastre (MLD). Além disso, em consonância com os resultados obtidos para os níveis tróficos inferiores (fitoplâncton, zooplâncton e camarões), os teores de Fe e outros elementos, como Cd, Cr, Cu, Mn e Pb, ainda se encontram em níveis elevados no músculo dos peixes coletados nos Setores do Ambiente Dulcícola, especialmente nos períodos chuvosos. Isto fica evidente quando os dados obtidos no monitoramento no âmbito do PMBA/Fest-UFES são comparados com dados pretéritos de concentrações de metais obtidos em amostras de músculo de peixes coletados em nov/2015, em diferentes pontos da calha do rio Doce, antes da chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) (ACQUA, 2016).

De acordo com os achados do PMBA/Fest-UFES, apresentados em relatórios anteriores, altos percentuais do Índice de Não Conformidade (INC) foram detectados na água e sedimento da calha fluvial e sistemas lacustres, especialmente em relação às concentrações totais de Fe, Al e Cu. Os sistemas lacustres rasos (lagoas) apresentaram, em geral, maior INC relacionados às concentrações de Fe dissolvido e de Al total na água, podendo ser considerados como ambientes mais vulneráveis aos impactos da contaminação crônica. Neste contexto, os resultados de bioacumulação de metais nos níveis tróficos superiores (camarões e peixes) refletem esse padrão de contaminação, mostrando uma tendência de manutenção de níveis elevados de metais e As nos ambientes lacustres até o período chuvoso de 2023 (Campanha 9, jan/fev 2023). Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), foi observada uma redução nos valores do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados no Ambiente Dulcícola, e para todos os grupos de organismos avaliados (plâncton, camarões e peixes), refletindo assim uma redução na biodisponibilidade de metais e As neste ambiente, possivelmente devido à menor pluviosidade na Bacia do rio Doce durante o período seco. Corroborando a isso, observa-se o aumento no IBR Bioacumulação registrado na Campanha 11 (jan 2023 – período chuvoso) realizado no período chuvoso (jan 2024) e que foi ainda observado na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) e Campanha 14 (jul 2025 – período seco). Cabe destacar que, aumentos ou reduções dos níveis de bioacumulação de metais e As, concomitantemente nos diferentes níveis tróficos (plâncton, camarões e peixes), como observado durante o período de monitoramento realizado no Ambiente Dulcícola no âmbito do PMBA/Fest-UFES, indicam claramente a resposta do ambiente como um todo ao aporte ou ressuspensão destes contaminantes na bacia hidrográfica, possivelmente relacionados ao regime de pluviosidade.

Os padrões de resposta biológica dos organismos de diferentes níveis da cadeia trófica, expressos como biomarcadores, foram apresentados e analisados através do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador). Os valores deste índice mostraram um nível elevado de resposta biológica dos organismos planctônicos coletados nos Setores Tributário e Rio, nas últimas Campanhas realizadas, especialmente em se tratando do ano de 2025 (Campanha 13: jan/fev 2025 – período chuvoso e Campanha 14: jul 2025 – período seco). No Setor Tributário, os maiores valores de IBR Biomarcador foram observados nas Campanhas realizadas no período seco (Campanhas 6: jul/ago 2021, e

Campanha 10: jun/jul 2023 – período seco). Por sua vez, no Setor Rio, os maiores valores do índice também foram observados nas Campanhas 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) e Campanha 14 (jul 2025 – período seco). Com relação aos dados da Campanha 7 (março 2022 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) no Setor Rio, onde foram observados os maiores valores do IBR Biomarcador, cabe destacar que o conteúdo de metalotioneínas (MT - proteínas relacionadas com a detoxificação de metais) no zooplâncton e no fitoplâncton foi elevado em ambas Campanhas, bem como os níveis de lipoperoxidação (LPO) (biomarcador de dano oxidativo), foram as análises que mais contribuíram para o valor do IBR Biomarcador. Por sua vez, no Setor Tributário, os biomarcadores que mais contribuíram para a composição do índice nestas Campanhas foram a MT, na Campanha 7 e a LPO no fitoplâncton e a LPO no zooplâncton, e MT em fitoplâncton. O Setor Lago apresentou o estresse fisiológico concentrado no fitoplâncton, demonstrando os maiores resultados nos biomarcadores LPO e MT. O biomarcador MT é aquele que se destaca como mais relevante na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), tanto no fitoplâncton quanto no zooplâncton, sendo o parâmetro mais relevante para a composição do índice nos Setores Tributário e Rio. Este biomarcador indica uma resposta celular de proteção frente ao aumento na acumulação de metais e metaloides que pode estar relacionado ao aumento observado na carga de Fe, Cr, e Pb nestes organismos durante a Campanha 9. Na Campanha 10, os biomarcadores que compuseram o IBR Biomarcador no Setor Tributário foram a LPO no fitoplâncton, MT no fitoplâncton e MT no zooplâncton. Já no Setor Rio, o índice foi composto por todos os biomarcadores analisados. Na Campanha 13, os organismos zooplanctônicos tiveram picos de resposta referente à exposição a metais (MT) no Setor Tributário, e dano oxidativo no Setor Rio. Já na Campanha 14, a resposta foi principalmente associada aos danos em lipídeos em fito e zooplâncton. Este fato evidencia os impactos bioquímicos crônicos associados à acumulação de contaminantes (metais e As), com consequentes danos oxidativos (lipoperoxidação) aos organismos da comunidade planctônica dulcícola. Neste contexto, cabe ressaltar que a LPO, tanto no fitoplâncton como no zooplâncton, contribuíram consideravelmente na composição do IBR Biomarcador, em todas as Campanhas realizadas.

Nos camarões dulcícolas, a comparação temporal dos valores do IBR Biomarcador mostrou que os valores deste índice entraram em tendência crescente a partir da Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), em todos os Setores avaliados, até a apresentar os valores mais altos na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). A partir desta Campanha, essa tendência se reverteu para decrescente atingindo novamente valores comparáveis àqueles observados na Campanha 3 (set/out 2019 – período seco). Destaca-se, no entanto, o aumento expressivo do índice no Setor Lago na Campanha 14 (jul 2025 – período seco). Em um contexto espacial, os aumentos mais expressivos foram observados nos camarões coletados no Setor Lago e Setor Lagoa. Quanto à relevância de contribuição dos biomarcadores para a composição do IBR Biomarcador, observou-se que na Campanha 7 (março 2022 – período chuvoso), em todos os Setores avaliados, com exceção do Setor Tributário, todos os biomarcadores analisados contribuíram expressivamente para a composição do valor do índice. Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), foi observado que os biomarcadores que apresentaram relevância na formação do IBR Biomarcador foram os mesmos em todos os Setores avaliados, sendo

eles a MT, LPO no hepatopâncreas e LPO nas brânquias. Vale lembrar que estes biomarcadores estão associados à exposição e aos efeitos de metais e As, respectivamente. Além disso, cabe destacar que estes biomarcadores também foram relevantes na composição do IBR Biomarcador para os organismos planctônicos. Da mesma forma, na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), os biomarcadores mais importantes para a composição do IBR Biomarcador, em todos os Setores, foram a MT, sítios AP (danos ao DNA), LPO nas brânquias e LPO no hepatopâncreas. A partir desta Campanha, sítios AP, LPO e MT foram os principais biomarcadores compondo o índice, com variações snog rau de contribuição ao longo das Campanhas. Por outro lado, PCO foi menos importante para a composição do IBR Biomarcadores, apesar de constar no Setor Rio. Estes resultados indicam que, de maneira geral, todos os biomarcadores analisados foram relevantes para evidenciar os impactos biológicos causados pela exposição dos camarões aos contaminantes (metais e As) presentes no Ambiente Dulcícola e evidenciam danos em macromoléculas, bem como a exposição à metais e As em camarões.

No que se refere à análise da evolução temporal do IBR Biomarcador para os peixes dulcícolas, observou-se que os valores deste índice estão, de um modo geral, elevados em todos os Setores avaliados e em todas as Campanhas realizadas no Ambiente Dulcícola, com uma discreta tendência de redução nos últimos dois anos do monitoramento, entre a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). No que se refere à contribuição dos biomarcadores analisados para a composição do IBR Biomarcador, foi observado que, em todas as Campanhas realizadas, os valores deste índice foram compostos a partir da contribuição de grande parte dos biomarcadores analisados nos peixes dulcícolas, com destaque para o IL nas brânquias, IL no fígado, LDH nas brânquias, LDH no fígado e MT. Portanto, os resultados aqui relatados constituem evidência clara de que os peixes dulcícolas estão sendo cronicamente impactados pela contaminação do Ambiente Dulcícola por metais e o As.

Com relação a comunidade microbiana nas matrizes sedimento, água superficial e água de fundo do Ambiente Dulcícola, os resultados revelam a persistência de grupos bacterianos anteriormente registrados, estreitamente correlacionados com a presença de metais, bem como, de resíduos provenientes do rompimento da barragem de Fundão. O gênero *Acinetobacter* mantém-se notoriamente proeminente, sendo um bioindicador adequado para analisar a contaminação da água por metais. A predominância deste grupo bacteriano desperta interesse devido à sua uniformidade tanto em amostras da água de superfície quanto em amostras da água de fundo. O gênero *Acinetobacter* é singular, devido às suas propriedades metabólicas associadas a ambientes extremos, além de já terem sido vinculadas à presença de metais e, inclusive, ao rompimento da barragem do Fundão (Almeida et al., 2023; Guo et al., 2022; Irawati et al., 2017; Méndez et al., 2017; Reis et al., 2020). Cepas do gênero *Acinetobacter* exibem arranjos genéticos que conferem uma considerável resistência a metais pesados, como Cu, Zn, Co, Cd, Cr e As (Petrová et al., 2023).

Análises da comunidade microbiana nos sedimentos do Ambiente Dulcícola revelaram repetidas vezes alta similaridade com as amostras de água. Grupos bacterianos de maior abundância estiveram presentes em ambas as matrizes, apesar de disparidades físico-químicas e ecossistêmicas. Estes

resultados sugerem forte homogeneidade entre as amostras, sendo um possível indicativo de ressuspensão do sedimento do rio Doce, proporcionando transferência de partículas e consequente migração de comunidades bacterianas associadas. ASVs (Amplicon Sequence Variant) da família Anaerolineaceae, bactéria proposta como indicadora da presença do Material Ligado ao Desastre (MLD), também foi observada no ambiente dulcícola, principalmente em amostras de sedimento e com maior abundância relativa nos Setores Lago e Lagoa. Este grupo microbiano exibe uma estreita associação com o core microbiano encontrado em sedimentos com resíduos de mineração (Almeida et al., 2023; Chung et al., 2019). Gao et al. (2019) observaram a ocorrência de alguns grupos bacterianos em ambientes contaminados por rejeitos de mineração, juntamente com a sua co-ocorrência com o gênero *Acinetobacter*. Ademais, o grupo Pirellulaceae, outro potencial bioindicador da presença de Material Ligado ao Desastre (MLD), demonstrou uma abundância maior no Setor Rio, localidade que registrou os piores índices de avaliação ecotoxicológica em várias Campanhas ao longo do período monitorado. Estes resultados sugerem que o grupo Pirellulaceae pode ser considerado como um indicador dos parâmetros de qualidade ecológica na região. Adicionalmente, a detecção do filo Planctomycetes na água do fundo de todos os Setores avaliados evidenciou um comportamento paralelo ao observado na água de superfície. Padrões de oscilação constante do filo Planctomycetes foram registrados em todos os Setores avaliados, sugerindo a possibilidade de eventos de ressuspensão de elementos como os metais, exercendo influência sobre a abundância relativa deste táxon. Sobretudo nas últimas Campanhas, a partir da Campanha 11, observa-se uma tendência de aumento do indicador, principalmente no Setor Rio, Reservatório e Lagoa. Estas variações sugerem a possibilidade de ocorrência de eventos de ressuspensão, com aporte de elementos metálicos na água, influenciando assim a abundância relativa deste táxon. Cabe destacar que este filo também está associado a resíduos de poluição por metais, assim como a bactérias extremófilas que habitam esses ambientes (Köhler et al., 2019), porém possui abrangência taxonômica mais ampla, podendo apresentar variação menos pronunciada na sua abundância relativa. Destaca-se a ocorrência de valores elevados de abundância relativa de táxons microbiológicos indicadores de estresse ambiental, incluindo aqueles associados à presença de metais, nas Campanhas mais recentes, sobretudo na Campanha 15 (jan/fev de 2026 – período chuvoso), o que indica um cenário de contaminação crônica. Ainda, em alguns casos, uma influência sazonal evidente foi observada, com elevação nos indicadores em períodos chuvosos, para a família Anaerolineaceae, nas amostras de água.

Os ensaios de toxicidade, cujos resultados estão resumidos no Índice de Toxicidade, indicaram variação da toxicidade das matrizes água e sedimento ao longo de período de monitoramento. As matrizes do ponto mais próximo à foz (RDO16) mostraram-se mais tóxicas no início do monitoramento, inclusive o sedimento foi classificado como moderadamente tóxico. Apesar de uma redução ao longo do tempo, o sedimento no ponto RDO16 manteve valores de toxicidade significativos, especialmente nas Campanhas 4, 9, 11, 13 e 15, períodos de maior pluviosidade. Os valores mais elevados de toxicidade, associados às classificações ecotoxicológicas mais severas, foram predominantes no sedimento. Tal comportamento pode ser atribuído ao maior teor de matéria orgânica e outros quelantes de metais nessa matriz, um fator chave para a partição e especiação de metais e arsênio (As). Vale lembrar que os efeitos medidos através dos testes de toxicidade estão relacionados com respostas

como mortalidade, desenvolvimento e reprodução dos indivíduos testados. Portanto, efeitos ecotoxicológicos observados em outros níveis de organização biológica, como por exemplo os moleculares e bioquímicos, que foram avaliados através de biomarcadores específicos em organismos coletados em campo, merecem atenção, visto que são respostas biológicas mais sensíveis do que aquelas medidas nos testes de toxicidade. Ademais, os ensaios de toxicidade avaliam a qualidade de matrizes abióticas, como água e sedimento, permitindo inferir seus potenciais efeitos tóxicos sobre organismos de diferentes níveis tróficos. Por serem ensaios padronizados e conduzidos em condições controladas, fornecem resultados claros e consistentes sobre a qualidade ambiental, sendo inclusive referenciados em regulamentações do CONAMA, por exemplo.

Ao serem analisados de forma conjunta e complementar, os efeitos ecotoxicológicos observados nos testes de toxicidade, os níveis observados de bioacumulação de contaminantes, as respostas dos biomarcadores avaliados nos organismos coletados e a diversidade microbiana analisada na malha amostral do Ambiente Dulcícola evidenciam a contaminação do ambiente e dos organismos deste por metais e As, bem como identificam os impactos decorrentes desta contaminação em diferentes níveis de organização biológica. Neste contexto, cabe salientar que a contaminação por metais e As é bastante preocupante, já que estes são elementos não biodegradáveis e persistentes no ambiente. Estas características fazem com que estes contaminantes aquáticos entrem e façam parte da composição dos organismos de diferentes níveis da cadeia trófica, através dos processos de bioacumulação e biomagnificação (Pereira et al., 2023). Cabe ressaltar que a bioacumulação de As e metais nos organismos analisados foi evidente nos diversos Setores avaliados e nas diferentes Campanhas realizadas no Ambiente Dulcícola, inclusive nas últimas Campanhas (Campanha 14 e Campanha 15), ao longo da execução do PMBA/Fest-UFES. Por fim, é importante ressaltar que as consequências dos impactos observados podem causar alterações na estrutura das comunidades e populações aquáticas, alterações na dinâmica e funcionalidade do ecossistema, redução da biodiversidade (Tovar-Sánchez et al., 2018), perda de serviços ecossistêmicos e afetar, direta ou indiretamente, a saúde humana.

5 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

Todos os itens previstos foram cumpridos para o Tema.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12648. (2011). *Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – método de ensaio com algas (Chlorophyceae*). Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12713. (2016*). Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – método de ensaio com Daphnia spp. (Crustacea, Cladocera).* Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13373:2016. (2017). *Ecotoxicologia aquática—Toxicidade crônica—Método de ensaio com Ceriodaphnia spp (Crustacea, Cladocera).* Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15088. (2016). *Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – método de ensaio com peixes (Cyprinidae).* Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15469. (2021). *Ecotoxicologia—Coleta, preservação e preparo de amostras.* Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15470. (2013). *Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda e crônica – método de ensaio com Hyalella spp (Amphipoda) em sedimentos.* Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15499. (2016). *Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica de curta duração – método de ensaio com peixes*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ACQUA (2016). Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana, MG. Trecho do Rio Doce. ACQUA Consultoria e Recuperação de Ambientes Aquáticos Ltda. Belo Horizonte – MG.

Aebi, H. (1984). [13] Catalase in vitro. Em *Methods in Enzymology* (p. 121–126). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Almeida, P. I. N. de, Jesus, H. E. de, Pereira, P. H. F., Vieira, C. E. D., Bianchini, A., Martins, C. D. M. G., & Santos, H. F. dos. (2023). The microbial profile of rivers and lagoons three years after the impact of the world's largest mining disaster (Fundão dam, Brazil). *Environmental Research*, 216. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114710

Alvim, M. C. C., & Peret, A. C. (2004). Food resources sustaining the fish fauna in a section of the upper São Francisco River in Três Marias, MG, Brazil. Brazilian Journal of Biology, 64, 195–202. https://doi.org/10.1590/S1519-69842004000200003

Beliaeff B., & Burgeot, T. (2002). Integrated biomarker response: A useful tool for ecological risk asses sment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *21*(6), 1316– 1322. https://doi.org/10.1002/etc.5620210629

Bernet, D., Schmidt, H., Meier, W., Burkhardt-Holm, P., & Wahli, T. (1999). Histopathology in fish: Proposal for a protocol to assess aquatic pollution. *Journal of Fish Diseases*, 22(1), 25–34. https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.1999.00134.x

Bianchini, A. (2019). Monitoramento dos efeitos ecotoxicológicos da pluma de sedimentos oriunda da foz do rio Doce sobre o ambiente marinho. Relatório Técnico-Científico - FURG/ICMBio, Rio Grande, RS.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1), 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Bulich, A. A. (1982). A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic samples. *Process Biochemistry*, 17(2), 45–47.

Cedergreen, N. (2014). Quantifying synergy: A systematic review of mixture toxicity studies within environmental toxicology. *PLOS ONE*, 9(5), e96580. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096580

Chen, Y., Jiang, Y., Huang, H., Mou, L., Ru, J., Zhao, J., & Xiao, S. (2018). Long-term and high-concentration heavy-metal contamination strongly influences the microbiome and functional genes in Yellow River sediments. *Science of The Total Environment*, 637–638, 1400–1412. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.109

Childress, J. J., & Somero, G. N. (1979). Depth-related enzymic activities in muscle, brain and heart of deep-living pelagic marine teleosts. *Marine Biology*, 52(3), 273–283. https://doi.org/10.1007/BF00398141

Chung, A. P., Coimbra, C., Farias, P., Francisco, R., Branco, R., Simão, F. V., Gomes, E., Pereira, A., Vila, M. C., Fiúza, A., Mortensen, M. S., Sørensen, S. J., & Morais, P. V. (2019). Tailings microbial community profile and prediction of its functionality in basins of tungsten mine. *Scientific Reports*, 9(1), 19596. https://doi.org/10.1038/s41598-019-55706-6

Devin, S., Burgeot, T., Giambérini, L., Minguez, L., & Pain-Devin, S. (2014). The integrated biomarker response revisited: Optimization to avoid misuse. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(4), 2448–2454. https://doi.org/10.1007/s11356-013-2169-9

Ezemonye, L. I., Adebayo, P. O., Enuneku, A. A., Tongo, I., & Ogbomida, E. (2019). Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium*

macrobrachion) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. *Toxicology Reports*, 6, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.11.010

Fatima, S., Muzammal, M., Rehman, A., Rustam, S. A., Shehzadi, Z., Mehmood, A., & Waqar, M. (2020). Water pollution of heavy metals and its effects on fishes. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8(3), 06–14.

FEST, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. Relatório Semestral de Evolução do PMBA/Fest-UFES – RT-44, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. 79 pag. 2023.

Frías-Espericueta, M. G., Bautista-Covarrubias, J. C., Osuna-Martínez, C. C., Delgado-Alvarez, C., Bojórquez, C., Aguilar-Juárez, M., Roos-Muñoz, S., Osuna-López, I., & Páez-Osuna, F. (2022). Metals and oxidative stress in aquatic decapod crustaceans: A review with special reference to shrimp and crabs. *Aquatic Toxicology*, 242, 106024. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.106024

Gao, P., Sun, X., Xiao, E., Xu, Z., Li, B., & Sun, W. (2019). Characterization of iron-metabolizing communities in soils contaminated by acid mine drainage from an abandoned coal mine in Southwest China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(10), 9585–9598. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04336-6

Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., Ch, N., & Saha, R. (2021). Effect of heavy metals on fishes: toxicity and bioaccumulation. *Journal of Clinical Toxicology*, 1–10. https://doi.org/10.35248/2161-0495.21.s18.001

Guo, K., Cheng, C., Chen, L., Xie, J., Li, S., He, S., & Xiao, F. (2022). Application of Deinococcus radiodurans in the treatment of environmental pollution by heavy metals and radionuclides. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 331(2), 655–664. https://doi.org/10.1007/s10967-021-08141-9

Hussain, M. B., Laabir, M., & Daly Yahia, M. N. (2020). A novel index based on planktonic copepod reproductive traits as a tool for marine ecotoxicology studies. *Science of The Total Environment*, 727, 138621. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138621

Irawati, W., Parhusip, A. J. N., Sopiah, N., & Tnunay, J. A. (2017). The role of heavy metals-resistant bacteria *Acinetobacter sp*. in copper phytoremediation using *Eichhornia crasippes* [(Mart.) Solms]. *KnE Life Sciences*, 3(5), 208. https://doi.org/10.18502/kls.v3i5.995

Ju, Y.-R., Lo, W.-T., Chen, C.-F., Chen, C.-W., Huang, Z.-L., & Dong, C.-D. (2019). Effect of metals on zooplankton abundance and distribution in the coast of southwestern Taiwan. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 33722–33731. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2169-x

Köhler, J. M., Kalensee, F., Cao, J., & Günther, P. M. (2019). Hadesarchaea and other extremophile bacteria from ancient mining areas of the East Harz region (Germany) suggest an ecological long-term memory of soil. *SN Applied Sciences*, 1(8), 839. https://doi.org/10.1007/s42452-019-0874-9

Lage, O. M., Calisto, R., Vitorino, I., & Øvreås, L. (2022). Pirellulaceae. In S. N. Dedysh (Ed.), Bergey's *Manual of Systematics of Archaea and Bacteria* (pp. 1–7). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118960608.fbm00402

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

MacFarlane, G. R., Schreider, M., & McLennan, B. (2006). Biomarkers of heavy metal contamination in the red fingered marsh crab*, Parasesarma erythodactyla. Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 51(4), 584–593. https://doi.org/10.1007/s00244-005-5067-4

Marklund, S., & Marklund, G. (1974). Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *European Journal of Biochemistry*, 47(3), 469–474. https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1974.tb03714.x

McIlroy, S. J., Kirkegaard, R. H., Dueholm, M. S., Fernando, E., Karst, S. M., Albertsen, M., & Nielsen, P. H. (2017). Culture-independent analyses reveal novel Anaerolineaceae as abundant primary fermenters in anaerobic digesters treating waste activated sludge. *Frontiers in Microbiology*, *8*, 1134. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01134

Méndez, V., Fuentes, S., Morgante, V., Hernández, M., González, M., Moore, E., & Seeger, M. (2017). Novel hydrocarbonoclastic metal-tolerant Acinetobacter and Pseudomonas strains from Aconcagua river oil-polluted soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 1074–1087. https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400017

Noman, M. A., Feng, W., Zhu, G., Hossain, M. B., Chen, Y., Zhang, H., & Sun, J. (2022). Bioaccumulation and potential human health risks of metals in commercially important fishes and shellfishes from Hangzhou Bay, China. *Scientific Reports*, 12(1), 4634. https://doi.org/10.1038/s41598-022-08471-y

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. (2012). *Test No. 211: Daphnia magna Reproduction Test*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-211-daphnia-magna-reproduction-test_9789264185203-en

OECD- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2013). *Test No. 236: Fish Embryo Acute Toxicity (FET) Test*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://doi.org/10.1787/9789264203709-en

Pereira, J. G., Raikar, S. S., Bhatti, A. G., Fatarpekar, P. G., & Nasnodkar, M. R. (2023). Metal bioavailability, bioaccumulation, and toxicity assessment through sediment and edible biota from intertidal regions of the Aghanashini Estuary, India. *Marine Environmental Research*, 191, 106172. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106172

Petrová, N., Kisková, J., Kolesárová, M., & Pristaš, P. (2023). Genetic basis of Acinetobacter sp. K1 adaptation mechanisms to extreme *Environmental Conditions. Life*, 13(8), 1728. https://doi.org/10.3390/life13081728

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 pag

Reis, M. P., Suhadolnik, M. L. S., Dias, M. F., Ávila, M. P., Motta, A. M., Barbosa, F. A. R., & Nascimento, A. M. A. (2020). Characterizing a riverine microbiome impacted by extreme disturbance caused by a mining sludge tsunami. *Chemosphere*, 253, 126584. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126584

Ribeiro, A. C., Batista, M. T. O., Rodrigues Junior, E., Oliveira, M. F. de, Vani, G. S., Rodrigues, E., & Suda, C. N. K. (2015). Atividades de lactato desidrogenase e malato desidrogenase de *Astyanax bimaculatus* (lambari) da bacia hidrográfica do rio Una como biomarcadoras de impacto ambiental. *Revista Ambiente & Água*, 10, 793–803. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1615

Rocha, G. S., de Palma Lopes, L. F., de Medeiros, J. F., Montagner, C. C., & Gaeta Espíndola, E. L. (2023). Environmental concentrations of cadmium and fipronil, isolated and combined, impair the survival and reproduction of a Neotropical freshwater copepod. *Environmental Pollution*, 336, 122415. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122415

Silva, Z., Nascimento, P. E. C. do Vitule, J. R. S., Frehse, F. de A., Ferraz, M. S. O., & Mourgués-Schurter, L. R. (2019). Diet and resource sharing by two Pimelodidae species in a Southeastern Brazilian reservoir. *Biota Neotropica*, 19, e20180675. https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0675

Sjöberg, S., Stairs, C. W., Allard, B., Homa, F., Martin, T., Sjöberg, V., Ettema, T. J. G., & Dupraz, C. (2020). Microbiomes in a manganese oxide producing ecosystem in the Ytterby mine, Sweden: impact on metal mobility. *FEMS Microbiology Ecology*, 96(11). https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa169

Storesund, J. E., & Øvreås, L. (2013). Diversity of Planctomycetes in iron-hydroxide deposits from the Arctic Mid Ocean Ridge (AMOR) and description of *Bythopirellula goksoyri* gen. nov., sp. nov., a novel Planctomycete from deep sea iron-hydroxide deposits. *Antonie van Leeuwenhoek*, 104(4), 569–584. https://doi.org/10.1007/s10482-013-0019-x

Taslima, K., Al-Emran, M., Rahman, M. S., Hasan, J., Ferdous, Z., Rohani, M. F., & Shahjahan, M. (2022). Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review. *Toxicology Reports*, 9, 858–868. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.04.013

Tovar-Sánchez, E., Hernández-Plata, I., SantoyoMartínez, M., Valencia-Cuevas, L., & Galante, P. M. (2018). Heavy Metal Pollution as a Biodiversity Threat. Em Heavy Metals. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.74052

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 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils*, Revision 1. Washington, DC.

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.

Yan, C., Wang, F., Liu, H., Liu, H., Pu, S., Lin, F., Geng, H., Ma, S., Zhang, Y., Tian, Z., Chen, H., Zhou, B., & Yuan, R. (2020). Deciphering the toxic effects of metals in gold mining area: Microbial community tolerance mechanism and change of antibiotic resistance genes. *Environmental Research*, 189, 109869. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109869

Zaynab, M., Al-Yahyai, R., Ameen, A., Sharif, Y., Ali, L., Fatima, M., Khan, K. A., & Li, S. (2022). Health and environmental effects of heavy metals. *Journal of King Saud University - Science*, 34(1), 101653. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101653

Zeng, T., Wang, L., Zhang, X., Song, X., Li, J., Yang, J., Chen, S., & Zhang, J. (2022). Characterization of microbial communities in wastewater treatment plants containing heavy metals located in chemical industrial zones. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6529. https://doi.org/10.3390/ijerph19116529