

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

Material Suplementar Ambiente Marinho

Tema: Ecotoxicologia

RT- 44/ NOV23

RSE2023 PMBA/Fest

Vitória,

Novembro de 2023

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	3
2	RESULTADOS DOS INDICADORES	4
2.1	CONCENTRAÇÃO DE ARSÊNIO E METAIS EM AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTO.....	5
2.2	ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (<i>IBR BIOACUMULAÇÃO</i>)	11
2.3	ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA (<i>IBR BIOMARCADOR</i>)	58
2.4	DIVERSIDADE MICROBIANA	91
2.5	ÍNDICE DE TOXICIDADE	130
3	REFERÊNCIAS	150

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

O histórico de malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) abrange informações de suma importância para o balizamento do presente programa, uma vez que passou por modificações ao longo do tempo, visando melhor atender aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) **MS – Malha e Frequência amostral**, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) **MS – Mapas das malhas amostrais**, com a espacialização histórica referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais coletadas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais coletadas a partir de agosto de 2022, à exceção do grupo da Ecotoxicologia, que iniciou a amostragem referente ao Novo Ciclo em janeiro de 2023.

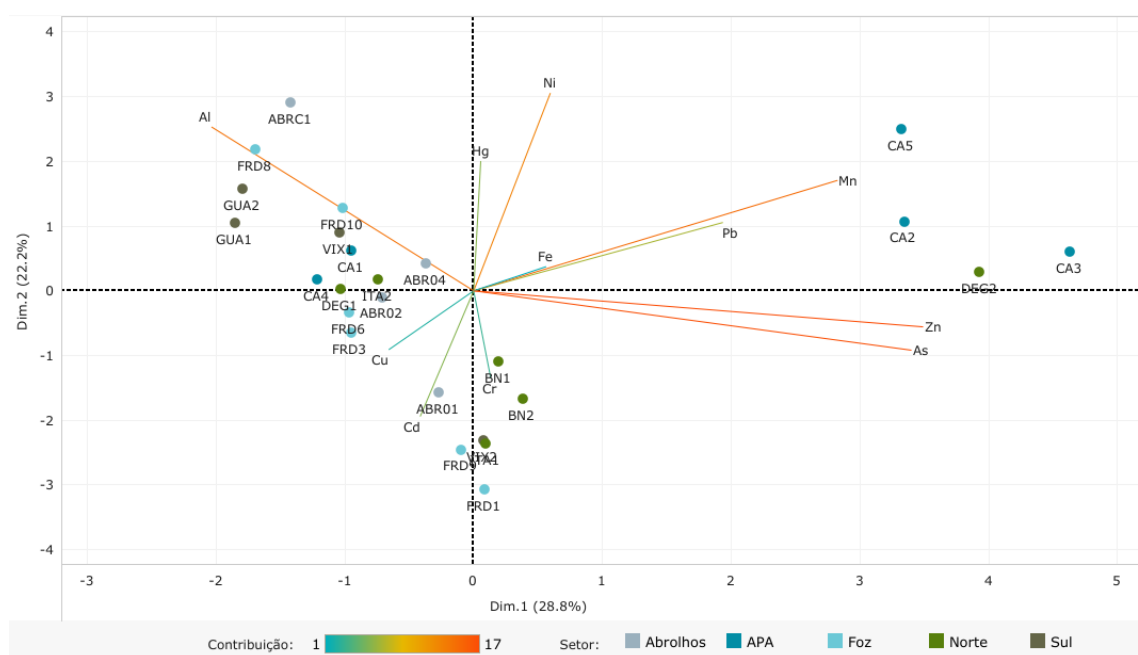
2 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – março/2023) 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 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:

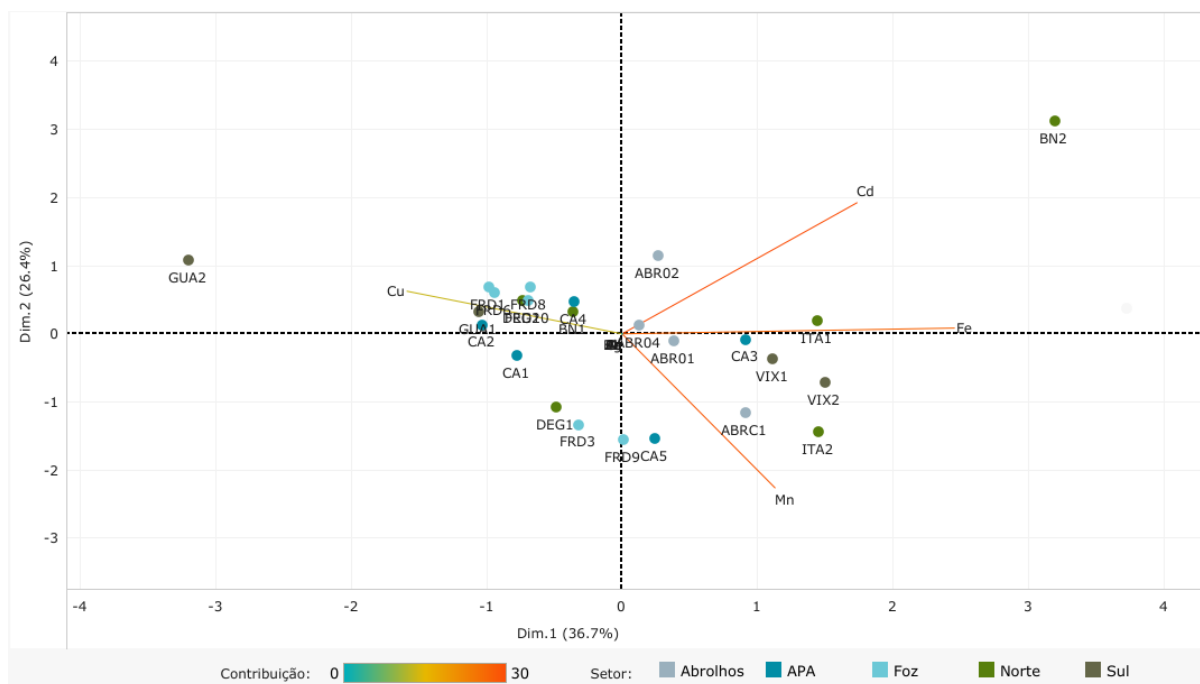
2.1 CONCENTRAÇÃO DE ARSÊNIO E METAIS EM AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTO

Figura 1: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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), na fração dissolvida, nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



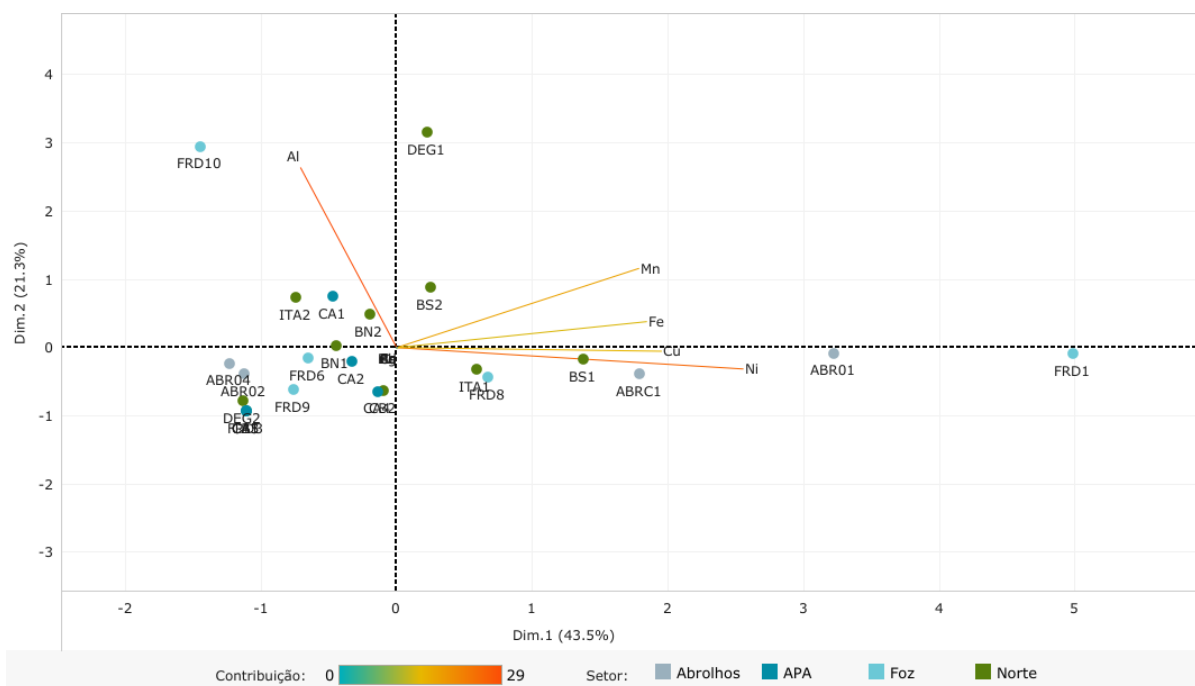
A PCA demonstra o quanto cada componente principal explica a variabilidade total dos dados analisados. Quanto maior (menor) e mais vermelha (azul) a linha, maior (menor) é a contribuição/importância da variável para a PCA. Na Figura 1, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 28,8% e por 22,2%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 - período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 51,0% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 1 auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As na água de fundo do Ambiente Marinho.. Verifica-se que os metais que mais contribuem para a PCA estão nos dois quadrantes à direita (superior e inferior), com exceção do Al, o qual está no quadrante superior à esquerda. O Setor APA tem suas estações mais agrupadas nos quadrantes superiores (esquerdo e direito) e está associado aos metais Ni, Mn, Zn, As, Fe, Pb, Zn e As. O Setor Sul está relacionado aos metais Al, Cd e Cr. O Setor Norte demonstra uma associação com os metais Mn, Pb, Zn, As e Cr. As estações do Setor Foz e Abrolhos estão mais agrupadas nos quadrantes à esquerda e mostram um vínculo com os metais Al, Cu, Cd e Cr.

Figura 2: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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), na fração dissolvida, nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



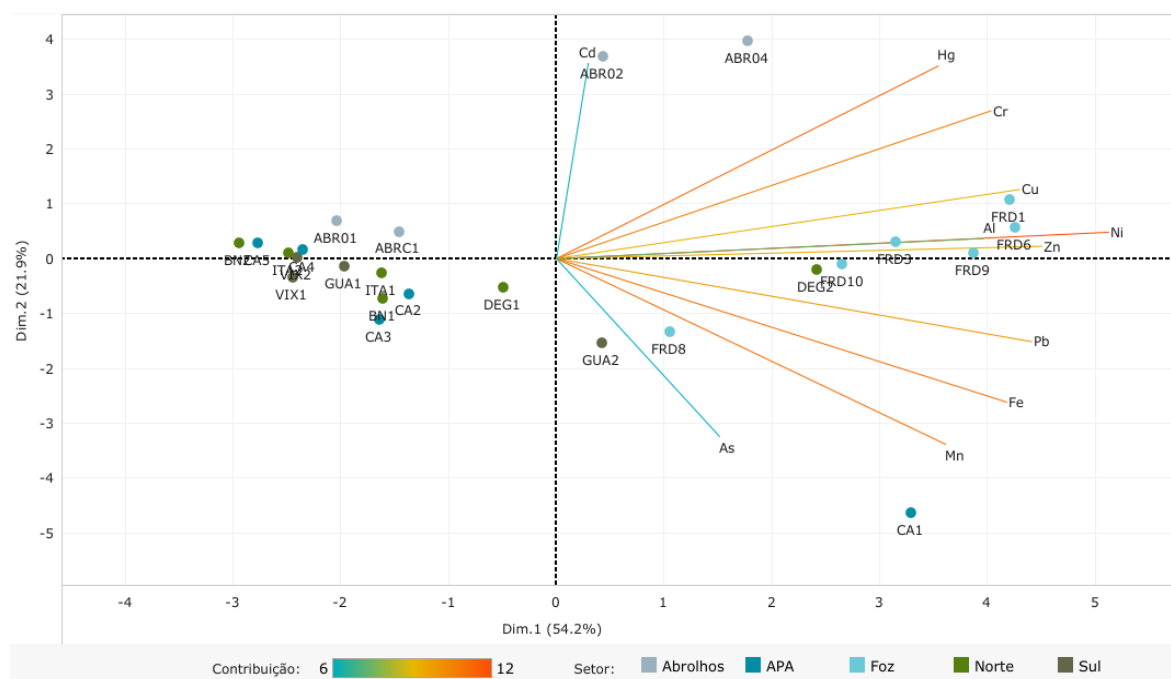
Na Figura 2, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 36,7% e por 26,4%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 63,1% da variabilidade total dos dados. Apenas, quatro dos metais analisados contribuem para a PCA, sendo os mais importantes Cd, Fe e Mn. O Setor Norte e Sul demonstram serem os mais impactados. O primeiro se relaciona com todos os metais, já o segundo se associa com o Fe, o Mn e o Cu. O Setor Abrolhos, tendo suas estações agrupadas nos quadrantes à direita, se relaciona com os metais Cd e Mn. As estações do Setor Foz estão bastante agrupadas aos quadrantes à esquerda e se associam com o Cu. E por último, o Setor APA apresenta uma associação com os metais Cu, Mn e Fe.

Figura 3: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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), na fração dissolvida, nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3) e Costa das Algas 4 (CA4)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 2 (CB2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)].



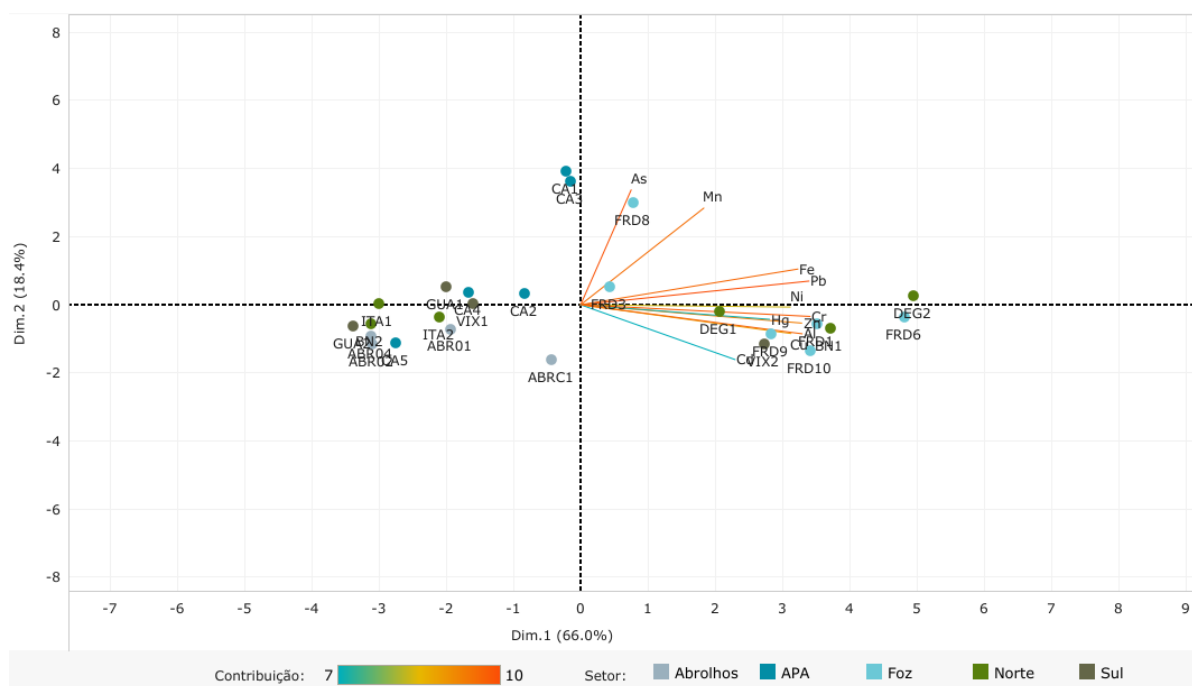
Na Figura 3, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 43,5% e por 21,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 64,8% da variabilidade total dos dados. Observa-se que apenas cinco dos metais analisados contribuem para a PCA, sendo eles o Al, Ni, Mn, Fe e Cu. O Setor Foz denota estar associado a todos os metais. O Setor Abrolhos associa-se aos metais Mn, Fe, Cu e Ni. Por fim, o Setor Norte apresenta um vínculo com os metais Fe, Cu, Ni e Al. Já o Setor APA não apresenta associação com nenhum dos metais.

Figura 4: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



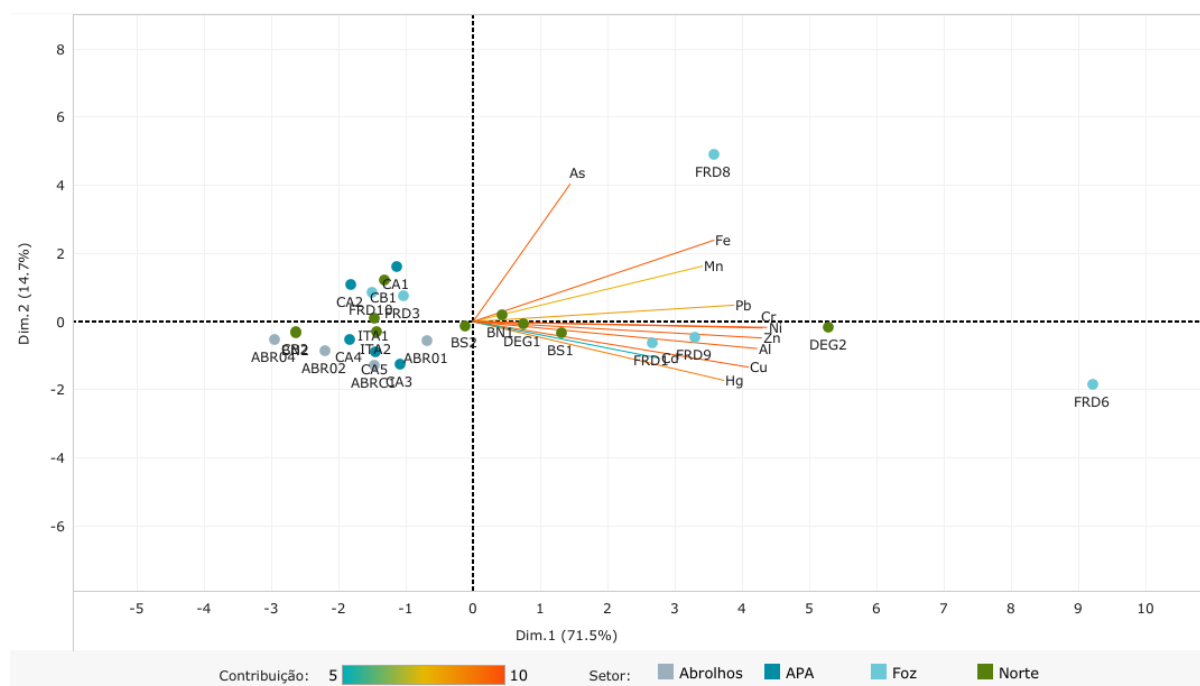
Na Figura 4, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 54,2% e por 21,9%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 76,1% da variabilidade total dos dados. Nota-se que os metais avaliados se concentram nos quadrantes à direita e apresentam uma alta relevância a PCA, exceto os metais Cd e As, os quais contribuem pouco para a PCA. O Setor Foz é o qual demonstra ter seu sedimento mais impactado, estando fortemente associados aos metais Hg, Cr, Cu, Al, Ni, Zn, Pb, Fe e Mn. A estação CA1 do Setor APA se relaciona aos metais Pb, Fe, Mn e As, os quais se encontram no quadrante inferior à direita. Já o Setor Abrolhos (ABR02 e ABR04) apresenta um vínculo com os metais Hg, Cd e Cr. A estação DEG2 do Setor Norte associa-se com os metais Al, Ni e Zn. O Setor Sul não demonstra apresentar uma relação relevante com os metais avaliados.

Figura 5: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



Na Figura 5, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 66,0% e por 18,4%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 84,4% da variabilidade total dos dados. Ao analisar o gráfico da Figura 5, é possível observar que todos os metais estão concentrados nos quadrantes à direita da PCA. Os metais que mais contribuem para a análise são o: As, Mn, Fe, Pb, Ni, Cr, Zn, Al e Cu. O sedimento do Setor Foz é o que demonstra estar mais impactado, estando associado a todos os metais da PCA. Em seguida, o Setor Norte se associa aos metais Fe, Pb, Ni, Cr, Hg, Zn, Al e Cu. A estação VIX2 do Setor Sul se vincula aos metais Cd, Cu e Al. E por último, as estações CA1 e CA3 do Setor APA se relaciona ao metal As. O Setor Abrolhos não apresenta relação com os metais no sedimento.

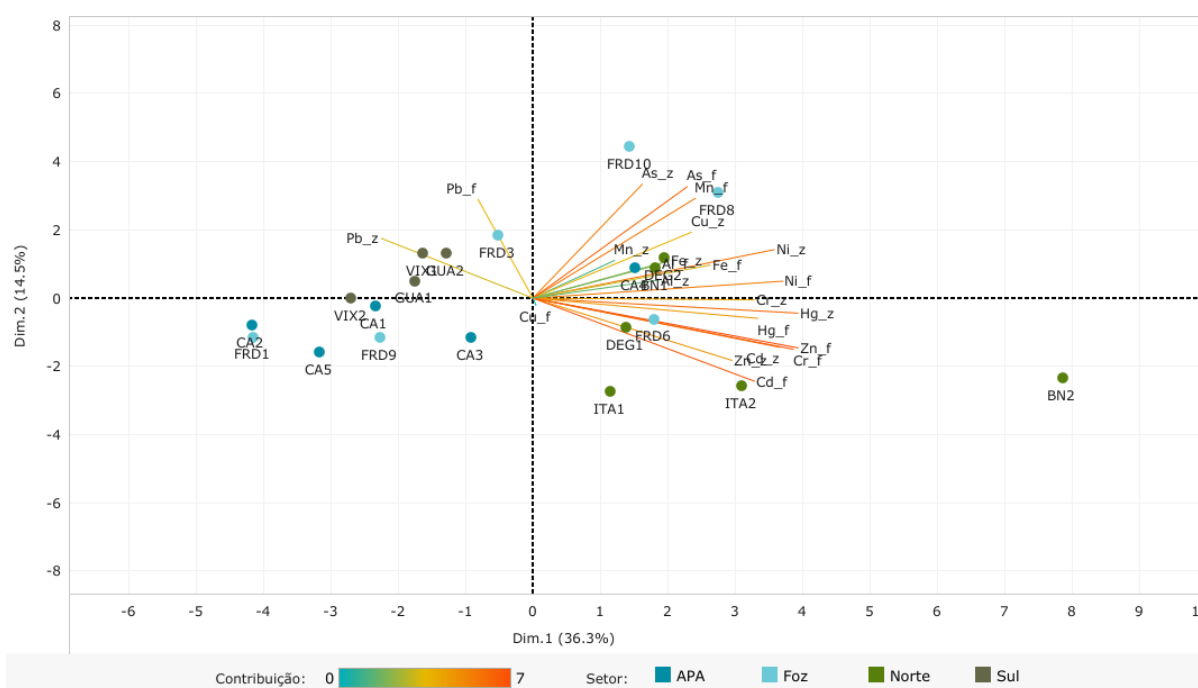
Figura 6: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 1 (CB1), Conceição da Barra 2 (CB2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)].



Na Figura 6, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 71,5% e por 14,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 86,2% da variabilidade total dos dados. Todos os metais analisados se encontram concentrados nos quadrantes à direita, apresentando uma contribuição relevante para a PCA, com exceção do metal Cd, o qual mostra pouca contribuição para a mesma. Nota-se que o Setor Foz demonstra uma forte associação com todos os metais, assim, sendo o Setor com o sedimento mais degradado. Além disso, o Setor Norte também exibe uma relação com os metais Pb, Ni, Zn, Cr, Al, Cd, Cu e Hg. Os Setores Abrolhos e APA não denotam, segundo a PCA, uma correlação com os metais avaliados.

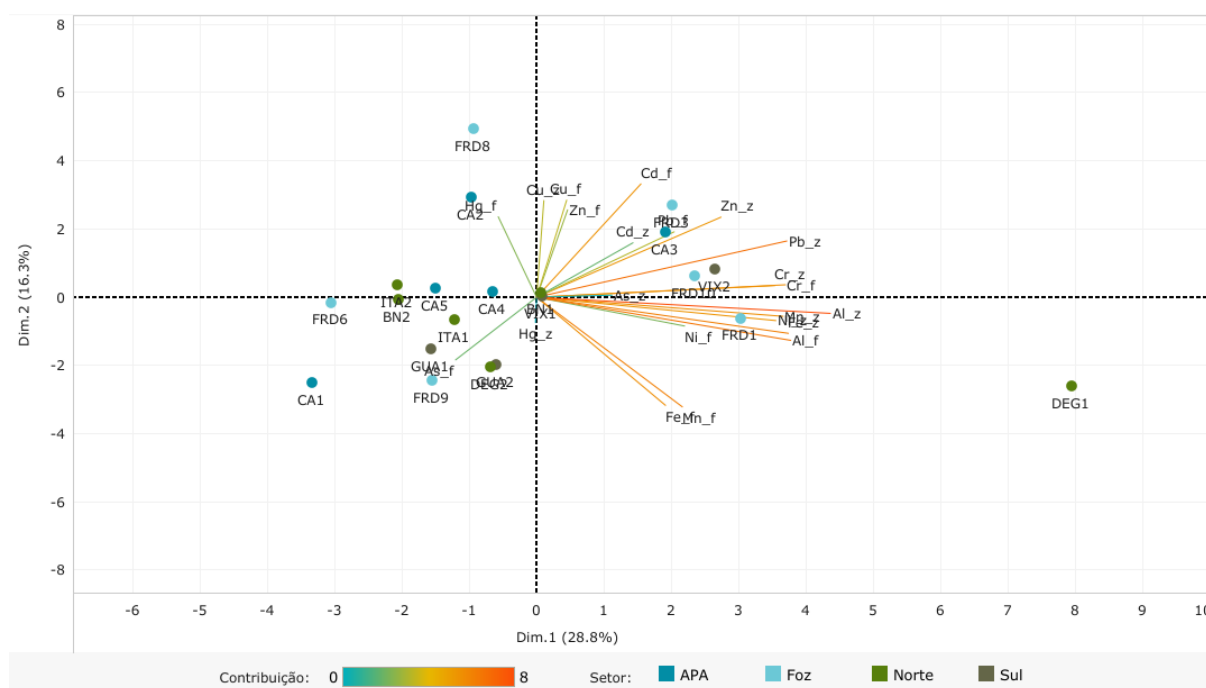
2.2 ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (IBR bioacumulação)

Figura 7: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 plâncton do Oceano [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



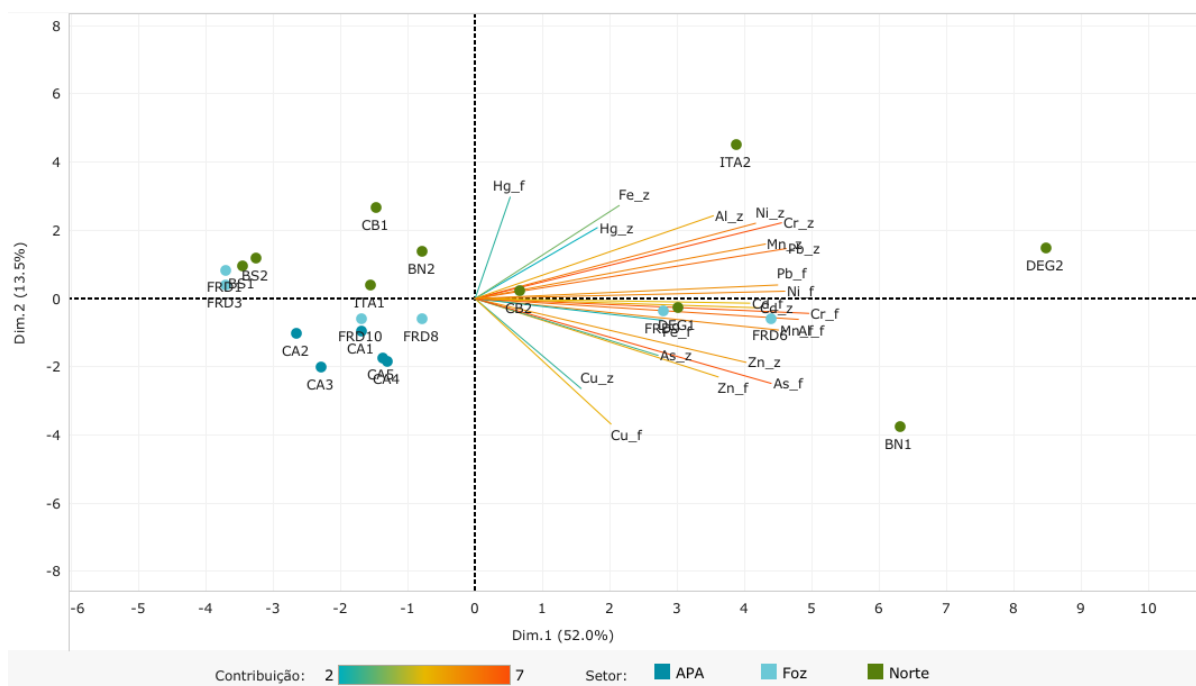
Na Figura 7, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 36,3% e por 14,5%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 50,8% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 7, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As no plâncton do Ambiente Marinho. Nota-se que grande parte dos metais estão agrupados nos quadrantes à direita da PCA. Ainda, há uma compartimentação dos metais entre os quadrantes, em que: no quadrante superior à direita estão os metais As, Mn, Fe, Al e Ni, no fitoplâncton e zooplâncton; no quadrante inferior à direita estão metais Cr, Hg, Zn, Cd, no fitoplâncton e no zooplâncton; e no quadrante superior à esquerda está o metal Pb no fitoplâncton e no zooplâncton. O Setor Foz se associa a todos os metais avaliados. O Setor Norte se relaciona com os metais do quadrante inferior à direita, além do Ni, Fe, Al no fitoplâncton e no zooplâncton, e Cu no zooplâncton. O Setor Sul se vincula ao Pb no fitoplâncton e no zooplâncton.

Figura 8: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 plâncton do Oceano [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



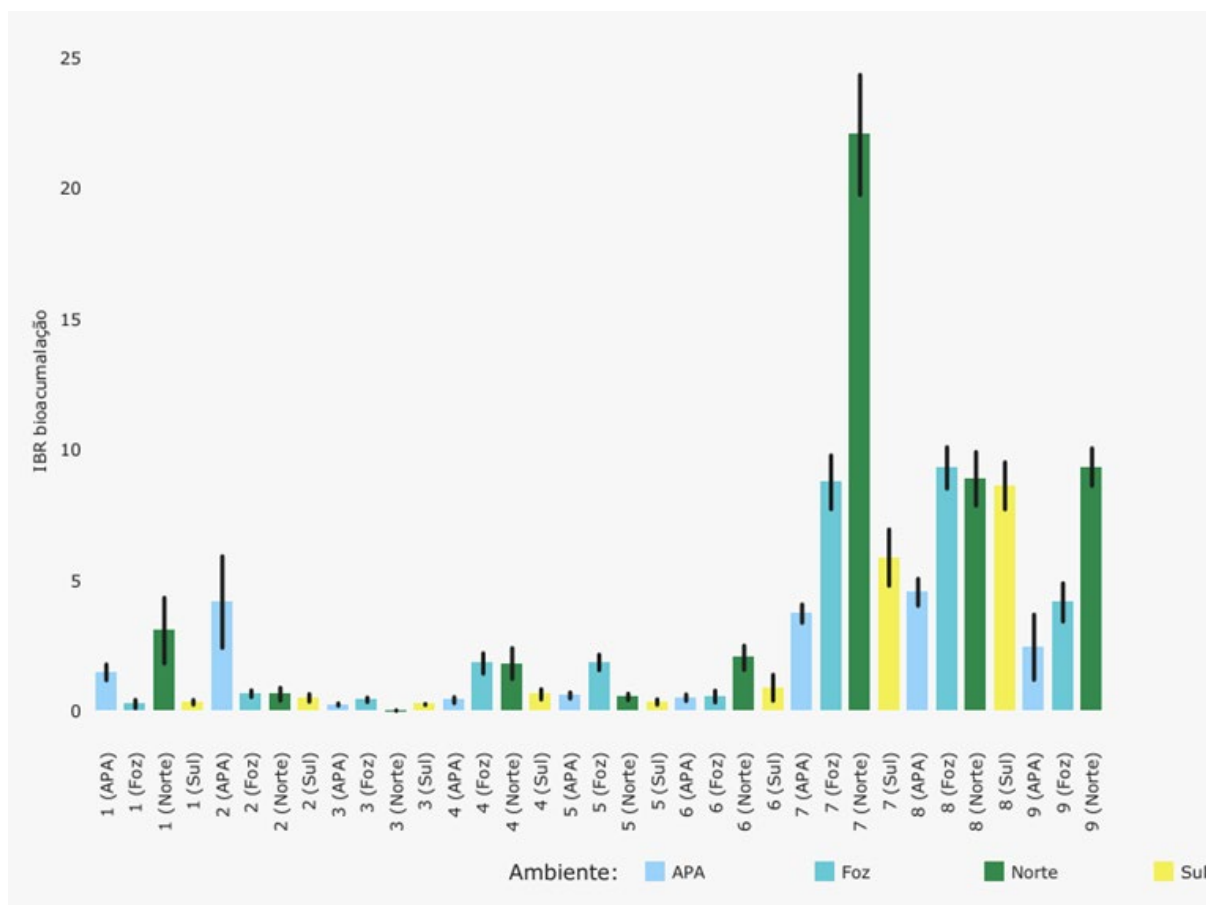
Na Figura 8, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 28,8% e por 16,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 45,1% da variabilidade total dos dados. Nota-se que há uma compartimentação dos metais, em que: no quadrante superior à direita estão os metais Cu, Zn, Cd, Pb e Cr no fitoplâncton e zooplâncton; e no quadrante inferior à direita estão os metais Al, Mn, Ni e Fe no fitoplâncton e zooplâncton. O Setor Foz está relacionado com todos os metais do quadrante superior à direita, bem como os metais Al, Ni e Hg no fitoplâncton e Al, Ni, Fe e Mn no zooplâncton. O Setor Sul se vincula aos metais Cr e As no fitoplâncton, e Pb, Cr e As no zooplâncton. O Setor APA se associa a Cd, Zn, Cu, Pb e Hg no fitoplâncton, e Cd, Zn e Cu zooplâncton. Já, o Setor Norte se relaciona com todos os metais do quadrante inferior à direita e ao metal As no fitoplâncton.

Figura 9: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 plâncton do Oceano [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 1 (CB1), Conceição da Barra 2 (CB2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]



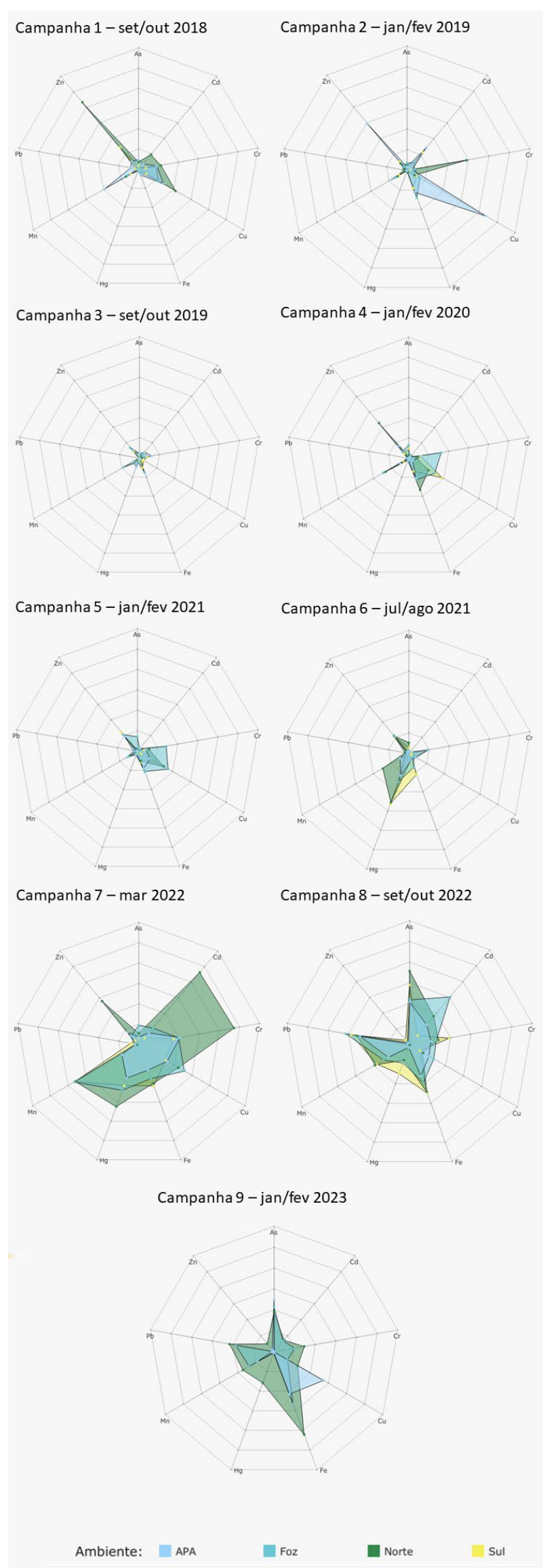
Na Figura 9, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 52,2% e por 13,5%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 65,7% da variabilidade total dos dados. Verifica-se que todos os metais avaliados estão agrupados nos quadrantes à direita. Além disso, há uma seção entre os metais, em que os metais bioacumulados no zooplâncton estão, preferencialmente, agrupados no quadrante superior à direita, enquanto os bioacumulados no fitoplâncton estão, preferencialmente, no quadrante inferior à direita. O Setor Norte demonstra associar-se a todos os metais analisados. O Setor Foz denota uma relação com os metais bioacumulados principalmente no fitoplâncton (Pb, Ni, Cd, Cr, Al, Mn e Fe), apresentando apenas uma relação com um metal bioacumulado no zooplâncton (Cd). O Setor APA não apresenta associação com os metais avaliados, segundo a PCA.

Figura 10: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de plâncton do Oceano (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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; **Foz** [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



O gráfico de barras dos valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos de bioacumulação dos metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. O IBR bioacumulação integra diferentes respostas biológicas e origina um indicativo/valor sintético e holístico do estado de “saúde” dos organismos analisados. De maneira global, na Figura 10, os valores do índice em todos os Setores se mantêm com valores menores e de maneira mais estável da Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) à Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco). Contudo, a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) há um aumento significativo nos resultados do IBR bioacumulação em todos os Setores.

Figura 11: Gráficos de radar obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de plâncton do Oceano (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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1 – a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



Os gráficos de radar, na Figura 11, obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice. O IBR bioacumulação integra diferentes respostas biológicas e origina um indicativo/valor sintético e holístico do estado de “saúde” dos organismos analisados.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o Setor Norte se destaca com os maiores valores do IBR bioacumulação, no qual os metais Zn, Mn, Hg, Fe, Cu, Cr e Cd participam da composição do índice. Em seguida, o índice no Setor Foz é composto com a contribuição majoritariamente dos metais As, Mn, Hg, Fe, Cu, Cr e Cd. Em relação ao Setor APA, os metais Mn, Hg, Fe, Cu, Cr, Cd e Zn são os mais relevantes na formação do índice. Por último, os metais Mn, Hg, Fe, Cu e Cr são os com maiores valores para a composição do IBR bioacumulação no Setor Sul. Os metais que mais importantes ao índice e que constam em todos os Setores são o, Mn, o Hg, o Fe, o Cu, o Cr e o Cd.

Observa-se que na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os padrões de contribuições dos metais ao índice nos quatro Setores mostram-se bem similares, nos quais os metais mais relevantes a composição dos IBR bioacumulação são o Pb, Mn, Hg, Fe, Cu, Cr, Cd e As (o Setor APA não tem a presença relevante de Hg; e o Setor Sul não tem a presença relevante de Cu e Cd).

Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) o índice no Setor Norte foi o maior, sendo os metais com os valores mais altos As, Pb, Mn, Hg, Fe, Cu e Cr (com destaque ao Fe). Os metais Pb, Mn, Fe, Cr e As participam da formação do resultado do IBR bioacumulação no Setor Foz. E por último, o Setor APA tem como metais mais importantes para o índice Cu, Fe, As e Mn. Desses metais citados, os que estão presentes em todos os Setores são o As, Fe e Mn.

Tabela 1: Dados PMBA/Fest, Tema Ecotoxicologia da concentração média de metais (mg.Kg-1) em amostras de zooplâncton do Oceano coletadas nos diferentes setores do ambiente marinho (Abrolhos, APA, Foz, Norte e Sul) 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), comparadas com a concentração média de metais em amostras de zooplâncton coletadas na foz do Rio Doce antes da chegada dos rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão (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 devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)]. Fonte: 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.

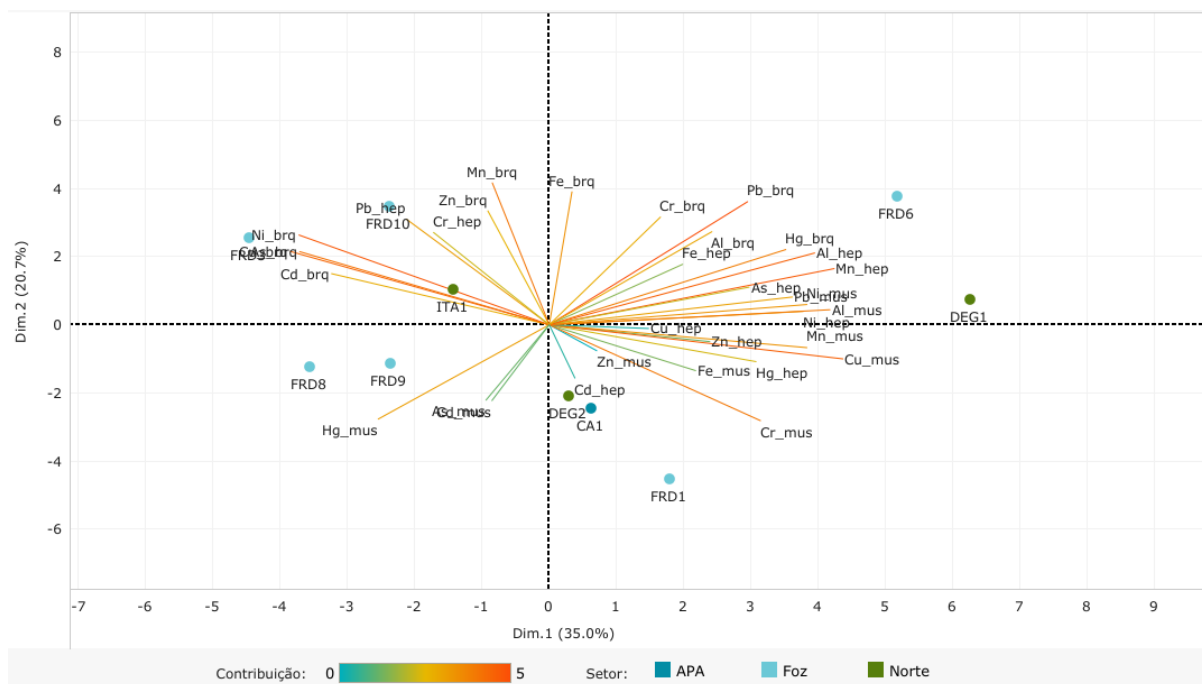
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
Dados pretéritos à chegada dos rejeitos	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do Rio Doce	Zooplâncton	0,121	0,001	0,150	0,069	15,550	6,684	0,005
Dados PMBA - Fest	Campanha 1 (set/out 2018)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,029	0,300	0,141	0,284	24,060	0,846	0,035
		Barra Nova (BN)		0,271	3,181	1,761	6,326	16,732	10,371	0,168
		Costa das Algas (CA)		0,278	0,183	0,921	2,325	68,656	17,179	2,365
		Degredo (DEG)		0,224	0,100	0,163	1,256	7,925	1,311	0,041
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,041	0,066	0,665	2,094	44,070	2,837	0,081
		Guarapari (GUA)		0,061	0,080	0,415	0,550	3,051	2,241	0,616
		Itaúnas (ITA)		0,139	0,317	0,810	1,296	5,127	2,334	0,172
		Vitória (VIX)		0,095	0,121	0,493	0,874	94,526	4,156	0,741
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,028	0,026	0,138	0,283	20,366	1,968	0,171
		Barra Nova (BN)		0,201	0,014	4,749	0,155	46,362	9,556	0,806
		Costa das Algas (CA)		0,086	1,340	0,209	1,661	176,630	2,848	0,005

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
		Degredo (DEG)		0,142	0,014	1,678	1,452	11,819	1,658	0,444
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,245	0,548	0,316	0,637	220,278	2,934	0,026
		Guarapari (GUA)		0,009	1,092	0,051	0,216	56,573	1,249	0,012
		Itaúnas (ITA)		0,024	0,078	0,088	0,144	8,651	1,106	0,016
		Vitória (VIX)		0,005	1,285	0,100	0,579	49,525	0,938	0,005
	Campanha 3 (set/out 2019)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,167	0,176	0,115	0,054	26,612	0,837	0,095
		Barra Nova (BN)		0,090	0,118	0,085	0,068	20,426	1,173	0,026
		Costa das Algas (CA)		0,098	0,409	0,374	0,051	13,086	1,462	0,008
		Degredo (DEG)		0,246	0,359	0,197	0,050	12,103	3,013	0,022
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,122	0,323	0,296	0,173	220,738	5,090	0,013
		Guarapari (GUA)		0,036	0,455	0,066	0,214	39,189	0,580	0,016
		Itaúnas (ITA)		0,083	0,039	0,034	0,051	6,574	0,490	0,018
		Vitória (VIX)		0,155	0,402	0,185	0,069	37,827	1,244	0,012
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,535	0,106	0,447	2,650	3,203	4,167	0,231
		Barra Nova (BN)		0,043	0,117	0,184	0,235	288,067	10,765	0,089
		Costa das Algas (CA)		0,017	0,137	0,429	0,404	153,356	1,762	0,103
		Degredo (DEG)		0,075	0,134	0,095	2,164	243,702	4,501	0,018
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,180	0,058	1,179	1,216	182,275	2,911	0,097
		Guarapari (GUA)		0,504	0,080	0,830	1,087	90,627	1,034	0,158
		Itaúnas (ITA)		0,013	0,293	0,864	1,008	326,764	4,460	0,245
		Vitória (VIX)		0,042	0,013	0,093	0,378	137,760	1,729	0,063
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,044	0,069	0,077	0,721	69,851	4,019	0,075
		Barra Nova (BN)		0,018	0,224	0,043	0,552	185,540	3,425	0,302
		Costa das Algas (CA)		0,051	0,231	0,316	1,174	204,394	3,838	0,210
		Degredo (DEG)		0,296	0,260	0,989	8,064	293,725	6,705	0,255
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,586	0,119	1,231	2,164	134,536	1,673	0,527

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
		Guarapari (GUA)		0,054	0,060	0,047	0,168	140,564	1,907	0,071
		Itaúnas (ITA)		0,024	0,066	0,352	0,289	36,588	1,345	0,017
		Vitória (VIX)		0,014	0,198	0,671	0,237	42,346	3,304	0,047
	Campanha 6 (set/out 2021)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,613	0,052	0,144	0,569	86,866	0,913	0,247
		Barra Nova (BN)		0,092	0,047	0,290	0,331	17,388	0,315	0,326
		Costa das Algas (CA)		0,090	0,077	0,634	0,458	69,929	2,194	0,193
		Degredo (DEG)		0,293	0,013	0,794	0,706	2,226	12,602	0,724
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,040	0,006	0,161	0,375	119,676	0,926	0,159
		Guarapari (GUA)		0,161	0,025	0,011	0,061	182,007	0,053	0,022
		Itaúnas (ITA)		0,131	0,114	0,299	0,331	51,971	0,327	0,324
		Vitória (VIX)		0,117	0,047	0,308	0,364	248,565	0,339	0,338
	Campanha 7 (mar 2022)	Barra Nova (BN)	Zooplâncton	0,653	4,728	3,595	1,855	476,295	34,313	0,050
		Costa das Algas (CA)		0,201	0,919	1,281	1,705	221,412	3,838	0,965
		Degredo (DEG)		0,186	2,623	2,380	4,123	277,956	14,872	0,621
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,482	1,115	1,609	2,144	422,015	7,550	0,553
		Guarapari (GUA)		0,216	0,158	2,347	0,829	258,444	38,694	1,991
		Itaúnas (ITA)		0,108	2,233	4,095	1,899	545,633	7,524	0,032
		Vitória (VIX)		0,193	0,734	1,545	2,470	784,076	21,698	2,639
	Campanha 8 (set/out 2022)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	8,021	0,425	0,444	2,874	239,173	4,220	4,073
		Barra Nova (BN)		2,574	4,125	0,520	1,194	211,628	3,181	4,217
		Costa das Algas (CA)		0,933	1,484	1,019	1,326	274,843	5,741	11,616
		Degredo (DEG)		1,485	1,249	1,558	0,969	869,820	19,069	10,549
		Foz do Rio Doce (FRD)		1,199	3,227	1,038	1,826	371,680	7,565	13,874
		Guarapari (GUA)		1,102	0,338	0,862	0,562	412,538	7,887	5,359
		Itaúnas (ITA)		1,276	1,360	0,642	0,770	160,472	2,849	6,310
		Vitória (VIX)		2,047	0,833	2,706	0,989	452,366	8,497	19,007

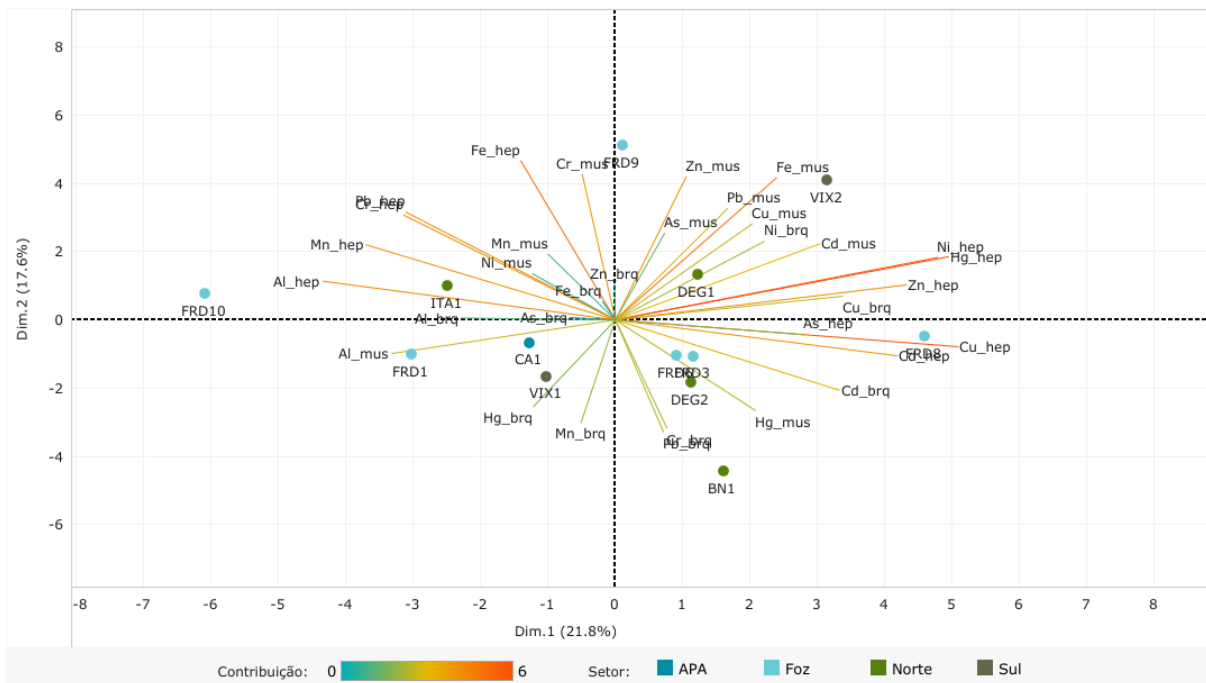
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	1,155	0,507	0,788	1,851	678,338	7,786	6,314
		Barra Nova (BN)		0,928	0,878	0,728	0,955	578,033	3,724	6,558
		Barra Seca (BS)		0,005	0,004	0,004	0,050	1108,824	0,050	0,005
		Conceição da Barra (CB)		0,968	1,020	0,908	1,257	325,385	3,697	10,130
		Costa das Algas (CA)		1,406	0,011	0,021	3,418	439,259	5,301	0,097
		Degredo (DEG)		1,867	1,299	2,434	2,002	1048,254	23,020	19,289
		Foz do Rio Doce (FRD)		1,309	0,777	0,947	1,057	534,122	8,766	8,645
		Itaúnas (ITA)		1,350	0,569	1,316	0,656	618,849	10,254	10,224

Figura 12: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_hep) e de músculo (_mus) de camarões coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)].



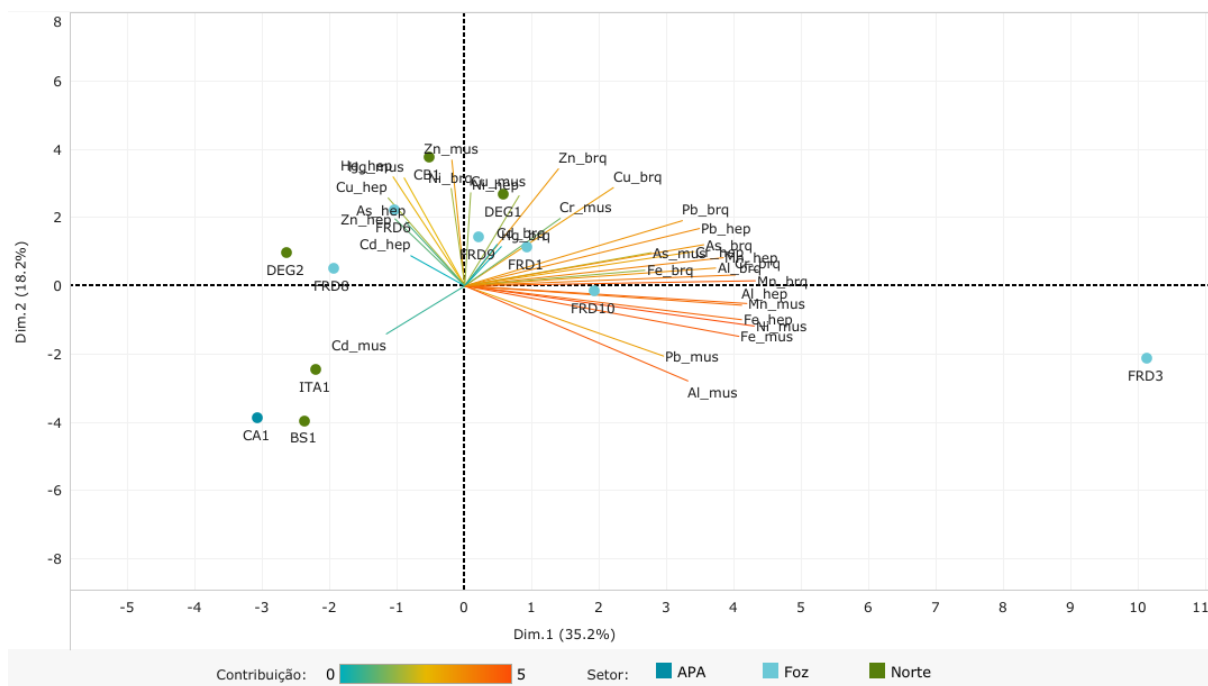
Na Figura 12, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 35,0% e por 20,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos camarões do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 55,7% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 12 auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As nos camarões do Ambiente Marinho. Observa-se que os metais bioacumulados nas brânquias são os que mais contribuem para a PCA. Além disso, os metais nas brânquias estão concentrados nos dois quadrantes superiores, fazendo das brânquias o tecido mais degradado pelos metais. Por outro lado, os metais bioacumulados nos músculos tendem a se agrupar nos quadrantes inferiores. Já os metais no hepatopâncreas se concentram nos quadrantes à direita. O Setor Foz se associa a todos os metais analisados. O Setor Norte está associado aos metais: Pb, Ni, Al, Mn e Cu no músculo; Ni, As, Cu e Cd nas brânquias; e As, Mn, As, Zn, Cd e Ni no hepatopâncreas. A estação CA1 do Setor APA está vinculada com o Cd no hepatopâncreas, o qual apresenta baixa importância para a PCA.

Figura 13: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_hep) e de músculo (_mus) de camarões coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



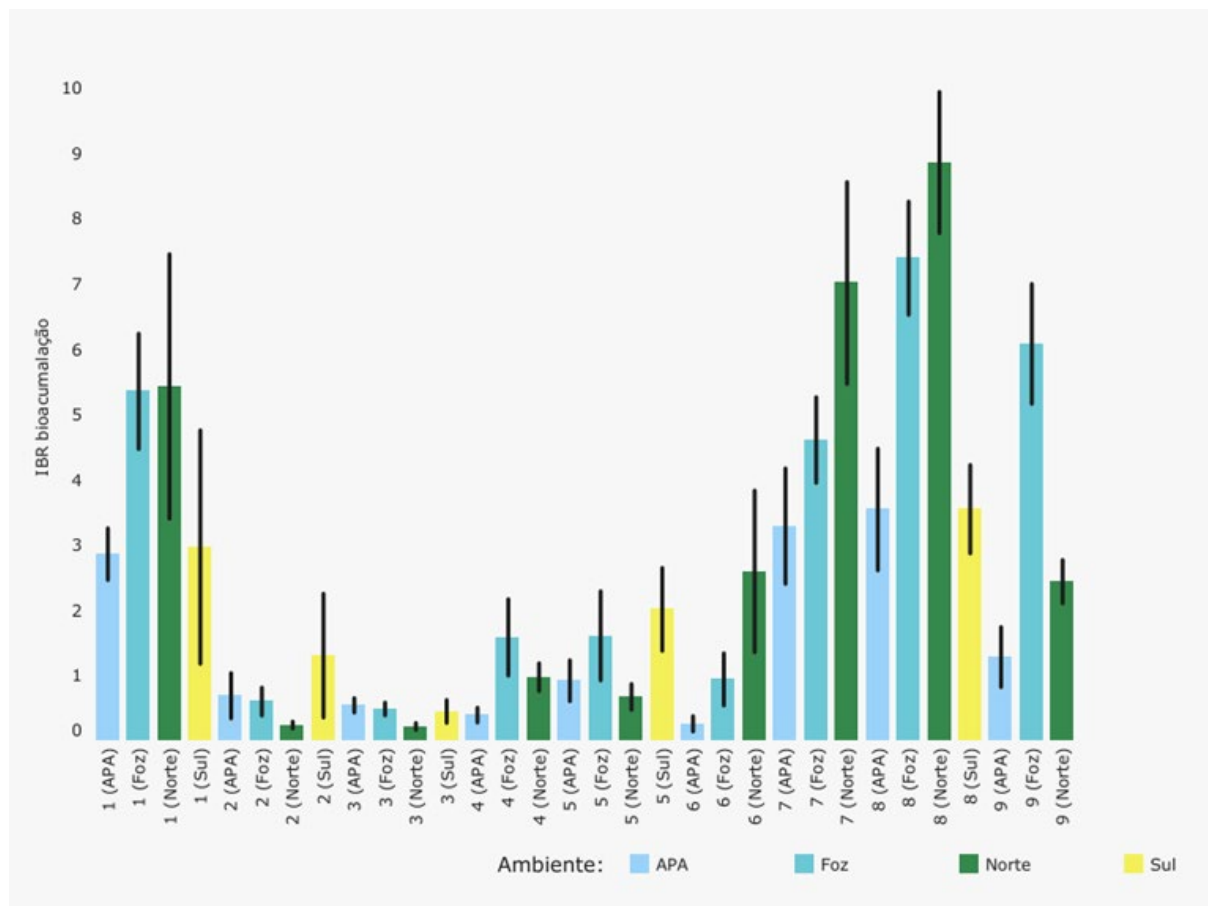
Na Figura 13, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 21,8% e por 17,6%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos camarões do Ambiente Marinho durante Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 39,4% da variabilidade total dos dados. É possível observar que os metais que mais contribuem para a PCA estão agrupados nos quadrantes superiores e bioacumulados no hepatopâncreas. O Setor Foz se mostra mais associado aos metais dos quadrantes superiores, onde o torna um Setor com a maior bioacumulação de metais no hepatopâncreas e no músculo. O Setor Norte apresenta uma associação com os metais: Cu, Cd e Hg no músculo; Ni, Cr, Pb, Al e As nas brânquias; e Al e Mn no hepatopâncreas. O Setor Sul se vincula com os metais: Zn, Fe, As, Pb, Cu e Cd no músculo; e Ni, Hg e Mn nas brânquias.

Figura 14: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_hep) e de músculo (_mus) de camarões coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Seca 1 (BS1), Conceição da Barra 1 (CB1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)].



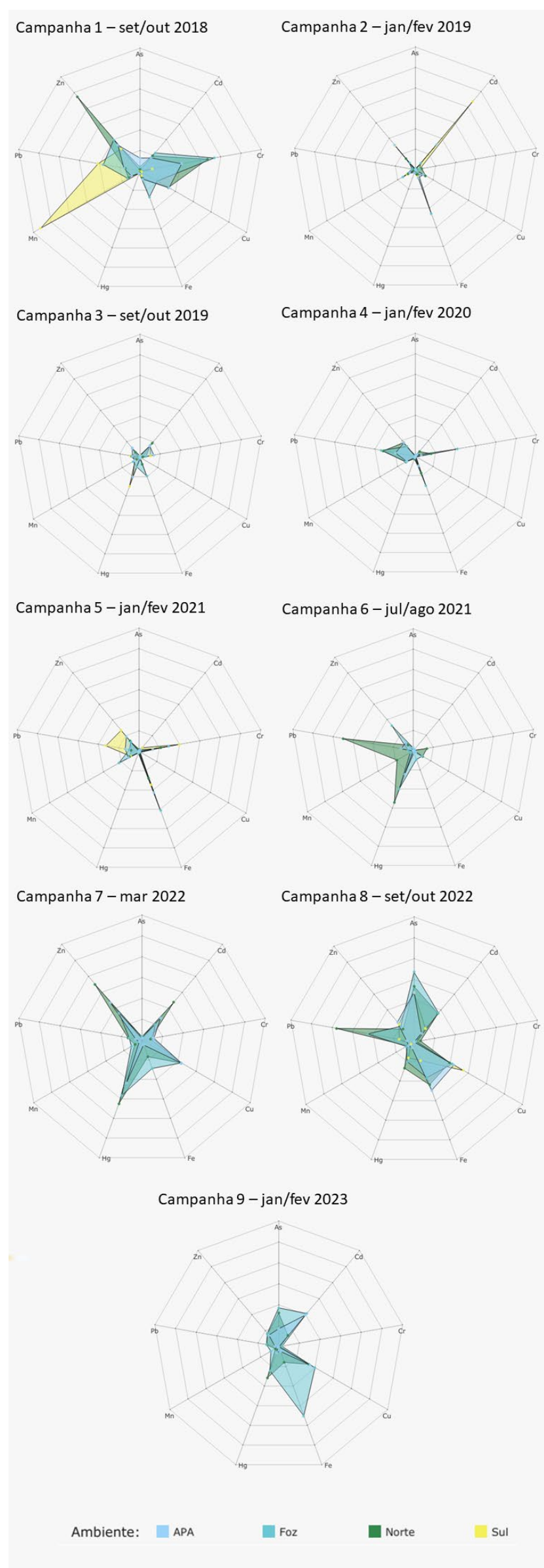
Na Figura 14, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 35,2% e por 18,2%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos camarões do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 53,4% da variabilidade total dos dados. Observa-se que grande parte dos metais avaliados nos tecidos e os que mais contribuem para a PCA estão agrupados nos dois quadrantes à direita. O Setor Foz apresenta uma forte associação com todos os metais agrupados no quadrante superior à esquerda, com todos os metais no quadrante inferior à direita, bem como alguns metais agrupados no quadrante superior à direita, os quais são: As no músculo; Pb, Cr e Mn no hepatopâncreas; e Pb, As, Al, Fe, Cr e Mn nas brânquias. O Setor Norte se encontra vinculado aos metais agrupados nos quadrantes da esquerda, bem como alguns metais agrupados no quadrante superior à direita, os quais são: Cu e Cr no músculo; Ni no hepatopâncreas; e Zn, Cu, Hg e Cd nas brânquias. A estação CA1 do Setor APA não demonstra associação aos metais avaliados, segundo a PCA.

Figura 15: Valores 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



O gráfico de barras dos valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos de bioacumulação dos metais e As nos camarões do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR bioacumulação na Figura 15, seus valores manifestam uma tendência cíclica e sazonal com um período de resultados mais altos em todos os Setores, com picos de valores nos Setores Foz e Norte (Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco)), seguido por um período com valores menores do índice em todos os Setores e com os valores maiores no Setor Sul e Foz (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) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso)).

Figura 16: Gráficos de radar obtidos a partir 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



Os gráficos de radar, na Figura 16, obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e As nos camarões do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice.

Em relação a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), os padrões de contribuições dos metais para o índice de IBR bioacumulação seguem uma similaridade nos três Setores avaliados, sendo os metais com maiores valores o Zn, o Cd, o Hg e o Cu. Ainda no Setor Foz há a participação do valor do Fe para a composição do índice.

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os padrões de contribuição dos metais para o Setor Norte e Foz são bem parecidos, sendo os metais Pb, Hg, Fe, Cu, Cd e As os mais importantes. Ainda no Setor Foz há a contribuição relevante do metal Zn. Da mesma forma, os padrões dos metais com maiores valores para o índice são similares entre o Setor Sul (As, Zn, Hg, Fe, Cu e Cd) e o Setor APA (As, Zn, Fe e Cu)

Já a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) tem o Setor APA com os maiores valores de contribuição para o IBR bioacumulação, sendo os metais mais importantes o Fe, o Cu, o Cd, o As e o Hg. O Setor Norte apresenta na composição do seu índice os metais As, Hg e Cu com as maiores contribuições. Por último, os metais As, Cd e Cu são os com maior importância na formação do índice do Setor APA

Tabela 2: Dados PMBA/Fest, Tema Ecotoxicologia da concentração média de metais (mg.Kg-1) no músculo de camarões coletados nos diferentes setores do ambiente marinho (Abrolhos, APA, Foz, Norte e Sul) 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), comparadas com a concentração média de metais no músculo de camarões coletados na região costeira capixaba entre dez 2015 a fev 2016 (Relatório Técnico - RT EcoConservation 065/16). 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. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)]. Fonte: EcoConservation. Relatório Técnico - RT ECV 065/16.

Monitoramento de bioacumulação (ictiofauna, carcinofauna e malacofauna) por metais, na região marinha adjacente à foz do Rio Doce e sob possível influência da lama de rejeitos oriunda do rompimento da barragem de Fundão.

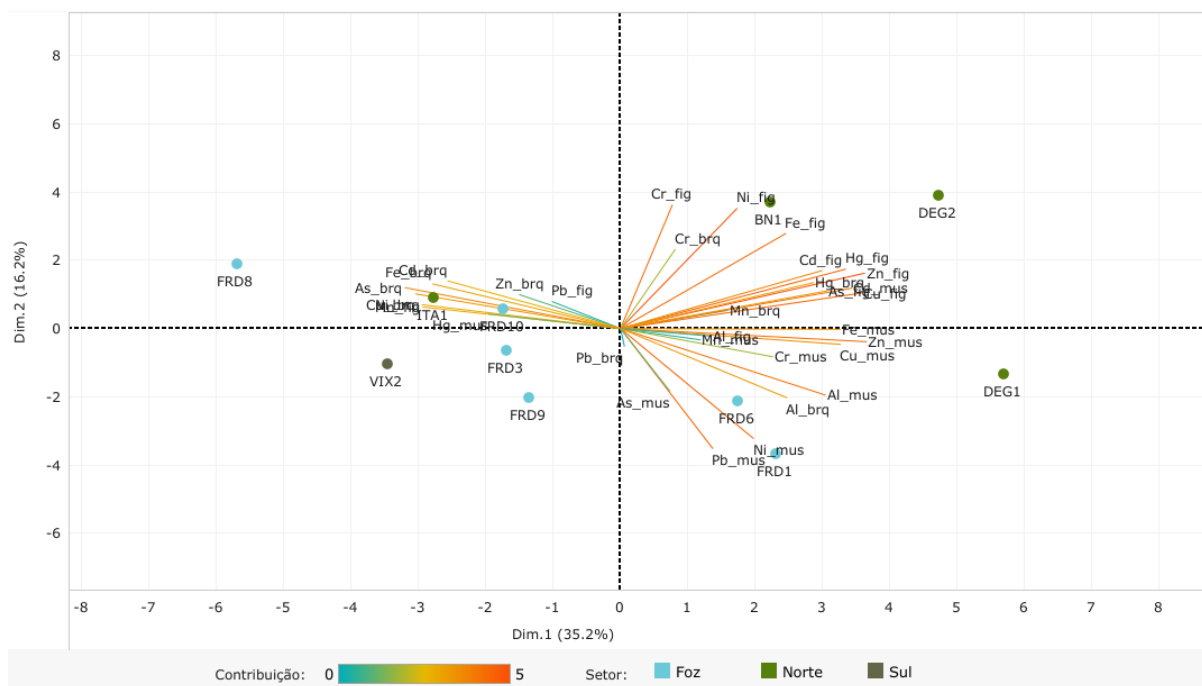
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i> (camarão-sete-barbas)	4,630	0,007	0,029	2,680	15,510	0,590	0,019
		Barra do Riacho (Aracruz)		7,710	0,005	0,059	3,810	31,940	0,650	0,059
		Regência (águas costeiras)		8,860	0,006	0,060	4,450	36,370	0,740	0,020
		Barra Seca (São Mateus)		8,900	0,004	0,065	4,630	28,750	0,790	0,018
		Barra Nova (São Mateus)		8,690	0,004	0,055	3,880	28,080	0,970	0,019
		Média		7,758	0,005	0,054	3,890	28,130	0,748	0,027
Dados PMBA/Fest, Tema Ecotoxicologia	Campanha 1 (set/out 2018)	Barra Nova (BN)	<i>Camarões</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		1,169	0,053	1,854	6,044	6,710	0,571	0,028
		Degredo (DEG)		0,136	0,610	0,104	2,667	4,276	0,754	0,128
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,373	0,071	1,450	4,250	7,275	0,743	0,015
		Guarapari (GUA)		0,147	0,097	0,085	1,774	6,041	0,449	0,040
		Itaúnas (ITA)		0,006	0,969	0,482	1,101	3,461	2,064	0,014
		Vitória (VIX)		0,390	0,046	2,648	1,704	7,188	5,461	0,312
		Barra Nova (BN)	<i>Camarões</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Costa das Algas (CA)		0,026	0,786	0,053	8,008	4,459	0,746	0,005
		Degredo (DEG)		0,054	0,034	0,526	5,926	2,932	0,866	0,011
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,182	0,189	0,104	0,829	75,777	0,964	0,022
		Guarapari (GUA)		0,005	1,787	0,046	1,346	9,985	1,313	0,005
		Itaúnas (ITA)		0,016	0,030	0,125	2,198	16,281	0,910	0,006
		Vitória (VIX)		0,006	1,232	0,146	0,684	5,882	0,743	0,005
	Campanha 3 (set/out 2019)	Barra Nova (BN)	Camarões	0,125	0,015	0,086	0,064	6,072	0,051	0,017
		Costa das Algas (CA)		0,198	0,190	0,275	0,106	1,199	0,715	0,041
		Degredo (DEG)		0,080	0,288	0,167	0,050	12,698	0,719	0,022
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,177	0,234	0,323	0,076	52,819	1,112	0,014
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,194	0,122	0,052	0,138	1,139	0,936	0,171
		Vitória (VIX)		0,072	0,086	0,029	0,051	0,618	0,584	0,018
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Barra Nova (BN)	Camarões	0,015	0,460	0,067	2,298	14,749	1,191	0,325
		Costa das Algas (CA)		0,014	0,149	0,232	0,175	5,461	0,696	0,038
		Degredo (DEG)		0,174	0,211	0,596	0,741	52,970	1,943	0,130
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,330	0,109	0,742	1,193	23,985	0,900	0,078
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,011	0,062	0,689	0,215	27,410	0,638	0,024
		Vitória (VIX)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,009	0,063	0,459	0,175	8,399	0,668	0,069
		Degredo (DEG)		1,265	0,123	1,895	4,398	186,177	4,962	0,103
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,117	0,058	0,920	1,137	168,728	5,299	0,048
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,031	0,111	0,073	0,576	48,156	3,850	0,020

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
		Vitória (VIX)		0,007	0,140	0,677	0,504	90,585	1,428	0,122
	Campanha 6 (set/out 2021)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,923	0,010	0,101	1,513	2,854	0,134	0,053
		Degredo (DEG)		0,200	0,179	0,843	20,816	2,990	1,089	0,845
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,959	0,160	0,179	26,356	31,845	1,285	0,055
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,051	0,056	0,734	1,861	4,380	0,821	0,474
		Vitória (VIX)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Campanha 7 (mar 2022)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,410	0,737	0,182	5,822	5,251	0,168	0,049
		Degredo (DEG)		0,693	6,782	0,306	159,847	28,622	1,209	0,083
		Foz do Rio Doce (FRD)		1,097	1,620	0,814	111,278	122,076	3,758	0,136
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,448	0,069	0,173	4,152	7,222	0,238	0,036
		Vitória (VIX)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Campanha 8 (set/out 2022)	Barra Nova (BN)	Camarões	8,165	0,024	0,154	1,820	0,279	0,124	0,024
		Costa das Algas (CA)		5,303	0,020	0,176	1,247	1,253	0,143	0,022
		Degredo (DEG)		12,481	3,336	0,147	61,889	126,093	0,869	0,100
		Foz do Rio Doce (FRD)		19,182	3,011	0,240	101,403	144,957	2,564	0,418
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		8,317	0,025	0,168	1,265	0,141	0,104	0,025
		Vitória (VIX)		10,010	1,886	0,146	96,758	86,096	0,970	0,121
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Barra Seca (BS)		7,349	0,024	0,195	1,662	6,309	0,106	0,024
		Conceição da Barra (CB)		9,980	0,024	0,391	2,240	6,607	0,132	0,024
		Costa das Algas (CA)		4,852	0,029	0,227	1,898	5,010	0,113	0,036

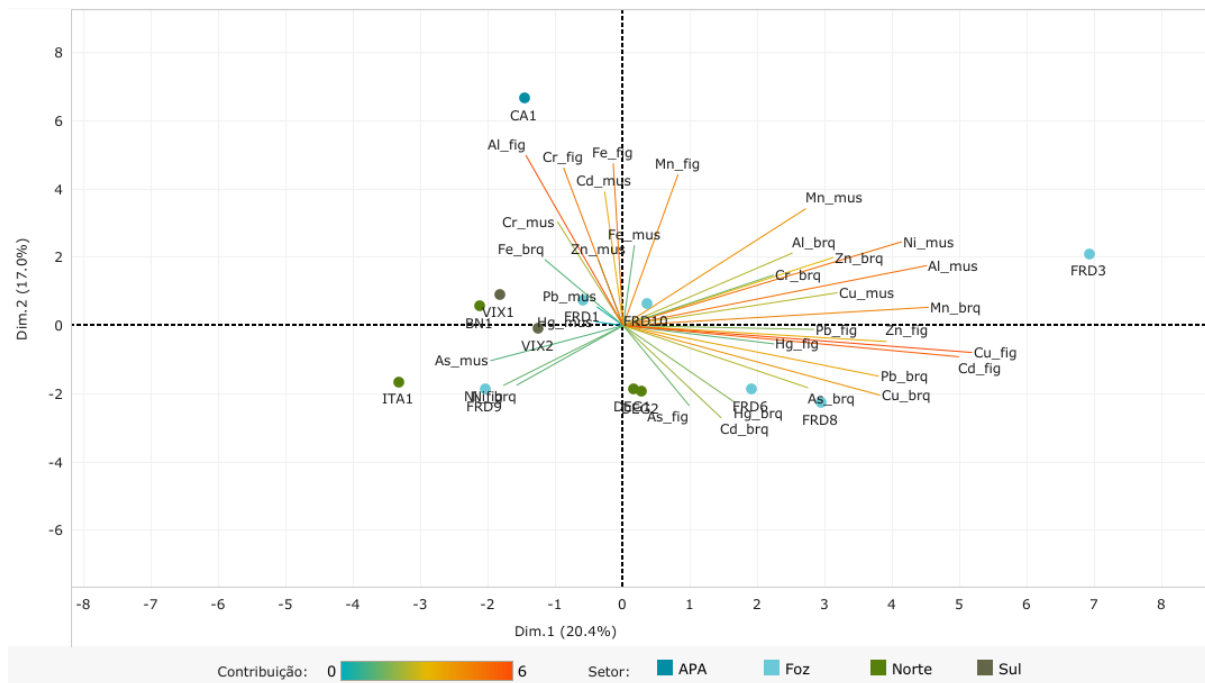
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
		Degredo (DEG)		6,646	2,259	0,134	82,984	36,300	0,616	0,086
		Foz do Rio Doce (FRD)		10,695	3,378	0,263	91,320	293,215	2,435	0,108
		Itaúnas (ITA)		8,150	0,024	0,125	0,963	4,427	0,057	0,024

Figura 17: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 brânquias (_brq), de fígado (_fig) e de músculo (_mus) de peixes onívoros coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 2 (VIX2)].



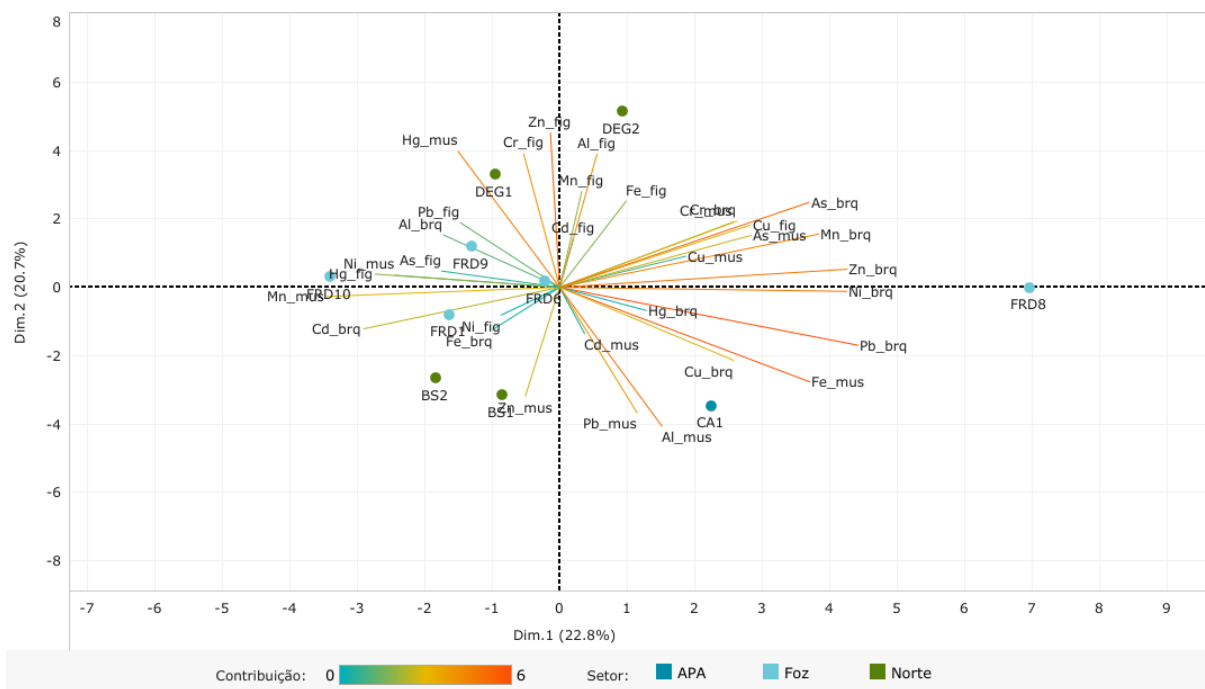
Na Figura 17, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 35,2% e por 16,2%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes onívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 51,4% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 17 também auxilia na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As nos peixes onívoros do Ambiente Marinho. É possível observar que a maior parte dos metais analisados se encontram nos quadrantes à direita. Ainda, há uma seção em relação aos tecidos avaliados, em que há um agrupamento dos metais bioacumulados: no fígado no quadrante superior à direita; no músculo no quadrante inferior à direita; e nas brânquias no quadrante superior à esquerda. O Setor Norte denota uma maior bioacumulação de metais em seus tecidos, estando associados com os metais dos dois quadrantes superiores e com alguns metais do quadrante inferior à direita (Fe, Zn, Al, Mn, Cu, Cr e Al no músculo; e Al nas brânquias e fígado). O Setor Foz se associa aos metais do quadrante superior à esquerda e alguns metais do quadrante inferior à direita (Al, Ni, Pb e As no músculo; e Al e Pb nas brânquias). O Setor Sul não se relaciona aos metais avaliados, segundo a PCA.

Figura 18: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 brânquias (_brq), de fígado (_fig) e de músculo (_mus) de peixes onívoros coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



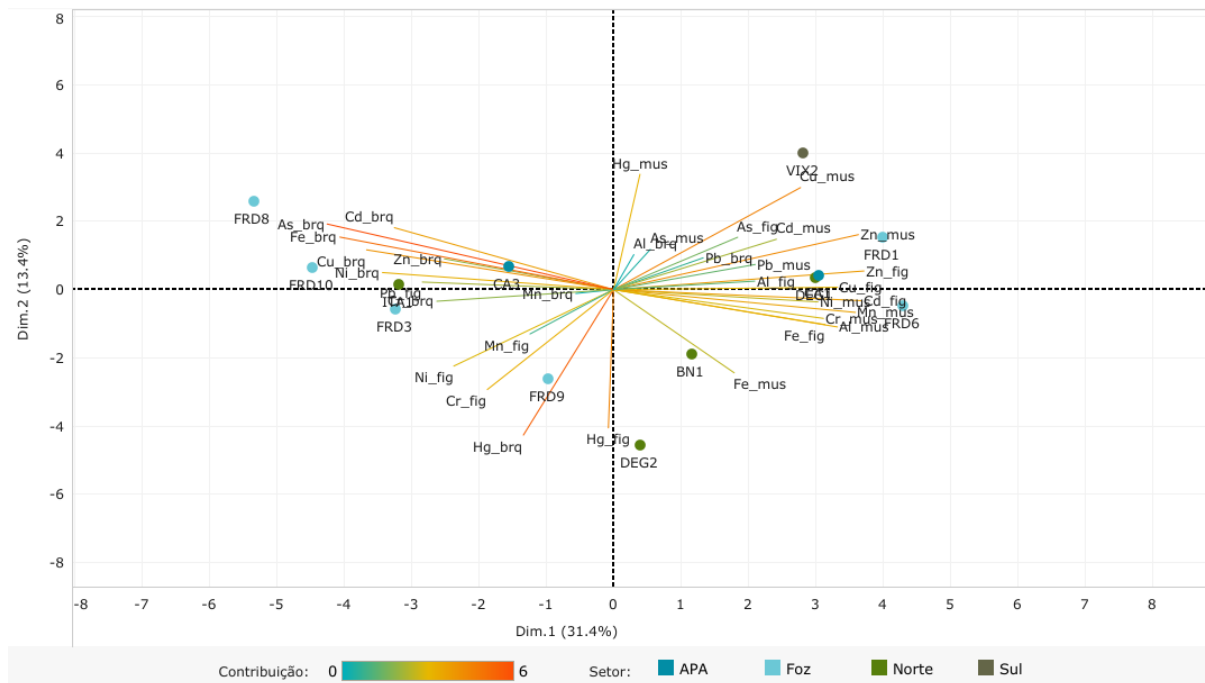
Na Figura 18, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 20,4% e por 17,0%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes onívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 37,4% da variabilidade total dos dados. Nota-se que os metais bioacumulados no fígado demonstram ser os mais importantes para a PCA. O Setor Foz se associa preferencialmente aos metais no músculo (quadrante superior à direita) e nas brânquias (quadrantes inferiores), com exceção dos metais Zn, Cu e Cd no fígado (estes três metais apresentam uma forte contribuição para a PCA). A estação CA1 do Setor APA apresenta uma associação com os metais, relevantes para a PCA, no fígado e no músculo (Al, Cr, Fe, Mn no fígado; Cd e Cr no músculo). Em contraste, o Setor Sul está agrupado próximo ao eixo zero da Dim.2 e se relaciona com metais menos relevantes a PCA (Fe nas brânquias; e Hg, Pb, As no músculo). Da mesma forma, o Setor Norte (agrupados mais aos quadrantes inferiores) se vincula a metais menos importantes para a PCA (Hg e Pb e As no músculo; Ni, As e Al no fígado; e Ni e Cd nas brânquias).

Figura 19: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 brânquias (_brq), de fígado (_fig) e de músculo (_mus) de peixes onívoros coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Degredo 1 (DEG1) e Degredo 2 (DEG2)].



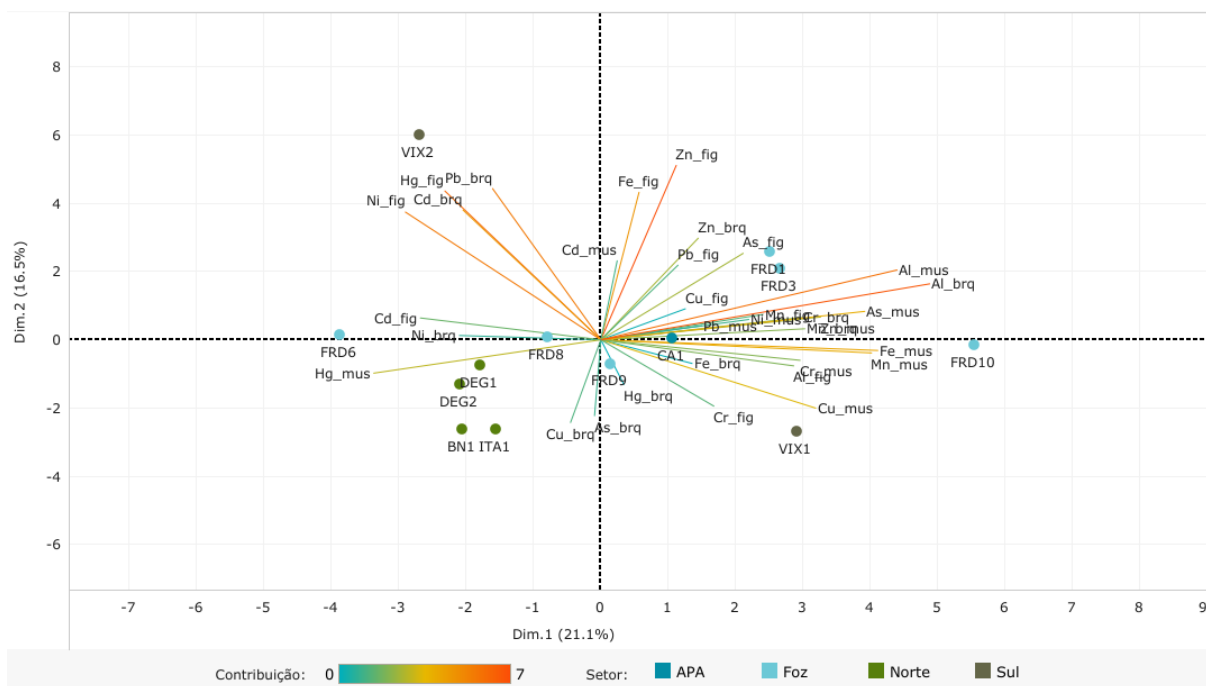
Na Figura 19, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 22,8% e por 20,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes onívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 43,5% da variabilidade total dos dados. Segundo a PCA, os metais que mais contribuem para a análise PCA estão agrupados nos quadrantes à direita, os quais estão predominantemente bioacumulados nas brânquias. Além disso, o Setor Foz se associa com os seguintes metais mais importantes para a PCA: Cr, As, Mn, Zn, Ni, Pb, Cu e Cd nas brânquias, Cr, As, Fe e Mn no músculo; e Cu no fígado. O Setor Norte se relaciona com os metais, que são relevantes, Cr, Zn e Al no fígado, e Hg e Zn no músculo. Por último a estação CA1 do Setor APA demonstra se vincular com os metais, que contribuem para a PCA, Pb, Al e Fe no músculo e Cu nas brânquias. No Setor Foz, a estação FRD8 se mostra a mais degradada pelos metais, do mesmo modo que as estações DEG1 e DEG2 do Setor Norte.

Figura 20: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 brânquias (_brq), de fígado (_fig) e de músculo (_mus) de peixes carnívoros coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1) e Costa das Algas 3 (CA3)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 2 (VIX2)].



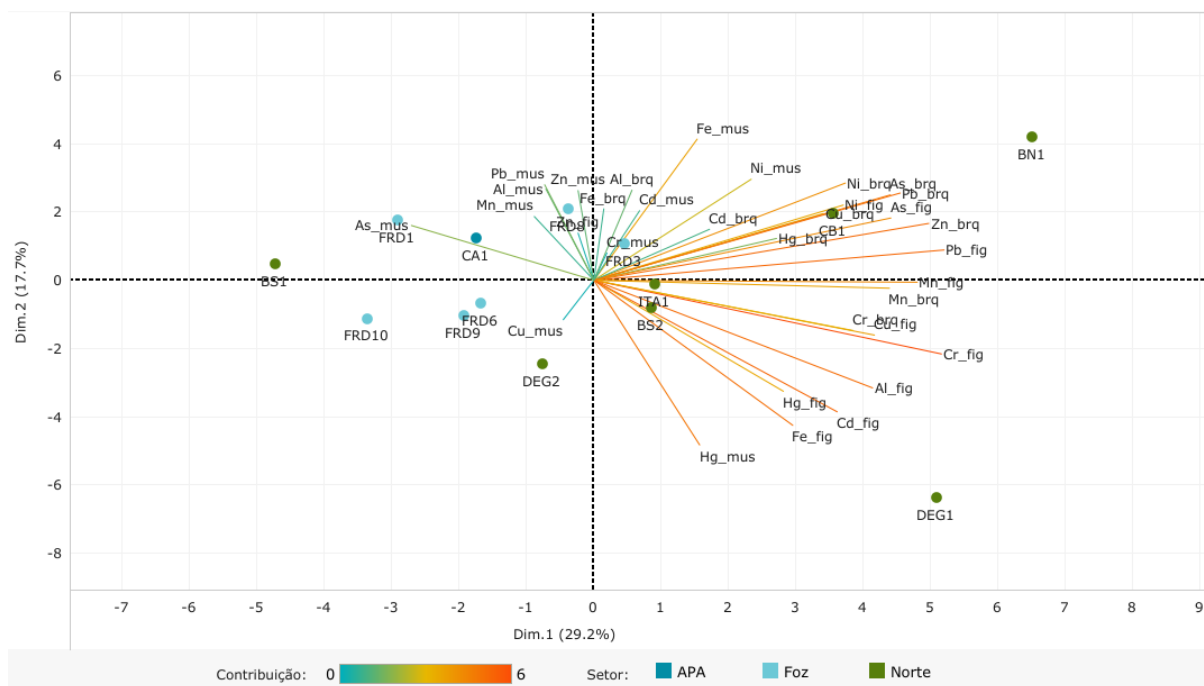
Na Figura 20, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 31,4% e por 13,4%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes carnívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos os dois componentes explicam 44,8% da variabilidade total dos dados. Observa-se que há uma compartimentação em relação aos tecidos em que os metais se bioacumulam, sendo que os metais nas brânquias se encontram mais agrupados nos quadrantes da esquerda, os no músculo estão nos quadrantes à direita, e os no fígado nos quadrantes inferiores e também nos quadrantes à direita. Ainda, há uma tendência dos metais bioacumulados nas brânquias serem os que mais contribuem para a PCA, seguido dos metais no músculo. O Setor Foz se associa, preferencialmente, aos metais nas brânquias, entretanto o mesmo também apresenta uma considerável bioacumulação por metais no músculo (Cu, Zn, Ni, Mn, Cr e Al) e no fígado (Zn, Cu, Cd e Fe) dos peixes. O Setor Norte está associado aos metais, mais importantes para a PCA: As, Fe, Cu, Ni e Hg nas brânquias; Hg, Cd, Cu e Fe no fígado; e Fe, Al, Cr, Mn, Ni e Zn no músculo. E por fim a estação VIX2 do Setor Sul se vincula com os metais, mais relevantes para a PCA, Hg e Cu no músculo.

Figura 21: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 brânquias (_brq), de fígado (_fig) e de músculo (_mus) de peixes carnívoros coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



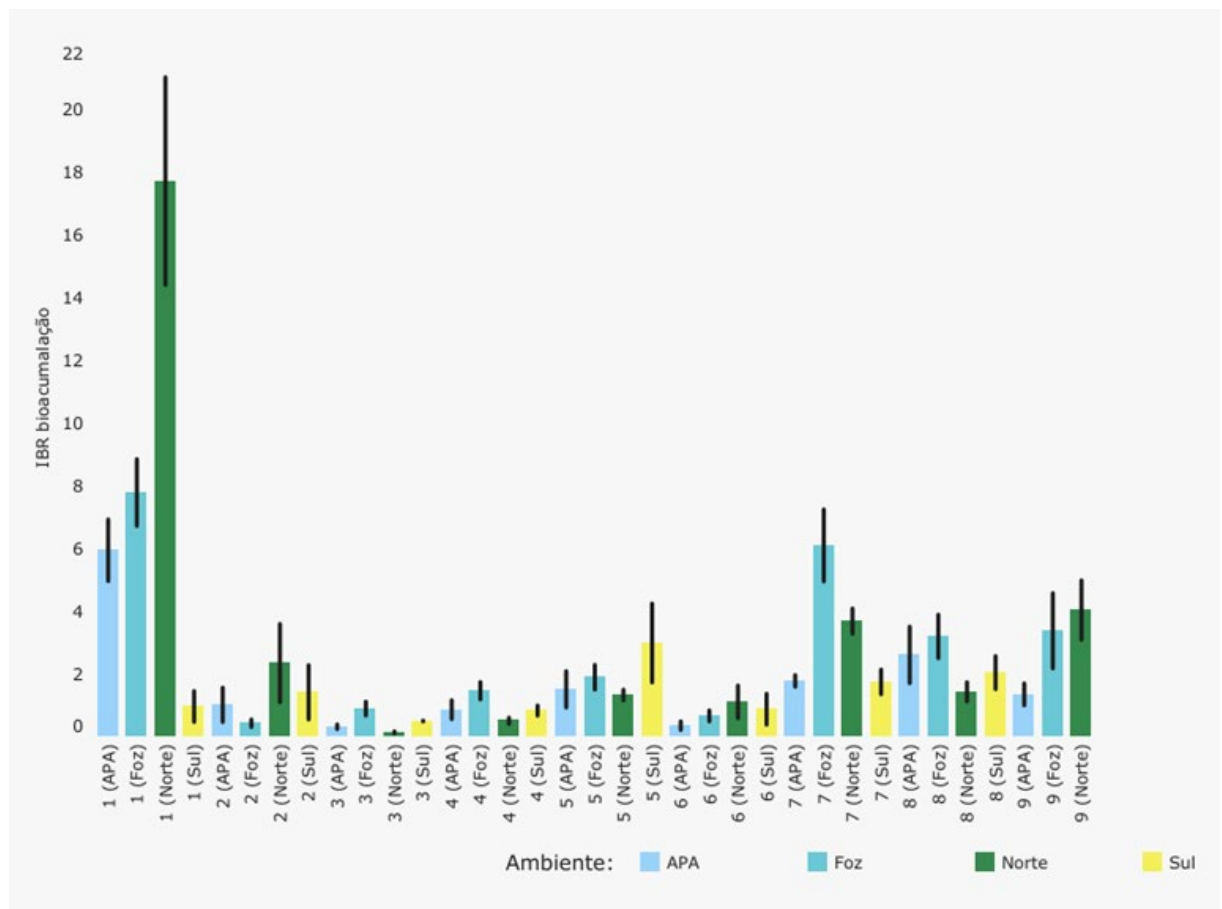
Na Figura 21, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 21,1% e por 16,5%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes carnívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos os dois componentes explicam 37,6% da variabilidade total dos dados. Poucos metais contribuem para a PCA. O Setor Sul denota se associar aos metais Hg e Ni no fígado, e Pb e Cd nas brânquias e Cu no músculo. O Setor Norte forma um agrupamento no quadrante inferior à esquerda e se associa ao metal, relevante a PCA, Hg no músculo. Já o Setor Foz tende a se associar aos metais, mais importantes para a PCA, no músculo (Hg, Al, As, Fe, Mn e Cu), com exceção do metal Al, o qual está tanto no músculo quanto na brânquia.

Figura 22: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 brânquias (_brq), de fígado (_fig) e de músculo (_mus) de peixes carnívoros coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 1 (CB1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)].



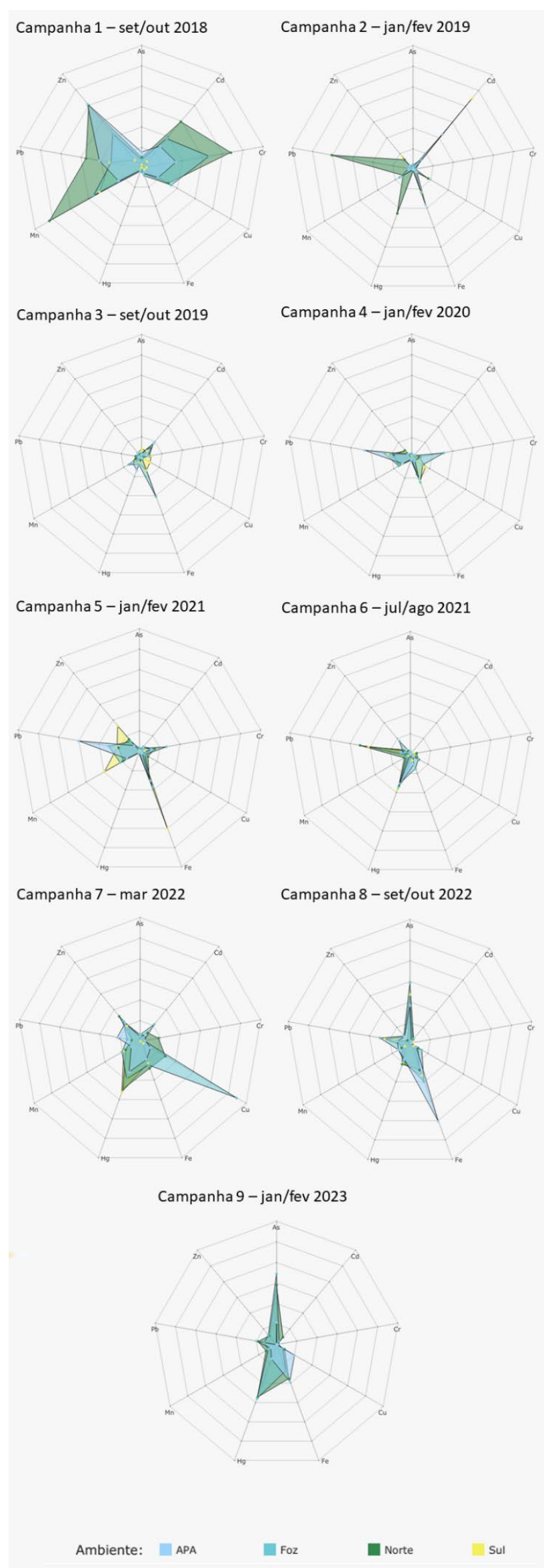
Na Figura 22, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 29,2% e por 17,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes carnívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos os dois componentes explicam 46,9% da variabilidade total dos dados. Observa-se que os metais que mais contribuem para a PCA estão concentrados nos quadrantes à direita, os quais apresentam uma preferência em se bioacumularem no fígado e nas brânquias dos peixes. Os metais no músculo que são importantes na análise são o Fe, o Hg e o Ni. Além disso, o Setor Norte se associa fortemente a estes metais dos quadrantes à direita, assim fazendo deste Setor o que apresenta maior dano aos peixes carnívoros devido ao efeito da bioacumulação dos metais. Os demais Setores não demonstram se associarem com os metais mais importantes para a PCA.

Figura 23: Valores 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



O gráfico de barras dos valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos de bioacumulação dos metais e As nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. De maneira geral, analisando o efeito temporal no IBR bioacumulação dos peixes da Figura 23, demonstra que na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) estão os valores mais altos do índice, com exceção do Setor Sul. Assim, da Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) à Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), o índice apresenta uma queda e tende a se manter mais baixo em todos os Setores. A partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) há um sutil aumento no valor do IBR bioacumulação em todos os Setores. Vale Ressaltar que, os maiores valores do índice, ao longo do monitoramento, se concentram nos Setores Foz e Norte e o menor valor no Setor Sul.

Figura 24: Gráficos de radar obtidos a partir 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1 – a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



Os gráficos de radar, na Figura 24, obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e As nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice.

Em relação a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o Setor Foz é o que apresenta o maior valor do IBR bioacumulação e os metais mais relevantes que o compõe são o Zn, Mn, Hg, Fe Cu e Cd (com destaque ao Cu que apresenta um pico em seu valor). Os elementos metálicos que mais contribuem para o Setor Norte são o Zn, o Hg, o Fe, o Cu e o Cr. Em relação ao Setor APA o Zn, o Pb, o Hg e o Fe são os metais com maiores valores na composição do seu índice. Por fim, o Setor Sul tem seu índice composto majoritariamente pelos metais Zn, Mn, Hg e Fe (com destaque a um pico no metal Hg).

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) o Setor Foz apresenta o maior valor IBR bioacumulação e os metais que mais destacam na sua formação são o As, o Pb, o Hg e o Fe. Em relação ao Setor APA os maiores valores de metais contribuintes ao índice vêm do As, Hg e Fe, com destaque ao Fe, o qual apresenta o maior valor. Os metais As, Pb, Hg e Fe são os mais importantes para a composição do índice no Setor Sul.

Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), o Setor Norte e o Setor Foz têm um padrão similar dos metais mais importantes para a composição do índice, os quais são o As, Hg e Fe. No Setor APA os metais mais relevantes são o As, o Pb, o Fe e o Cu.

Tabela 3: Dados PMBA/Fest, Tema Ecotoxicologia da concentração média de metais (mg.Kg-1) no músculo de peixes (onívoros e carnívoros) coletados nos diferentes setores do ambiente marinho (Abrolhos, APA, Foz, Norte e Sul) 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), comparadas com a concentração média de metais no músculo de peixes (onívoros e carnívoros) coletados na região costeira capixaba entre dez 2015 a fev 2016 (Relatório Técnico - RT EcoConservation 065/16). . "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. Concentrações dos metais abaixo dos dados pretéritos estão destacadas em verde enquanto concentrações acima dos valores pretéritos estão destacadas em vermelho. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1 – a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)]. Fonte: EcoConservation. Relatório Técnico - RT ECV 065/16. Monitoramento de bioacumulação (ictiofauna, carcinofauna e malacofauna) por metais, na região marinha adjacente à foz do Rio Doce e sob possível influência da lama de rejeitos oriunda do rompimento da barragem de Fundão.

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	<i>Peixes carnívoros/onívoros</i>	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
Dados PMBA/Fest, Tema Ecotoxicologia	Campanha 1 (set/out 2018)	Barra Nova (BN)	<i>Peixes carnívoros</i>	0,013	0,887	0,533	0,292	3,605	1,251	0,016
		Costa das Algas (CA)		1,003	0,191	1,992	0,390	5,016	2,395	0,176
		Degredo (DEG)		0,435	0,926	0,444	0,155	8,386	1,630	0,026
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,343	0,336	1,710	0,701	4,492	1,211	0,036
		Guarapari (GUA)		0,098	0,035	0,010	0,050	7,320	0,545	0,029
		Itaúnas (ITA)		0,057	1,818	2,830	0,312	6,520	1,756	0,110
		Vitória (VIX)		0,187	1,510	0,202	0,516	5,845	4,737	0,207

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Barra Nova (BN)	<i>Peixes carnívoros</i>	0,014	0,047	0,118	0,130	2,439	1,003	0,008
		Costa das Algas (CA)		0,049	0,856	0,095	0,106	12,602	1,017	0,020
		Degredo (DEG)		0,019	0,039	0,189	0,083	3,332	0,881	0,013
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,056	0,181	0,107	0,108	13,028	0,792	0,013
		Guarapari (GUA)		0,015	2,468	0,034	0,082	28,155	1,197	0,005
		Itaúnas (ITA)		0,007	0,035	0,065	0,075	5,470	0,676	0,006
		Vitória (VIX)		0,006	1,107	0,130	1,422	6,924	0,721	0,005
	Campanha 3 (set/out 2019)	Barra Nova (BN)	<i>Peixes carnívoros</i>	0,102	0,060	0,048	0,057	14,882	0,587	0,025
		Costa das Algas (CA)		0,112	0,220	0,352	0,053	0,385	0,734	0,038
		Degredo (DEG)		0,167	0,282	0,224	0,055	15,224	0,815	0,028
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,219	0,257	0,347	0,106	121,432	1,019	0,034
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,082	0,127	0,047	0,102	4,834	0,545	0,055
		Vitória (VIX)		0,187	0,225	0,232	0,060	0,440	0,936	0,014
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Barra Nova (BN)	<i>Peixes carnívoros</i>	0,080	0,145	0,458	2,116	13,623	2,090	0,439
		Costa das Algas (CA)		0,094	0,186	0,304	0,885	29,162	0,823	0,222
		Degredo (DEG)		0,060	0,131	0,354	1,103	6,973	0,910	0,102
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,142	0,143	1,327	2,311	43,780	1,131	0,103
		Guarapari (GUA)		0,931	0,108	1,838	1,126	11,459	0,781	0,010
		Itaúnas (ITA)		0,014	0,222	0,352	0,481	12,898	0,828	0,171
		Vitória (VIX)		0,205	0,113	0,691	0,427	41,649	1,063	0,534
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Barra Nova (BN)	<i>Peixes carnívoros</i>	0,014	0,187	0,652	0,994	65,330	1,534	0,313
		Costa das Algas (CA)		0,072	0,209	0,699	0,368	106,591	3,034	0,210
		Degredo (DEG)		0,237	0,146	0,627	1,375	69,932	1,535	0,079
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,142	0,161	1,501	1,230	69,229	1,732	0,149
		Guarapari (GUA)		0,050	0,128	0,093	0,103	901,572	3,522	0,098

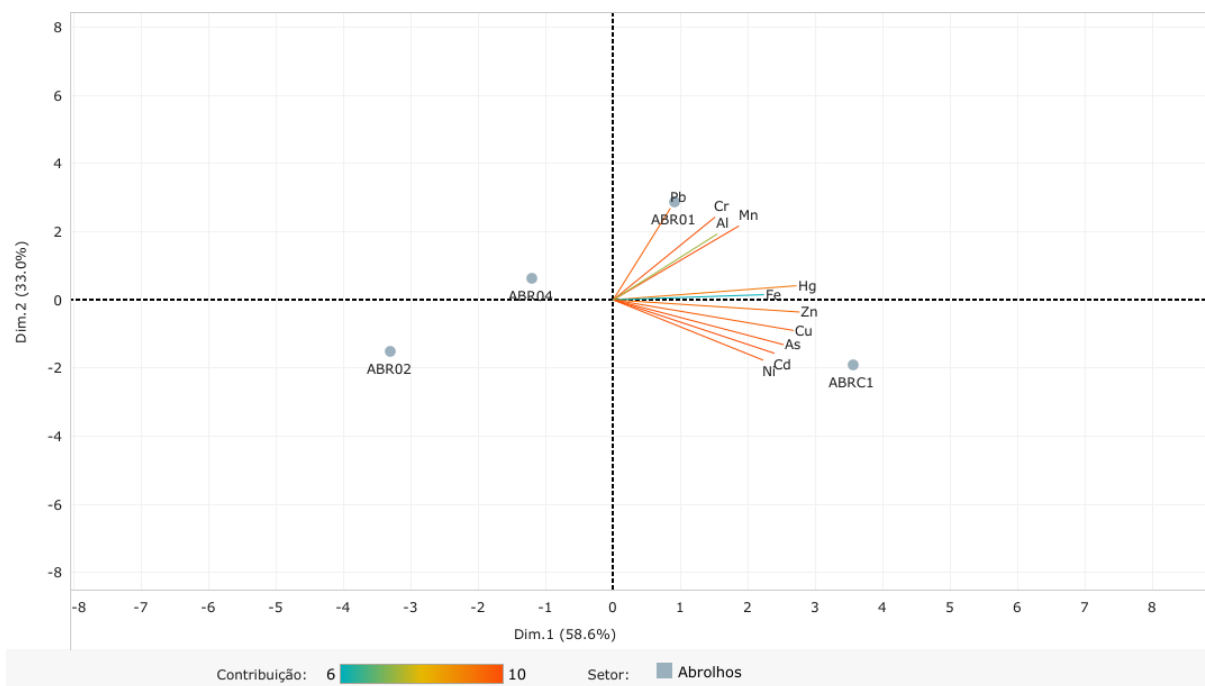
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
		Itaúnas (ITA)		0,040	0,183	0,803	1,551	95,836	2,376	0,107
		Vitória (VIX)		0,079	0,208	0,515	0,855	162,931	4,777	0,194
	Campanha 6 (jan/fev 2020)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,050	0,058	0,609	0,638	2,478	0,590	0,596
		Costa das Algas (CA)		0,321	0,082	0,070	0,484	73,665	0,549	0,100
		Degredo (DEG)		0,173	0,040	0,268	3,710	32,540	2,266	0,124
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,148	0,026	0,251	2,723	66,500	1,335	0,067
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,049	0,066	0,976	1,001	12,142	0,986	0,584
		Vitória (VIX)		0,154	0,026	0,232	0,206	2,842	0,349	0,185
	Campanha 7 (mar 2022)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,093	0,064	0,296	0,223	57,010	0,461	0,029
		Costa das Algas (CA)		0,341	0,465	0,563	1,322	93,559	1,797	0,268
		Degredo (DEG)		0,147	0,216	0,899	1,600	125,164	2,199	0,030
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,450	0,979	0,463	22,832	131,604	5,797	0,099
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,134	0,032	0,261	0,159	18,628	0,314	0,032
		Vitória (VIX)		0,059	0,053	0,135	0,658	41,545	0,583	0,038
	Campanha 8 (set/out 2022)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	1,157	0,025	0,104	0,083	3,949	0,129	0,025
		Costa das Algas (CA)		1,792	0,023	0,211	0,103	7,894	0,789	0,030
		Degredo (DEG)		2,239	0,606	0,238	2,032	70,447	1,228	0,095
		Foz do Rio Doce (FRD)		4,479	0,223	0,119	3,237	227,401	2,724	0,152
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		2,224	0,025	0,145	0,101	0,272	0,190	0,025
		Vitória (VIX)		3,327	0,285	0,179	0,967	231,929	1,057	0,310
		Barra Nova (BN)		3,344	0,025	0,183	0,061	5,485	0,099	0,035
		Barra Seca (BS)	Peixes carnívoros	6,302	0,155	0,128	1,627	90,486	2,632	0,090

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
Dados PMBA/Fest, Tema Ecotoxicologia	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Conceição da Barra (CB)		3,367	0,025	0,333	0,152	6,723	0,161	0,024
		Costa das Algas (CA)		1,986	0,025	0,183	0,046	5,263	0,078	0,040
		Degredo (DEG)		2,463	0,292	0,226	1,464	107,259	1,427	0,042
		Foz do Rio Doce (FRD)		2,910	0,157	0,125	1,621	110,484	1,519	0,073
		Itaúnas (ITA)		1,665	0,025	0,107	0,058	4,420	0,095	0,029
	Campanha 1 (set/out 2018)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,024	1,050	0,154	0,967	7,808	2,216	0,026
		Costa das Algas (CA)		0,743	0,072	2,944	0,667	3,104	0,701	0,020
		Degredo (DEG)		1,997	1,075	0,516	0,184	4,831	6,168	0,023
		Foz do Rio Doce (FRD)		1,169	0,185	2,799	1,153	5,571	2,987	0,069
		Guarapari (GUA)		0,207	0,053	0,118	0,094	9,434	0,721	0,058
		Itaúnas (ITA)		0,033	0,923	0,763	0,074	2,675	1,235	0,046
		Vitória (VIX)		0,143	0,062	0,509	0,343	9,922	23,766	0,241
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,051	0,650	0,170	0,202	30,982	0,933	0,007
		Degredo (DEG)		0,098	0,045	0,457	0,122	2,824	0,979	0,015
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,043	0,103	0,066	0,120	20,988	1,446	0,120
		Guarapari (GUA)		0,005	1,571	0,005	0,069	67,072	0,732	0,005
		Itaúnas (ITA)		0,010	0,033	0,133	0,079	18,983	0,642	0,008
		Vitória (VIX)		0,060	1,994	0,259	0,211	9,104	1,118	0,005
	Campanha 3 (set/out 2019)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,119	0,072	0,054	0,050	12,659	0,713	0,028
		Costa das Algas (CA)		0,162	0,232	0,429	0,185	0,519	0,881	0,020
		Degredo (DEG)		0,258	0,282	0,249	0,059	9,711	0,841	0,027
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,083	0,229	0,301	0,131	69,646	1,005	0,013
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,070	0,039	0,021	0,073	0,830	0,526	0,018

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
		Vitória (VIX)		0,294	0,351	0,329	0,061	3,632	0,988	0,024
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,090	0,056	0,057	0,084	26,120	1,035	0,051
		Costa das Algas (CA)		0,014	0,154	0,850	0,251	15,203	0,762	0,230
		Degredo (DEG)		0,056	0,205	0,779	1,192	13,527	1,040	0,020
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,272	0,111	1,280	2,531	42,256	1,145	0,082
		Guarapari (GUA)		1,062	0,101	1,477	0,978	43,570	1,134	0,076
		Itaúnas (ITA)		0,014	0,219	1,067	0,809	10,810	0,819	0,388
		Vitória (VIX)		0,061	0,149	0,576	1,616	26,060	1,112	0,053
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,043	0,330	4,006	3,615	151,349	3,723	2,016
		Degredo (DEG)		0,655	0,279	4,272	9,907	272,281	5,616	0,148
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,100	0,128	0,586	1,206	69,013	2,129	0,076
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,067	0,321	1,088	0,579	28,784	1,727	0,129
		Vitória (VIX)		0,006	0,102	0,649	1,453	47,440	2,919	0,026
	Campanha 6 (jan/fev 2020)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,134	0,014	0,171	0,092	3,773	0,204	0,095
		Degredo (DEG)		0,187	0,057	0,344	1,606	57,176	1,690	0,149
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,219	0,029	0,257	2,459	86,343	1,722	0,085
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,057	0,076	0,765	0,777	9,118	0,758	0,738
		Vitória (VIX)		0,385	0,026	0,265	0,389	1,775	0,290	0,257
	Campanha 7 (mar 2022)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,063	0,030	0,195	0,372	38,013	0,389	0,024
		Costa das Algas (CA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Degredo (DEG)		0,155	0,710	0,690	3,274	156,232	2,261	0,104

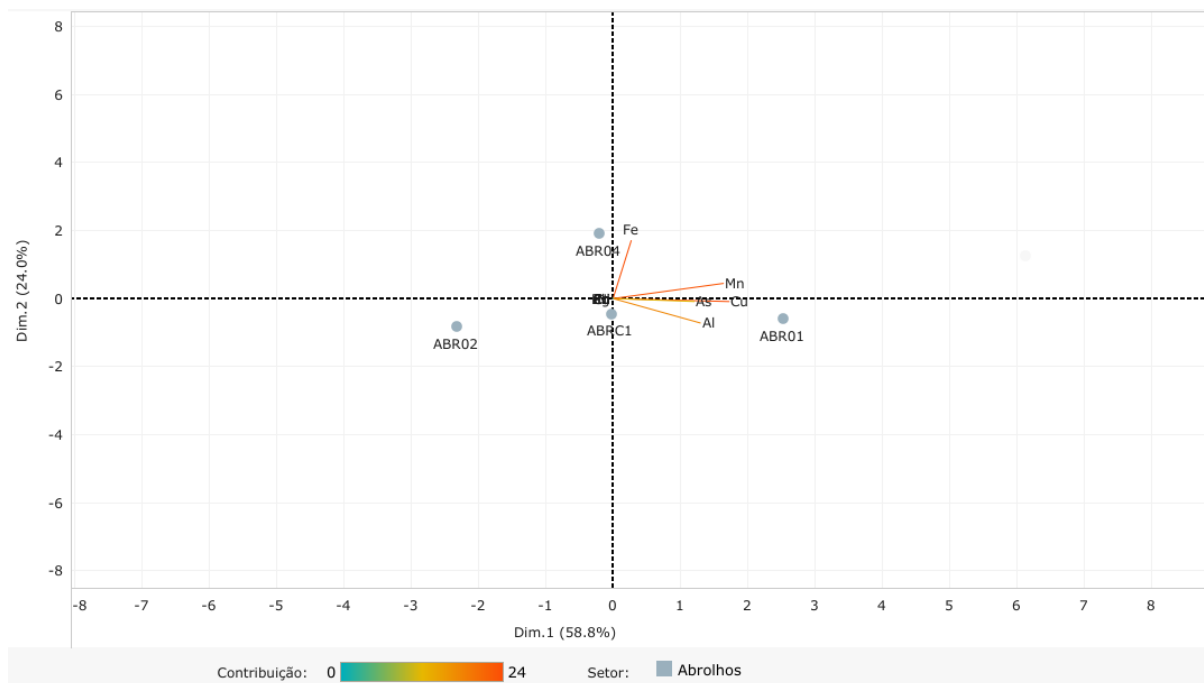
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
		Foz do Rio Doce (FRD)		0,534	1,288	0,364	43,589	99,774	4,394	0,179
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,068	0,020	0,289	0,208	6,715	0,209	0,030
		Vitória (VIX)		0,042	0,020	0,135	0,146	4,045	0,095	0,040
	Campanha 8 (set/out 2022)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,726	0,024	0,098	0,038	3,590	0,225	0,024
		Costa das Algas (CA)		1,583	0,026	0,226	0,063	7,026	0,320	0,024
		Degredo (DEG)		2,016	0,230	0,104	1,716	66,169	2,247	0,215
		Foz do Rio Doce (FRD)		3,611	0,426	0,121	3,194	121,192	2,997	0,318
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		2,797	0,024	0,164	0,081	0,112	0,203	0,024
		Vitória (VIX)		3,227	0,187	0,156	0,923	95,941	1,534	0,175
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Barra Seca (BS)		0,994	1,175	0,130	1,213	197,079	1,359	0,099
		Conceição da Barra (CB)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,762	0,024	0,194	0,271	6,041	0,107	0,053
		Degredo (DEG)		2,252	0,807	0,377	1,752	240,865	2,599	0,181
		Foz do Rio Doce (FRD)		5,500	0,270	0,235	2,088	115,884	3,201	0,175
		Itaúnas (ITA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Figura 25: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 coral da espécie *Mussismilia hartii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



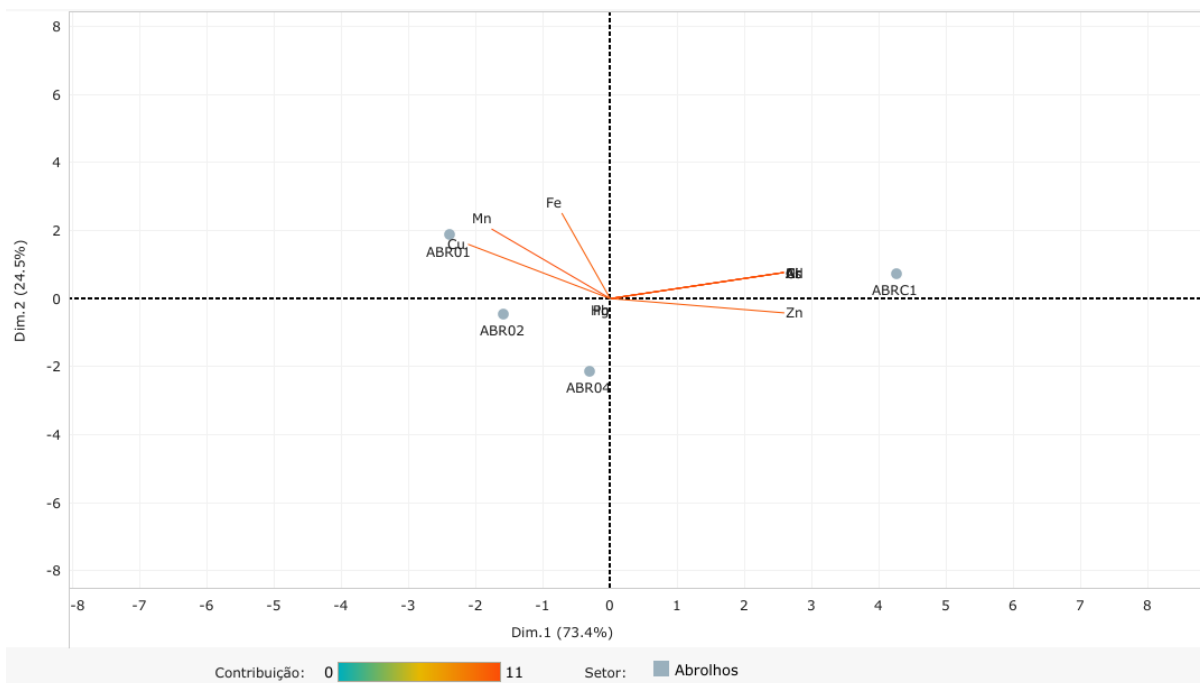
Na Figura 25, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 58,6% e por 33,0%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no coral da espécie *Mussismilia hartii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 91,6% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 25 também auxilia na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As no coral e no hidrocoral do Setor Abrolhos do Ambiente Marinho. Observa-se que grande parte dos metais avaliados contribuem para a PCA. Além disso, todos os metais estão agrupados nos quadrantes à direita. Os metais Pb, Cr, Al e Mn estão associados a estação ABR01. Já, todos os metais do quadrante inferior à direita, como também os metais Hg e Fe estão relacionados a estação ABRC1.

Figura 26: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



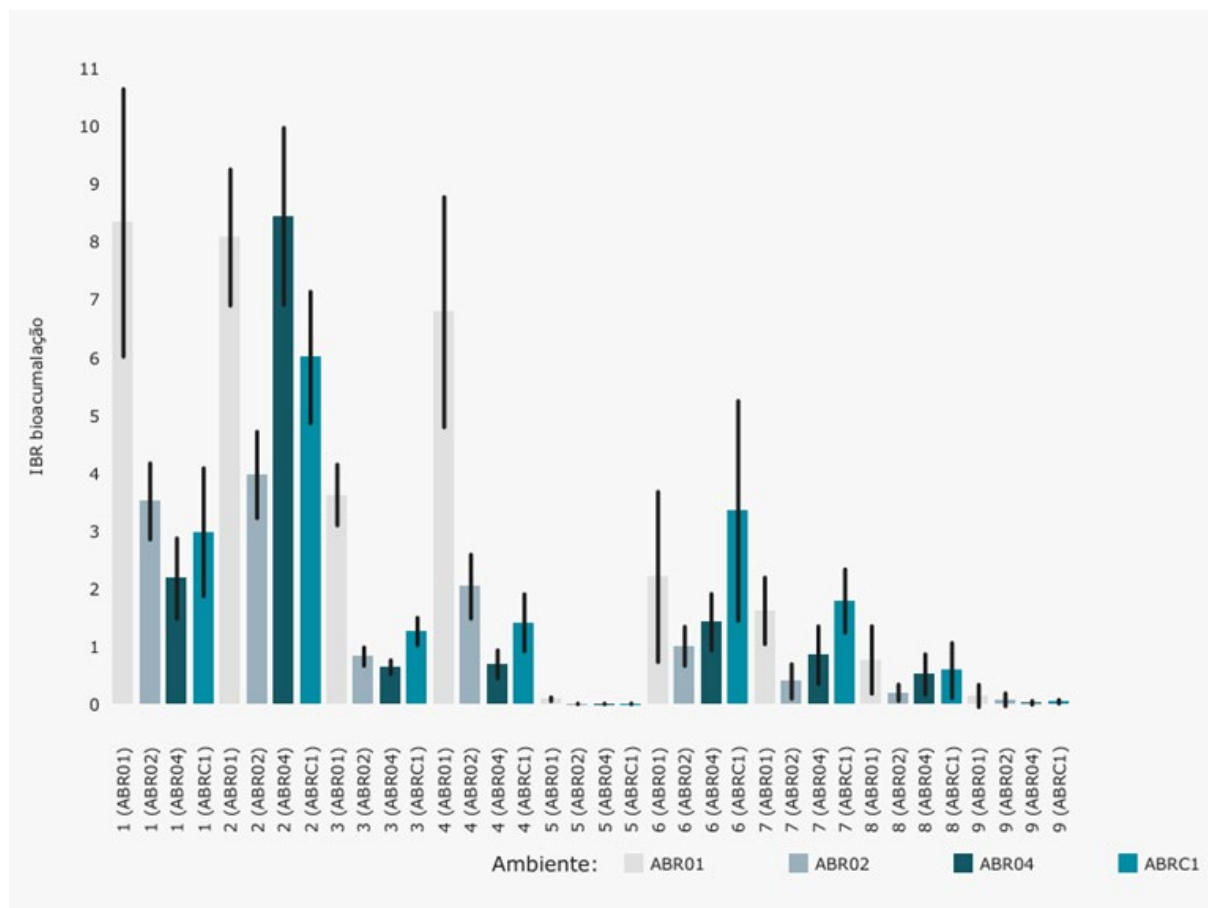
Na Figura 26, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 58,8% e por 24,0%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no coral da espécie *Mussismilia harttii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 82,8% da variabilidade total dos dados. Nota-se que apenas os metais Fe, Mn, As, Cu e Al contribuem para a PCA e os mesmos estão agrupados nos quadrantes à direita. A estação ABR01 está associada aos metais Mn, As, Cu e Al. E por fim a estação ABR04 se relaciona ao metal Fe.

Figura 27: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 coral da espécie *Mussismilia hartii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



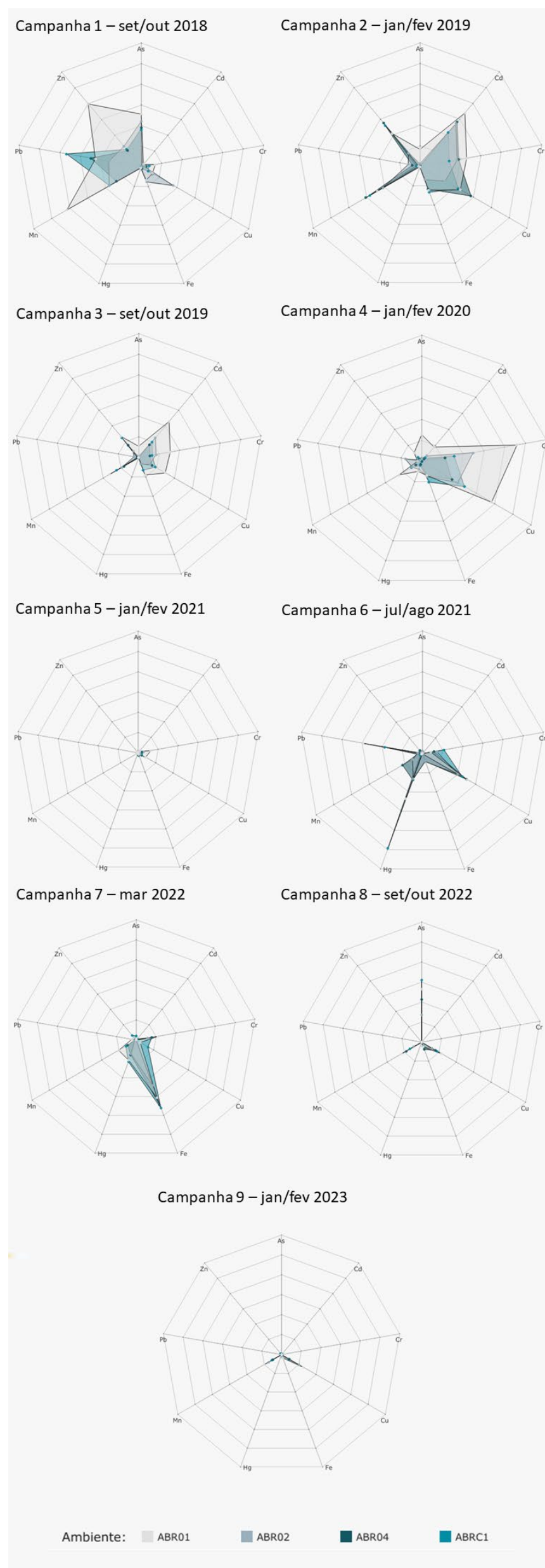
Na Figura 27, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 73,4% e por 24,5%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no coral da espécie *Mussismilia hartii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 97,9% da variabilidade total dos dados. Verifica-se que os metais que contribuem para a PCA são o Cu, Mn, Fe, As, Al e Zn. Os metais As, Al e Zn estão associados a estação ABRC1 (quadrantes à direita). Já os metais Fe, Mn e Cu estão vinculados a estação ABR01 (quadrante superior à esquerda).

Figura 28: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



O gráfico de barras dos valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos de bioacumulação dos metais e As no coral da espécie *M. hartii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *M. alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. De maneira geral, a Figura 28 demonstra que os maiores resultados do IBR bioacumulação se concentram da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) à Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), nas quais os valores mais proeminentes do índice estão na estação ABR01. Na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso) há uma queda significativa dos resultados do IBR bioacumulação, os quais em todos os Setores, se aproximam de zero. Entretanto, nas Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco) Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os valores do índice voltam a aumentar em todas as estações, com destaque para os maiores valores, dessa vez, não só na estação ABR01, mas também na ABRC1. Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) os resultados do IBR bioacumulação apresentam uma queda em todas as estações, com seus valores tendendo à zero.

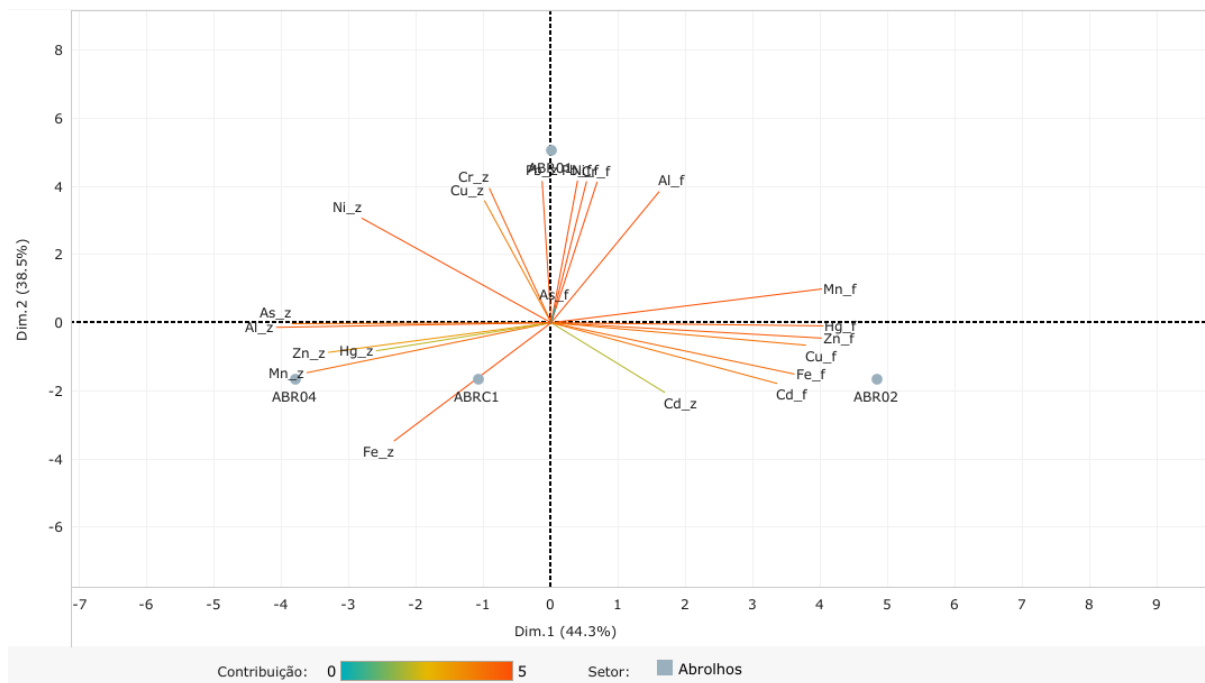
Figura 29: Gráficos de radar obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmiio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



Os gráficos de radar, na Figura 29, obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e As no coral da espécie *M. harttii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *M. alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice.

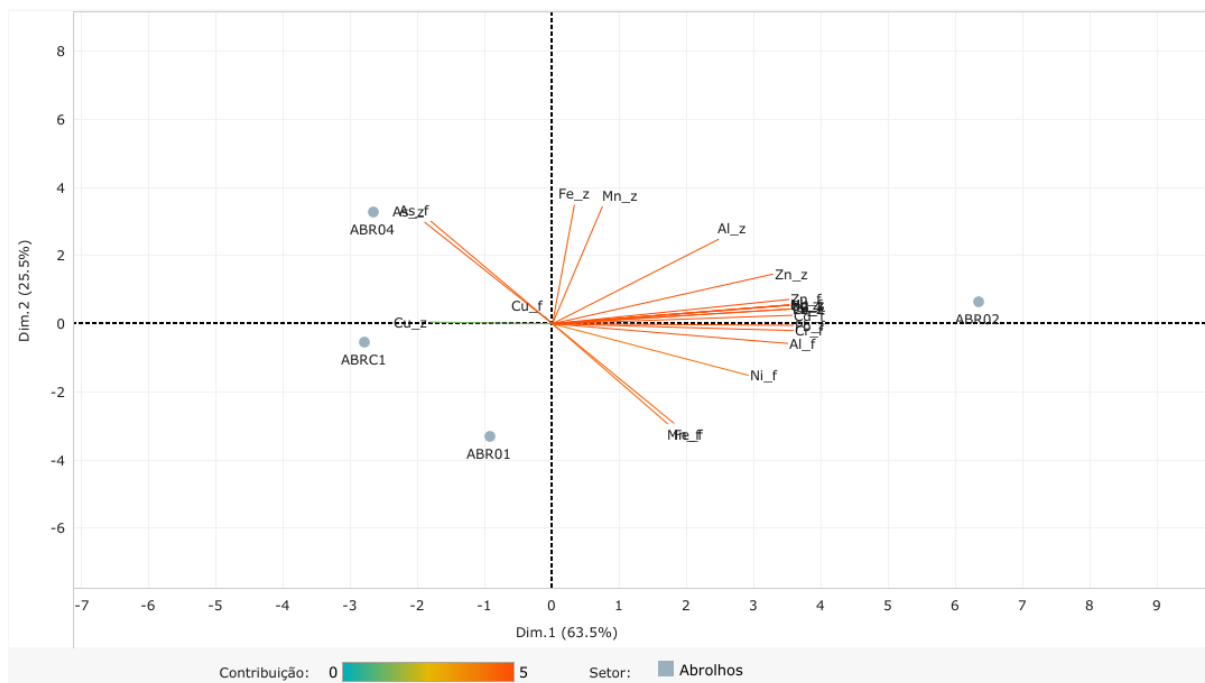
Em relação a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o padrão de contribuição dos metais ao IBR bioacumulação se assemelha em todas as estações, sendo o Fe o metal mais relevante devido ao seu grande valor, seguido pelos metais Cr e Hg. Na estação ABR01 há também a contribuição relevante do metal Mn ao resultado do índice. Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), os metais As, Mn e Cu são os mais importantes para a composição do IBR bioacumulação nas quatro estações, com destaque ao metal As. Já na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), o valor do índice é bem pequeno e os metais Mn e Cu são os mais importantes, os quais apresentam os seus maiores valores nas estações ABR01e ABR02.

Figura 30: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 plâncton de Abrolhos [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



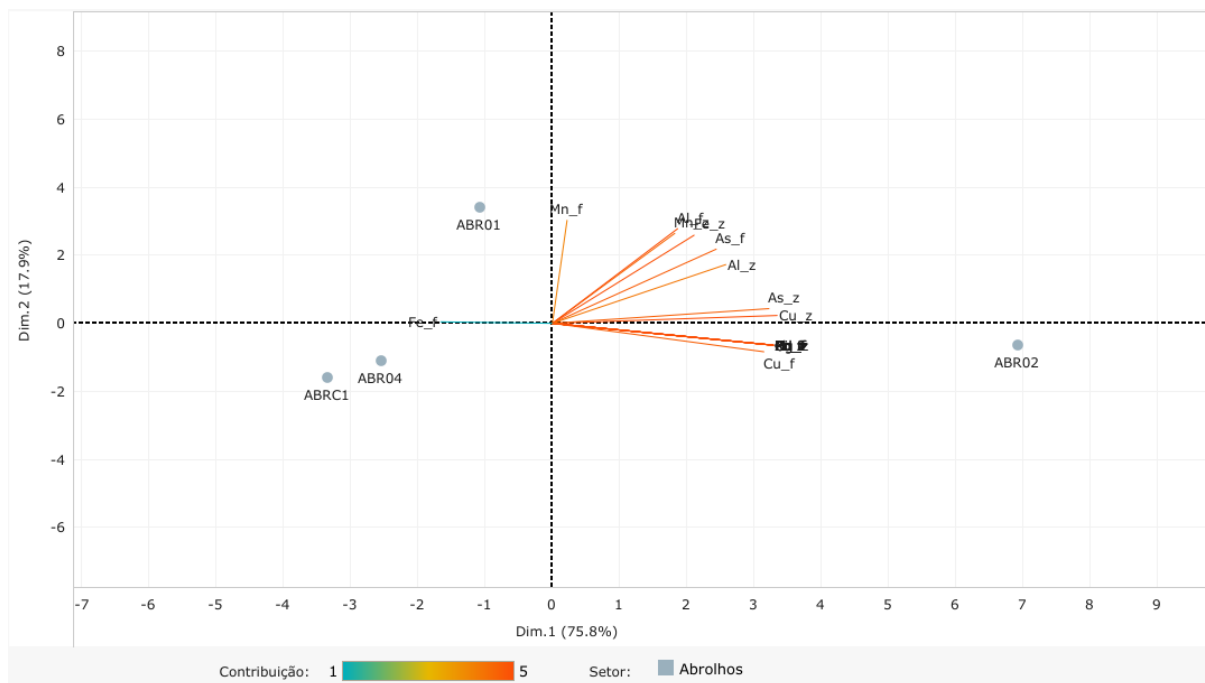
Na Figura 30, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 44,3% e por 38,5%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 82,8% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 30 auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho. Nota-se que todos os metais revelam uma grande contribuição para a PCA, com exceção dos metais As no fitoplâncton e Hg e Cd no zooplâncton. Ainda, há uma clara seção entre os metais bioacumulados no zooplâncton e no fitoplâncton, os quais estão agrupados nos quadrantes à esquerda e nos quadrantes à direita, respectivamente. No Setor de Abrolhos a estação ABR02 está altamente relacionada aos metais no fitoplâncton (Mn, Hg, Zn, Cu, Fe e Cd). Ao contrário das estações ABR04 e ABRC1, as quais apresentam uma associação aos metais bioacumulados no zooplâncton (Fe, Mn, Zn, Al e As). A estação ABR01 demonstra uma forte associação com os metais Ni, Cr e Pb bioacumulados nos dois grupos avaliados do plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) e com o Al apenas no fitoplâncton.

Figura 31: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 plâncton de Abrolhos [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



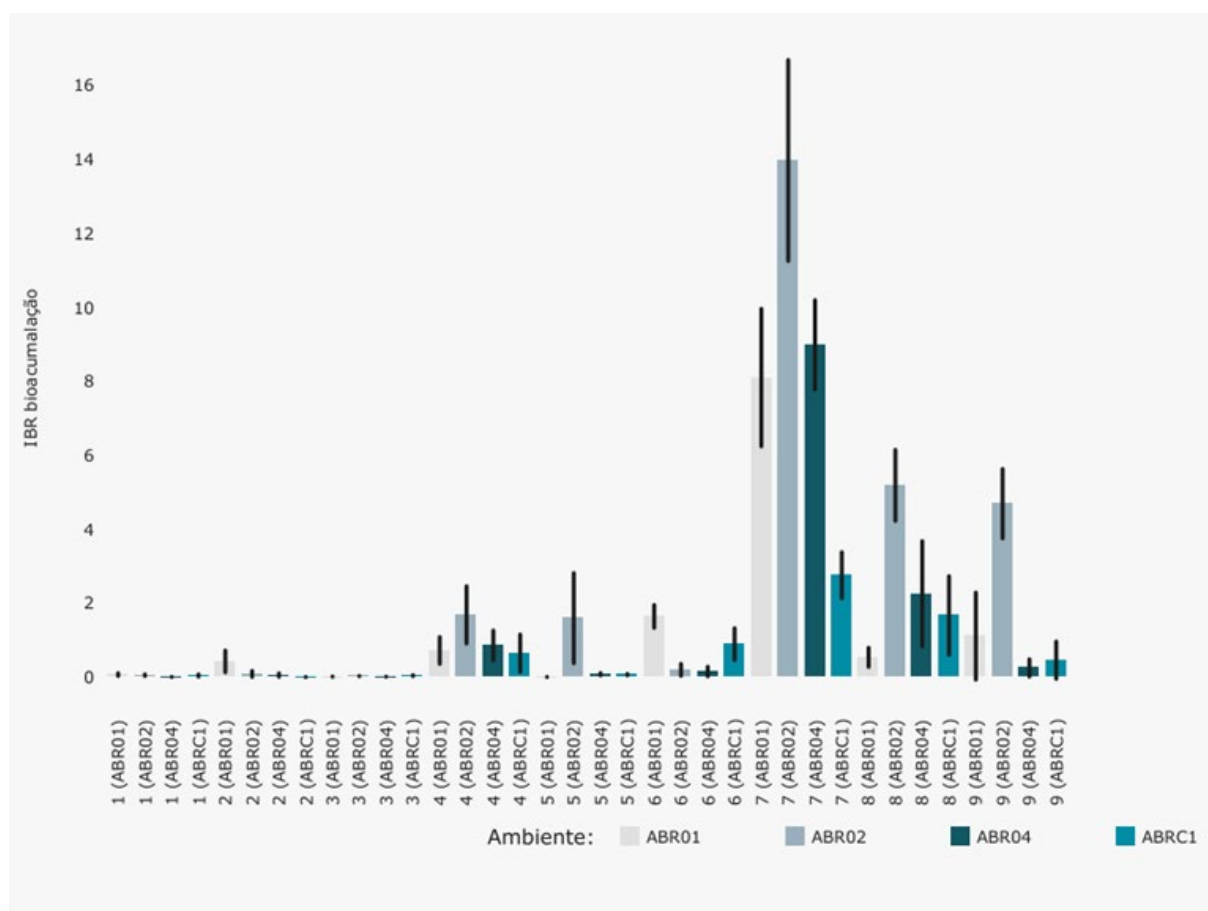
Na Figura 31, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 63,3% e por 25,5%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 88,8% da variabilidade total dos dados. Os metais avaliados exibem uma grande contribuição para a PCA, salvo o metal Cu no plâncton (zooplâncton e fitoplâncton). A estação ABR04 tem uma associação preferencial da presença de metais no zooplâncton (As, Fe e Mn), além da bioacumulação de As tanto no zooplâncton como no fitoplâncton. Já a estação ABR01 denota uma relação com os metais Mn e Fe no fitoplâncton. Por fim, a estação ABR02 revela se associar com a maior parte dos metais avaliados, ou seja, a mesma apresenta conter a bioacumulação dos metais Zn, Cr, Pb, Cd e Ni em ambos fitoplâncton e zooplâncton, Hg apenas no zooplâncton, e Al apenas no fitoplâncton.

Figura 32: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração 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 plâncton de Abrolhos [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



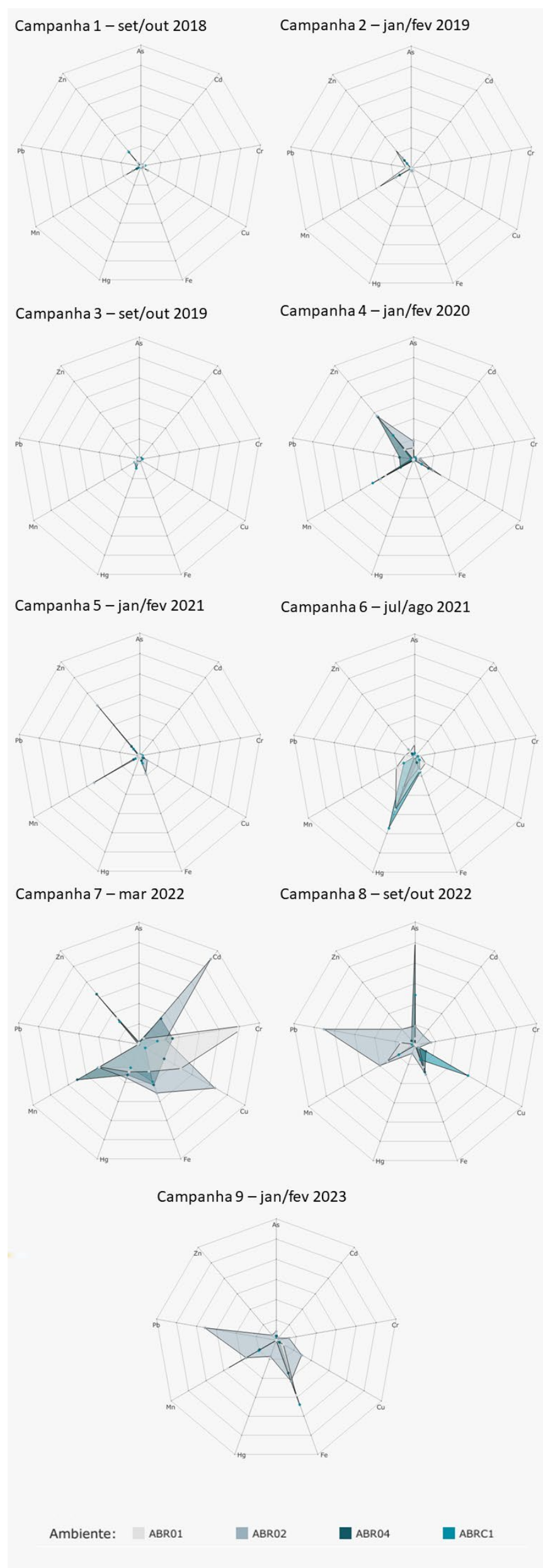
Na Figura 32, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 75,8% e por 17,9%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 93,7% da variabilidade total dos dados. Observa-se que os metais avaliados no plâncton demonstram uma grande relevância para a PCA, exceto o Fe no fitoplâncton. Ainda, os metais estão agrupados nos quadrantes à direita. A estação ABR01 demonstra se associar com os metais: Mn, Al e Fe no zooplâncton; e Mn, Al e As no fitoplâncton. Enquanto a estação ABR02 está vinculada aos metais: Al, As, Cu, Cd, Ni, Hg, Cr, Pb e Zn no zooplâncton; e Cu, Cd, Ni, Hg, Cr, Pb e Zn no fitoplâncton. As demais estações não demonstram associação com os metais mais importantes da PCA. A estação ABR02 revela ser a mais degradada pela bioacumulação dos metais no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) em relação as outras estações no Setor Abrolhos.

Figura 33: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de plâncton de Abrolhos (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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



O gráfico de barras dos valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos de bioacumulação dos metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. De maneira geral, a Figura 33 demonstra que o efeito da bioacumulação nos organismos do plâncton do Setor Abrolhos, dentro do período monitorado, tem seu início a partir da Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), e seu maior impacto na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Ainda, a estação de coleta ABR02 é a que denota os maiores valores de IBR bioacumulação.

Figura 34: Gráficos de radar obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de plâncton de Abrolhos (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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmiio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



Os gráficos de radar, na Figura 34, obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice.

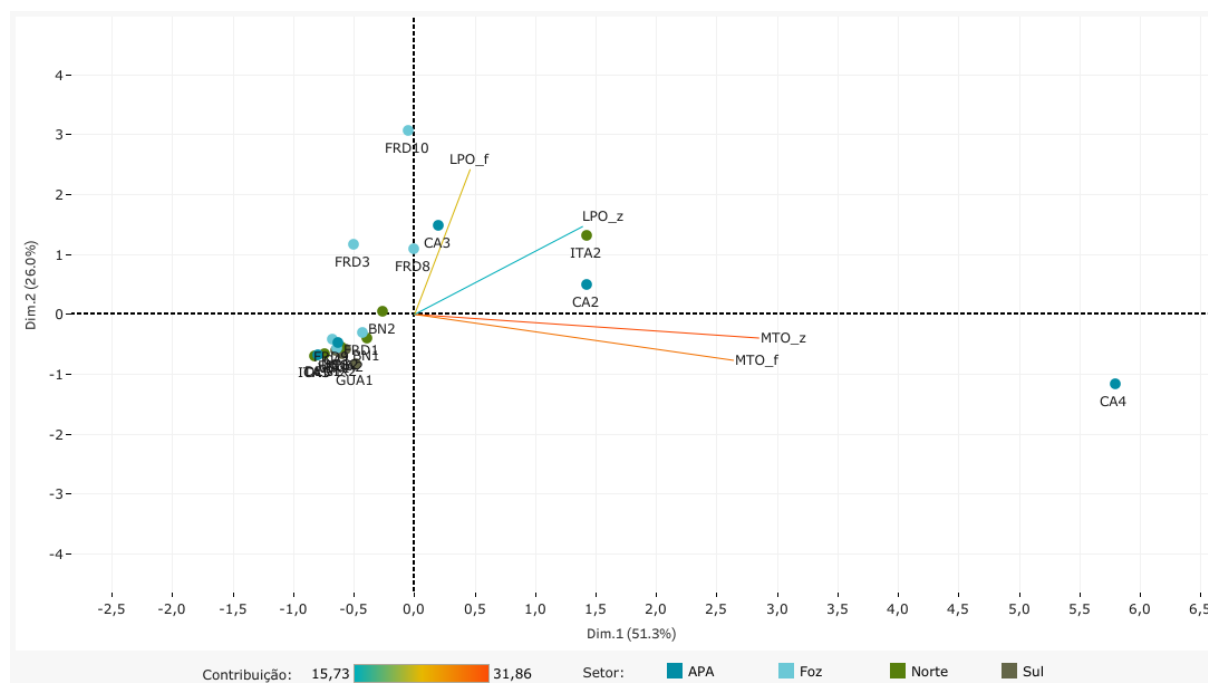
A Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) destaca-se por conter os maiores valores do IBR bioacumulação em relação as outras Campanhas. A estação ABR02 apresenta o maior valor do índice, o qual é composto, principalmente, pelos metais Zn, Mn, Hg, Fe, Cu, Cr e Cd (com destaque a um pico no valor de Cd e Cu). Os metais Cr, Mn, Cu, Fe, Hg e Zn são os mais relevantes para a composição do índice na estação ABR01. Em relação a estação ABR04, a mesma tem seu índice gerado majoritariamente pelos metais Zn, Mn, Hg, Fe, Cu, Cr e Cd. Já o índice IBR bioacumulação na estação ABRC1 é composto pelos, principalmente pelos metais Mn, Hg, Fe, Cr e Zn.

A estação ABR02, na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), também demonstra o maior valor do índice, o qual é originado pela composição, principalmente, dos metais Pb, Mn, Fe, As e Zn. Nesta mesma Campanha, os metais As, Mn e Fe são os mais relevantes para o valor do índice na estação ABR04. Em relação a estação ABRC1, os metais que mais contribuem para o valor do índice são o Mn, o Cu e o As. E por último, a estação ABR01 tem o valor do IBR bioacumulação composto principalmente pelos metais Mn e Fe.

Em relação a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) a estação com o valor do IBR bioacumulação mais proeminente é a ABR02, o mesmo é formado pela contribuição dos metais Pb, Mn, Fe e Cu. As estações ABR01, ABRC1 e ABR04 têm como os metais mais relevantes para o valor dos índices o Mn e o Fe.

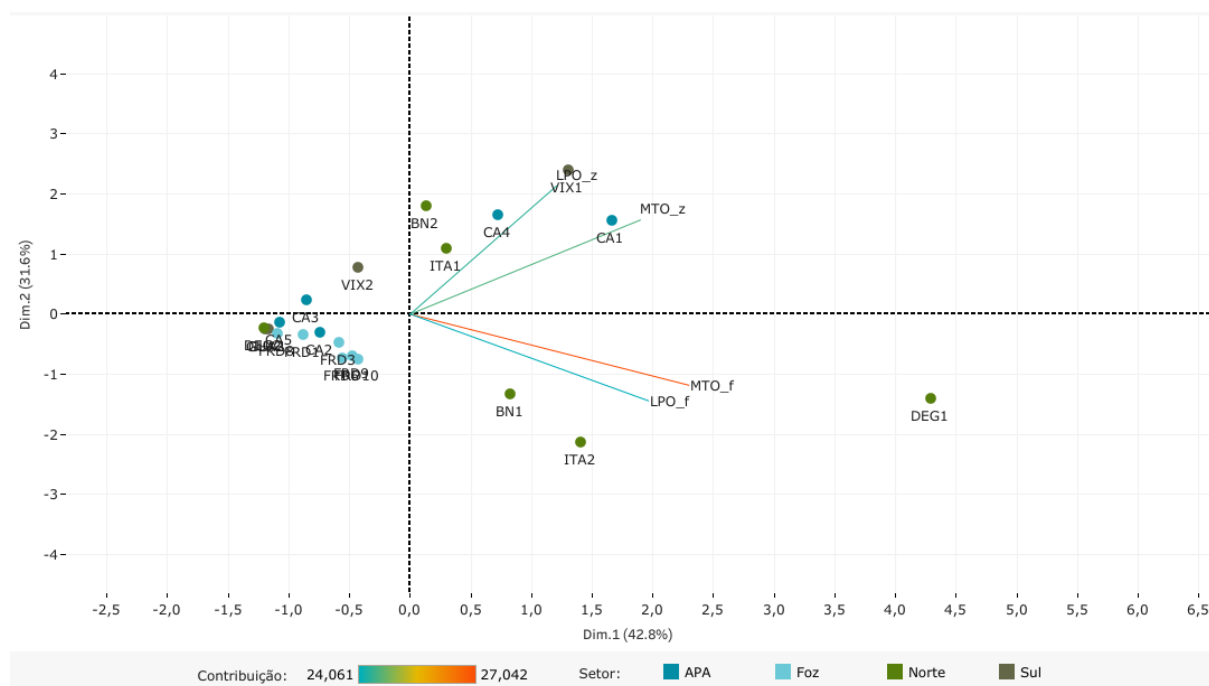
2.3 ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA (*IBR biomarcador*)

Figura 35: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de plâncton do Oceano [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



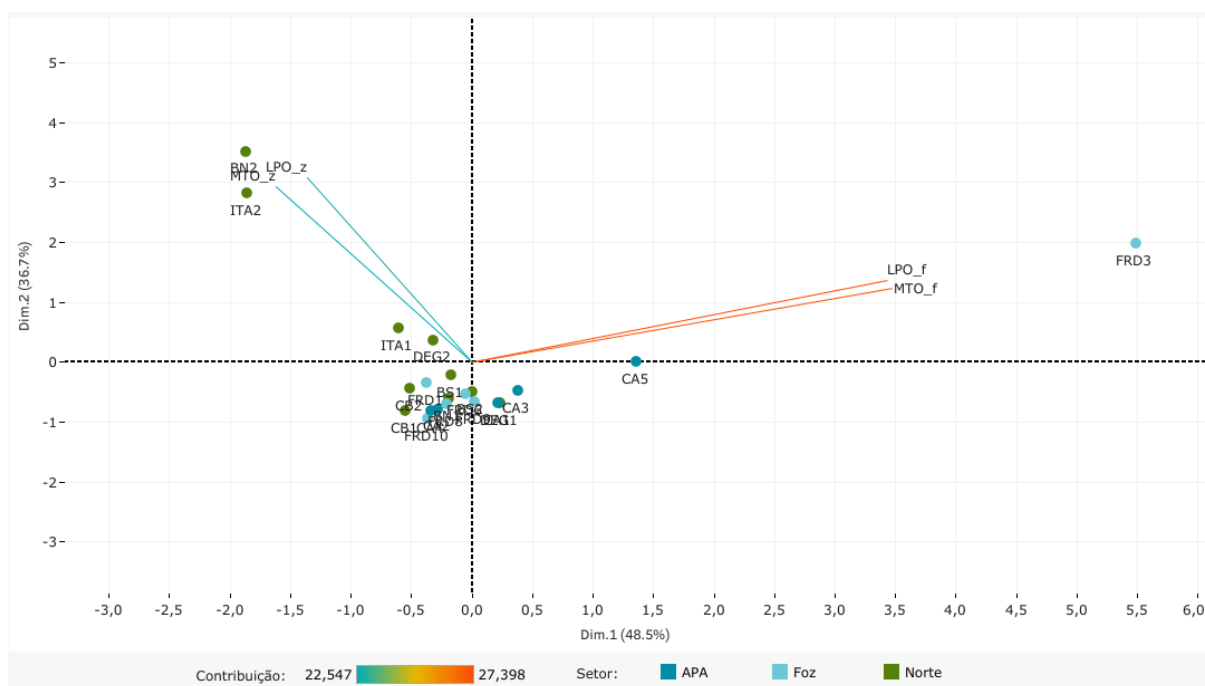
Na Figura 35, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 51,3% e por 26,0%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 77,3% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 35 auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis dos biomarcadores no plâncton do Ambiente Marinho. Observa-se que, os biomarcadores que apresentam maior relevância para a PCA são os MTO no fitoplâncton e no zooplâncton, indicando a entrada de metais nas células desses organismos. A estação CA4 do Setor APA se associa aos biomarcadores MTO no plâncton. Ainda, a LPO no fitoplâncton também é importante para a PCA, porém com uma menor contribuição. Este biomarcador está relacionado a estação FRD10, caracterizando danos oxidativos nos lipídeos do fitoplâncton neste local. O LPO no zooplâncton demonstra uma relevância pequena a PCA e está associado as estações ITA2 (Setor Norte) e CA2 (Setor APA).

Figura 36: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de plâncton do Oceano [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



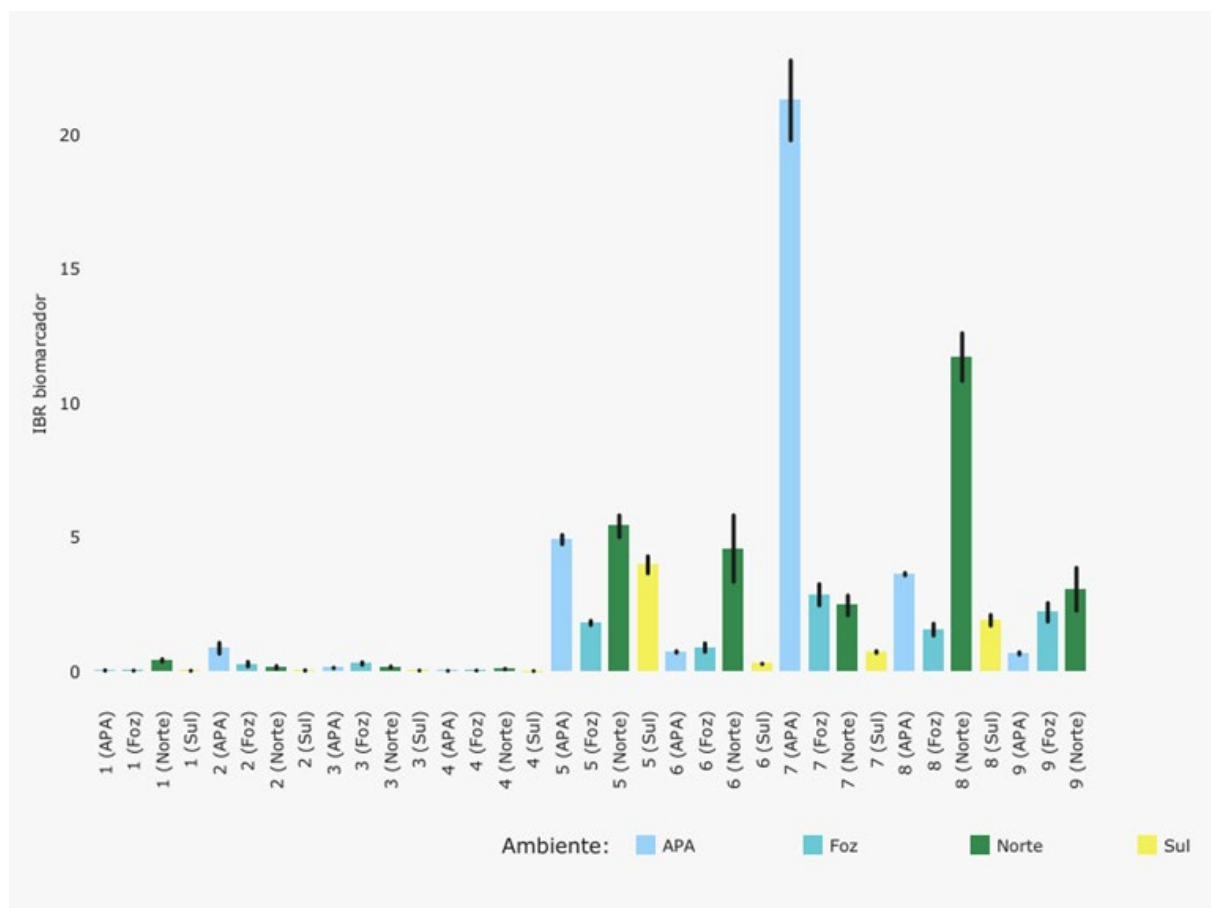
Na Figura 36, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 42,8% e por 31,6%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 74,4% da variabilidade total dos dados. Verifica-se que os biomarcadores no zooplâncton estão agrupados no quadrante superior à direita e os no fitoplâncton no quadrante inferior à direita. Ainda, a análise que foi mais importante para a PCA foi a MTO no fitoplâncton. O Setor Norte está vinculado aos biomarcadores MTO e LPO no fitoplâncton. Em contraste, o Setor APA e a estação VIX1 do Setor Sul exibem uma relação com os biomarcadores MTO e LPO no zooplâncton.

Figura 37: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de plâncton do Oceano [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 1 (CB1), Conceição da Barra 2 (CB2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)].



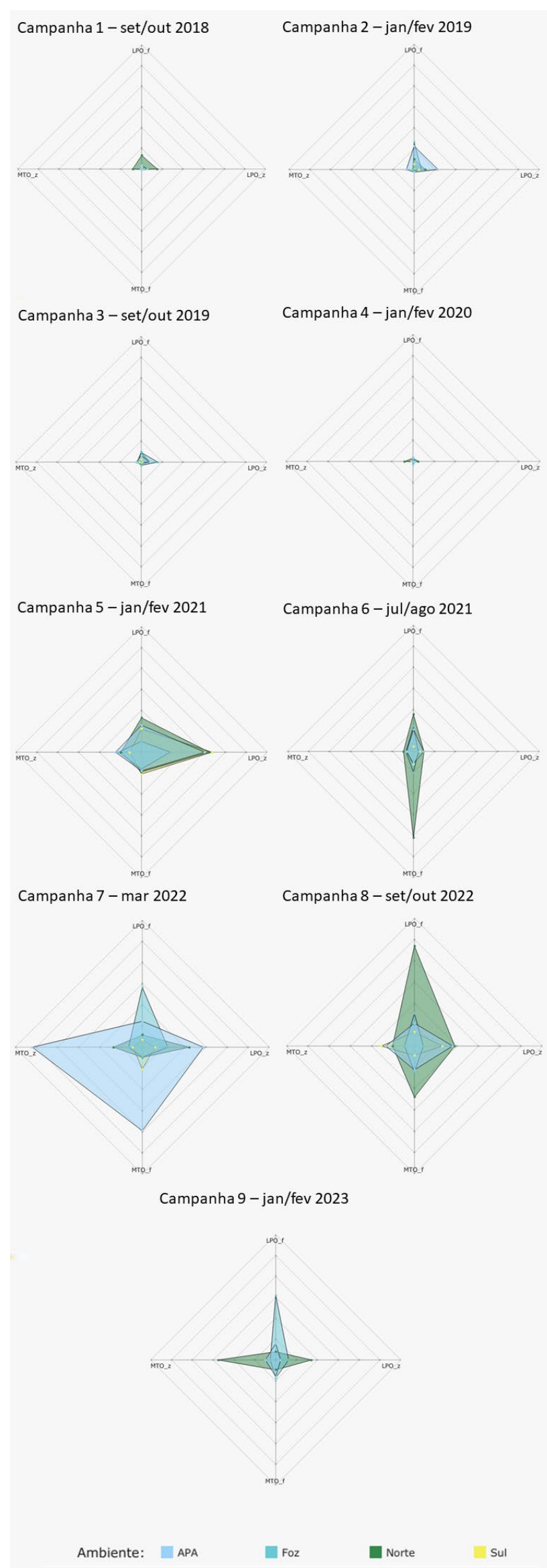
Na Figura 37, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 48,5% e por 36,7%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 85,2% da variabilidade total dos dados. Nota-se que os biomarcadores LPO e MTO no fitoplâncton são os que contribuem mais para a PCA. Ainda, estas análises de biomarcadores estão agrupadas no quadrante superior à direita e fortemente associadas com a estação FRD3 do Setor Foz. Logo, apontando que as alterações fisiológicas ocorrem no fitoplâncton nesta estação. Por outro lado, as análises de biomarcadores (LPO e MTO) realizadas no zooplâncton contribuem menos para a PCA em relação as no fitoplâncton e as mesmas demonstram estarem associadas ao Setor Norte (agrupados no quadrante superior à esquerda).

Figura 38: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de plâncton do Oceano (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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



O gráfico de barras dos valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos das respostas dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR biomarcador para o plâncton do Ambiente Marinho, na Figura 38, pode-se observar que as respostas dos biomarcadores no índice começam a serem relevantes a partir da Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso). Ainda, existe uma tendencia sazonal em que nos períodos chuvosos (Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso)) os resultados do IBR biomarcador nos Setores APA e Foz inclinam a um aumento, com destaque ao Setor APA, o qual tende a apresentar os valores mais altos. Já nos períodos secos (Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco)) os resultados do índice tendem a aumentar no Setor Norte, o qual, em geral, se destacada com os valores mais altos em relação aos outros Setores.

Figura 39: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de plâncton do Oceano [fitoplâncton (_f) e zooplâncton (_z)] 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



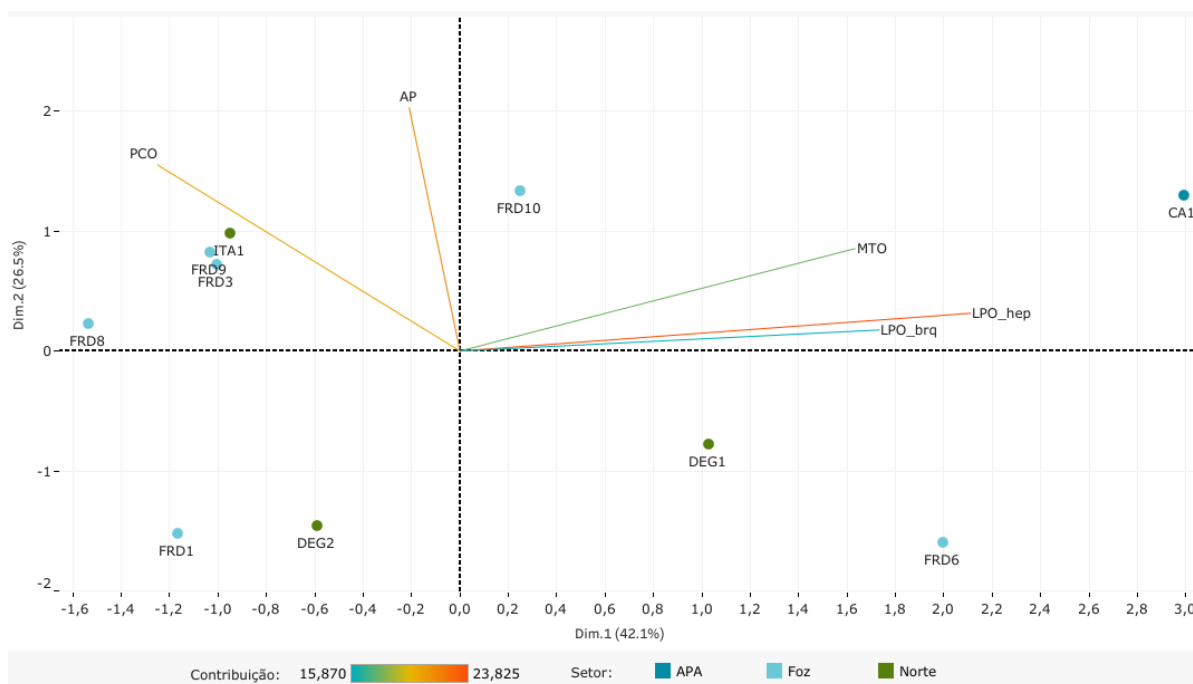
Os gráficos de radar, na Figura 39, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice.

Pode-se observar que na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) o Setor APA é o que apresenta o maior valor do índice, o qual tem uma contribuição relevante de todos os biomarcadores analisados. Porém, vale destacar que no Setor APA os biomarcadores MTO no zooplâncton e no fitoplâncton apresentam picos em seus valores. Por outro lado, os biomarcadores mais relevantes para a formação do índice no Setor Foz são os LPO no fitoplâncton e no zooplâncton. No Setor Norte o estresse fisiológico se concentra no zooplâncton, pois os biomarcadores mais importantes para o índice são o MTO e LPO no zooplâncton. Em relação ao Setor Sul a análise mais importante para a composição do IBR biomarcador é a do biomarcador MTO no fitoplâncton

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), nota-se que o Setor Norte demonstra o maior valor do IBR biomarcador, e o mesmo tem a presença relevante de todos os biomarcadores na composição do seu índice, com destaque aos maiores valores do LPO no fitoplâncton e zooplâncton. Os biomarcadores LPO e MTO no zooplâncton são os que mais contribuem na composição do índice no Setor Foz. Para o Setor Sul, os biomarcadores que mais se destacam são o MTO e LPO no zooplâncton. Para o Setor APA todos os biomarcadores são importantes para a formação do seu IBR biomarcador.

Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) o valor mais alto do índice entre os Setores encontra-se no Setor Norte, em que os biomarcadores MTO e LPO no zooplâncton se destacam com os maiores valores para a geração do IBR biomarcador. Ainda, o Setor Foz apresenta o biomarcador LPO no fitoplâncton como o mais importante para a formação do valor do índice. Por último, o Setor APA contém um pequeno resultado do índice em relação aos outros Setores e os biomarcadores de maior relevância para o mesmo são as análises de LPO e de MTO no zooplâncton.

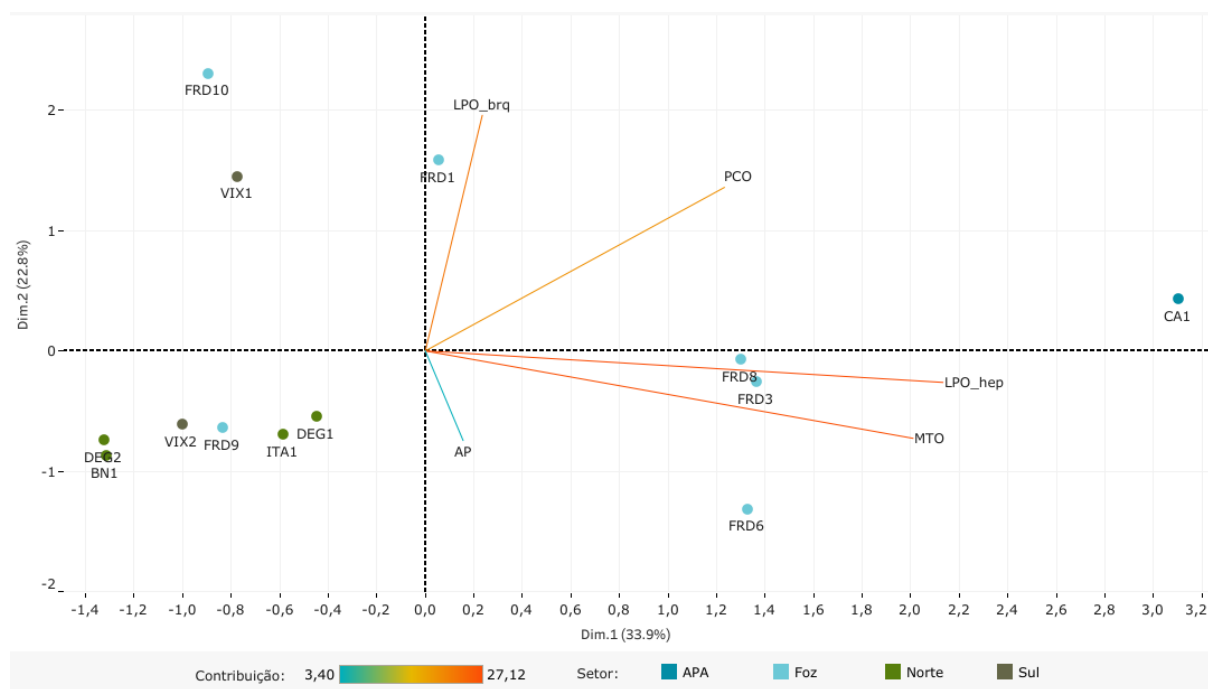
lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) na hemolinfa (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)].



Relatório Semestral de Evolução 2023 – PMBA/Fest

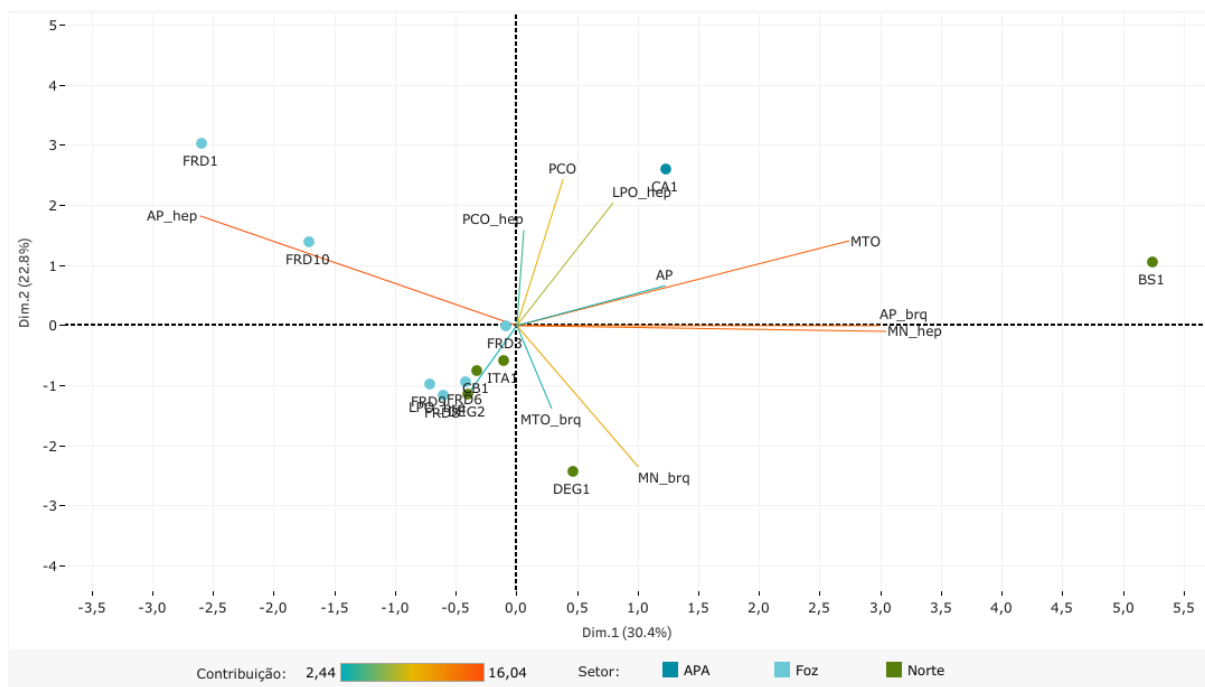
Figura 41: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de camarão coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram:

lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) na hemolinfa (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



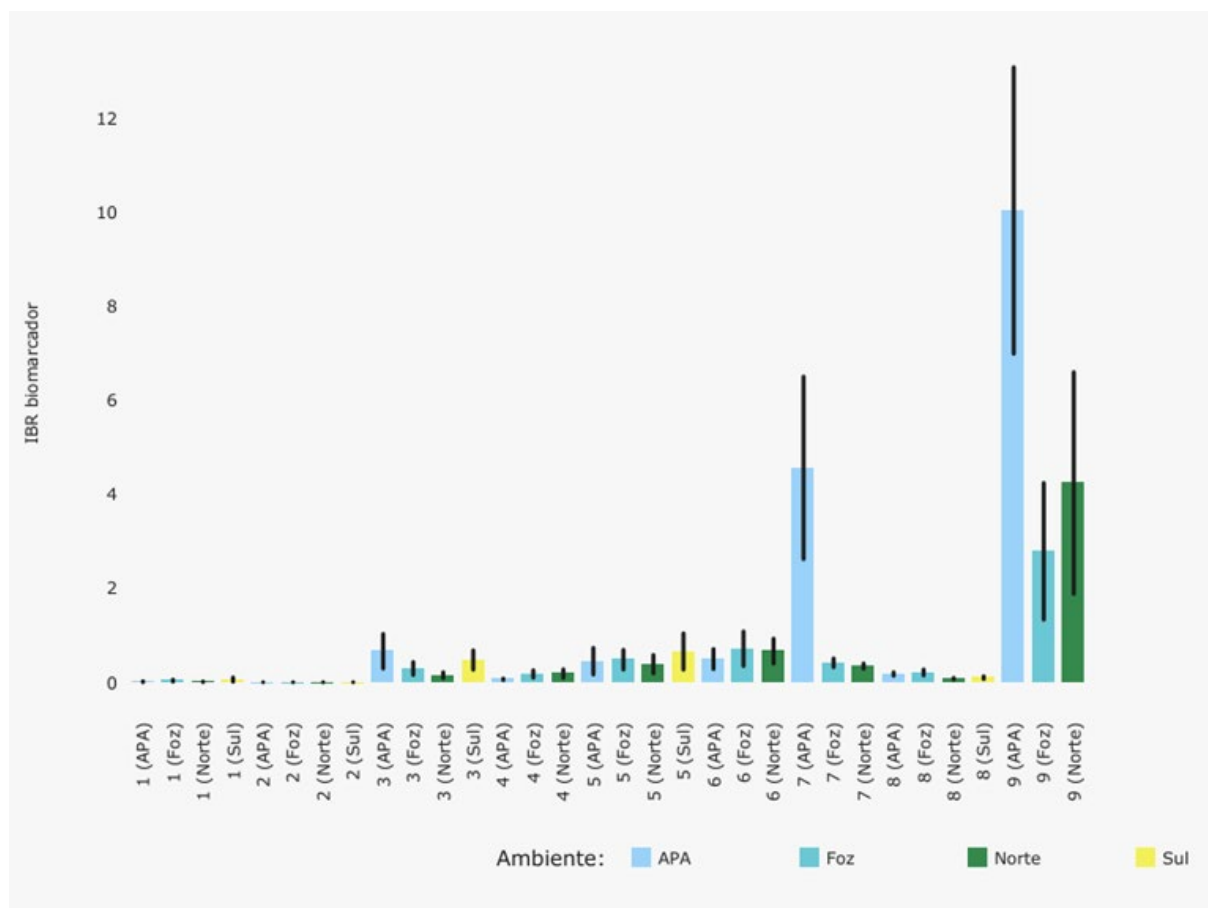
Na Figura 41, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 33,9% e por 22,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 56,7% da variabilidade total dos dados. Analisando o gráfico da PCA é possível notar que todos os biomarcadores avaliados estão agrupados nos quadrantes à direita. Ainda, os biomarcadores no hepatopâncreas estão agrupados no quadrante inferior à direita e são os mais importantes e os que mais contribuem para a PCA. A estação CA1 do Setor APA se associa aos biomarcadores LPO e MTO no hepatopâncreas. O Setor Foz apresenta uma relação com todos os biomarcadores. Por fim, os demais Setores não se associam com as análises de biomarcadores avaliadas, segundo a PCA.

Figura 42: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de camarão coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas nas brânquias (MTO_brq) e no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no hepatopâncreas (PCO_hep) e no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) no músculo (AP_mus). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Seca 1 (BS1), Conceição da Barra 1 (CB1), Degredo 1 (DEG1) e Degredo 2 (DEG2)].



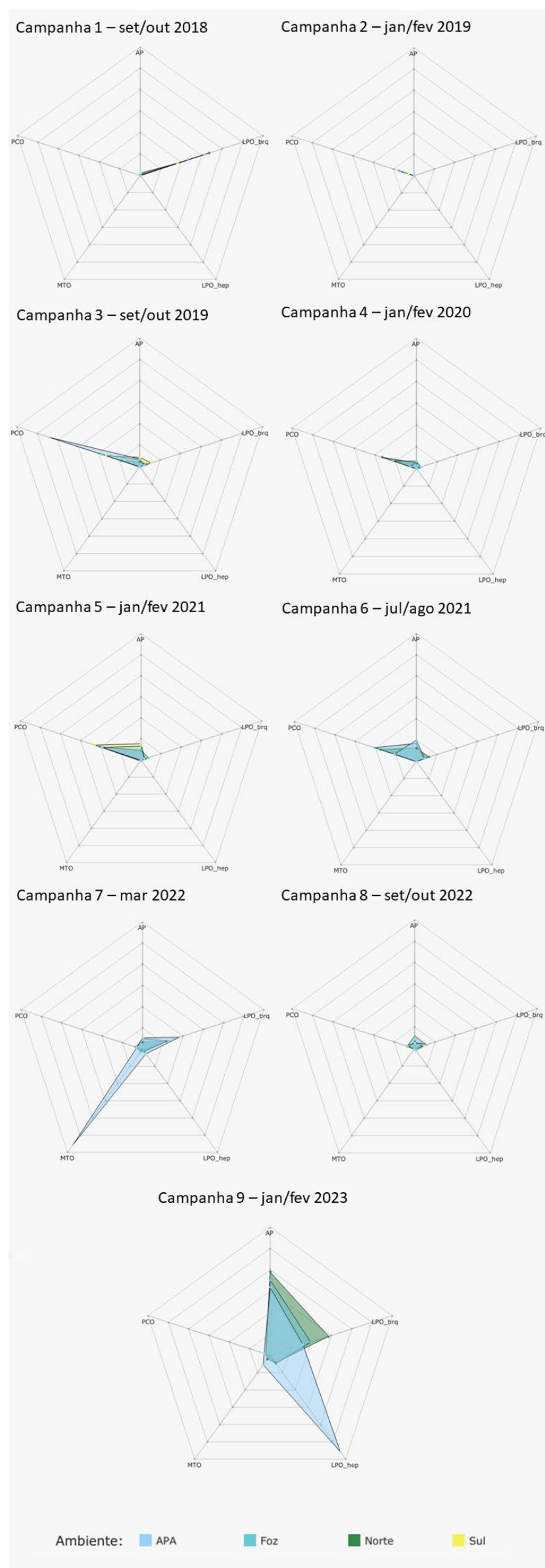
Na Figura 42, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 30,4% e por 22,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 53,2% da variabilidade total dos dados.

Figura 43: Valores do Índice da 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



O gráfico de barras dos valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos das respostas dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita na Figura 43, observa-se que a partir da Campanha 3 (set/out 2019 – período seco) os resultados do índice IBR biomarcador começam a aumentar sutilmente. Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) há um salto no valor do índice no Setor APA, o qual volta a cair na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). E por fim, na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) todos os Setores apresentam um aumento grande e brusco nos seus índices IBR biomarcador.

Figura 44: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) (AP) da campanha 1 à 8 na hemolinfa e na campanha 9 no músculo. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1 – a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



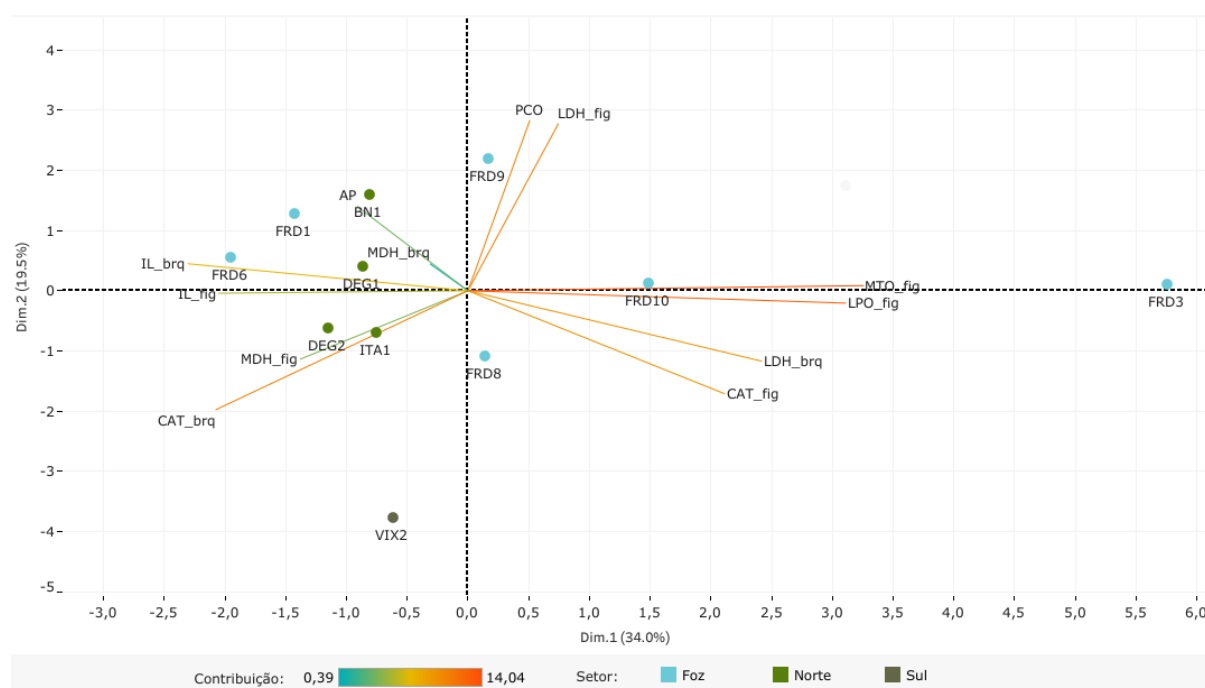
Os gráficos de radar, na Figura 44, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o Setor APA denota o maior resultado do IBR biomarcador. Ainda, os biomarcadores com os maiores valores para a formação do índice no Setor APA são o LPO nas brânquias e o MTO no hepatopâncreas, com destaque ao MTO que apresenta um pico em seu valor. Em relação aos Setores Foz e Norte, o biomarcador LPO nas brânquias é o mais importante na formação de seus índices.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os resultados do IBR biomarcador em todos os Setores são muito baixos. O Setor APA é o que apresenta o maior valor do índice, em que o biomarcador sítios AP é o que contribui com o maior valor para sua composição.

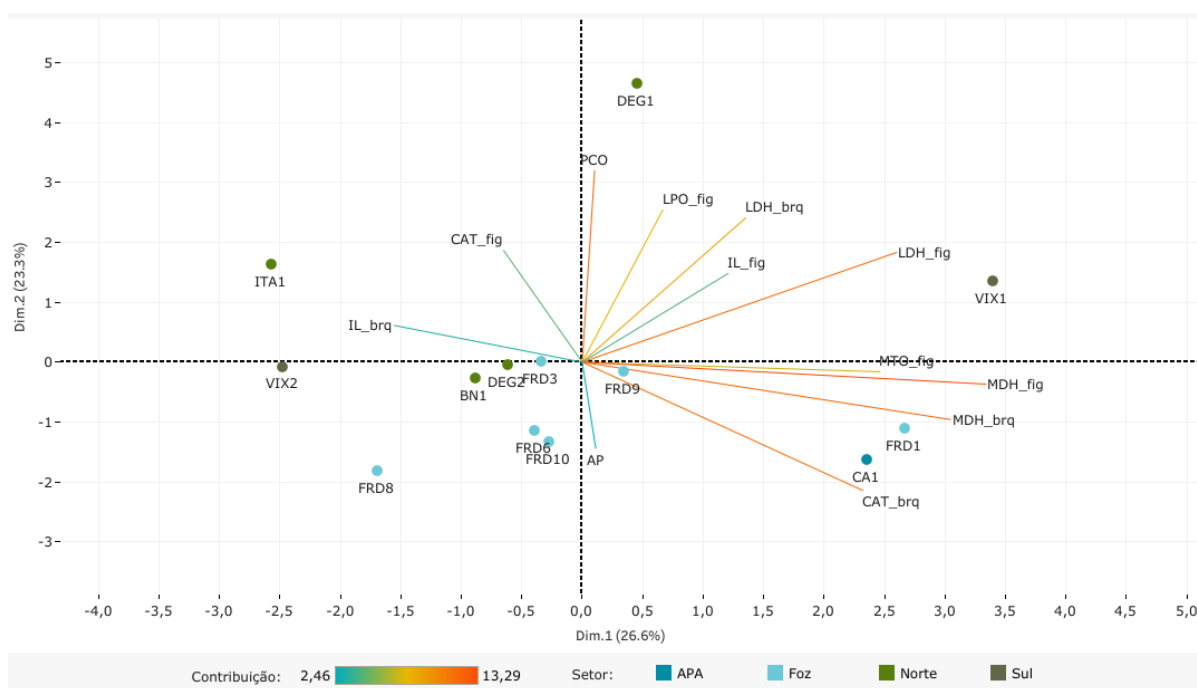
A Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) sobressai-se em relação as outras Campanhas devido ao salto nos resultados do IBR biomarcador em todos os Setores. O Setor APA é o que apresenta o maior valor do índice, o qual é gerado, principalmente, pelos biomarcadores sítios AP, LPO nas brânquias e no hepatopâncreas (com destaque a um pico no valor do LPO hepatopâncreas). As análises dos biomarcadores sítios AP e LPO nas brânquias dos camarões são as que contribuem com os maiores valores para a formação do índice no tanto no Setor Norte e quanto no Setor Foz.

Figura 45: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecidos de peixes onívoros coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação no fígado (LPO_fig); concentração de metalotioneína no fígado (MTO); níveis de proteínas carboniladas no músculo (PCO); níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) no sangue (AP); índices médios de lesões histopatológicas nas brânquias (IL_brq) e no fígado (IL_fig); atividade da enzima catalase nas brânquias (CAT_brq) e no fígado (CAT_fig); atividade da enzima lactato desidrogenase nas brânquias (LDH_brq) e no fígado (LDH_fig); e atividade da enzima malato desidrogenase nas brânquias (MDH_brq) e no fígado (MDH_fig). Classificação por setores e por estações de coleta: Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 1 (VIX1)].



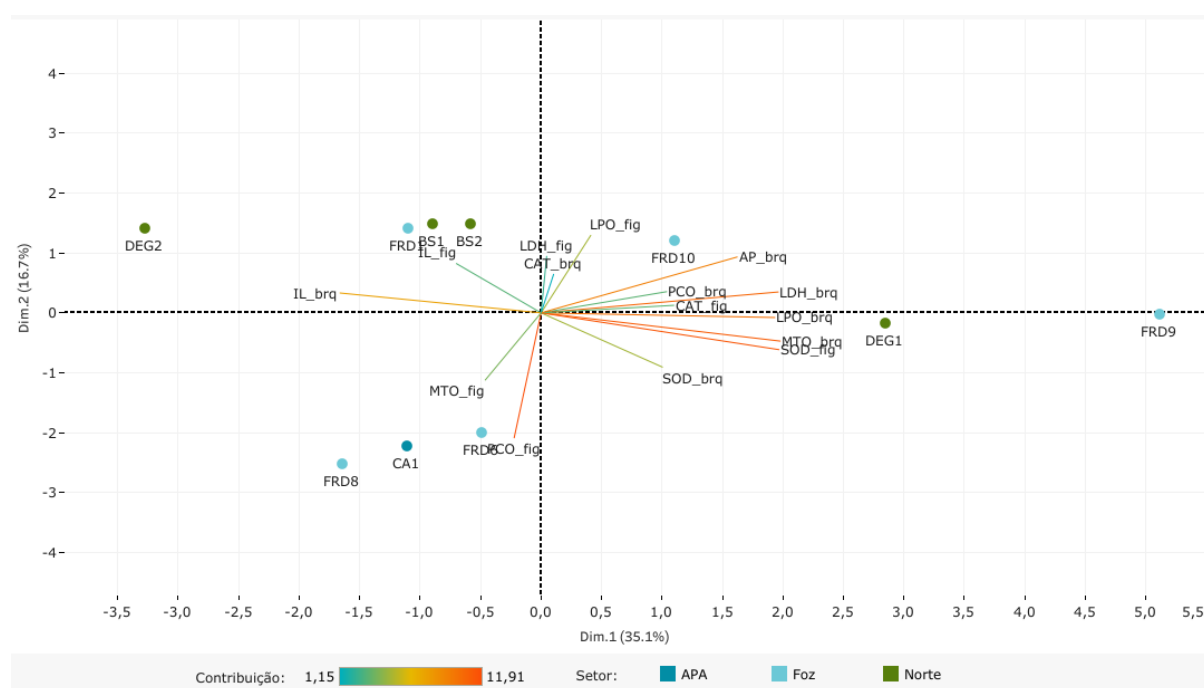
Na Figura 45, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 34,0% e por 19,5%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes onívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 53,5% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 45 também auxilia na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis dos biomarcadores nos peixes onívoros do Ambiente Marinho. A maior parte dos biomarcadores são relevantes para a PCA e se encontram agrupados, preferencialmente, nos quadrantes à direita. Os mesmos indicam que a maior parte das alterações fisiológicas ocorrem no fígado dos peixes, salvo o PCO no músculo e o LDH nas brânquias. Os biomarcadores sítios AP, IL no fígado e MDH nas brânquias e no fígado não são importantes para a PCA. O Setor Foz está associado a todos os biomarcadores, com exceção dos biomarcadores MDH no fígado e CAT nas brânquias. Assim, fazendo deste Setor o mais impactado. O Setor Norte se relaciona com os biomarcadores nos quadrantes à esquerda. Ainda, o Setor Sul se associa com CAT nas brânquias e MDH no fígado.

Figura 46: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecidos de peixes onívoros coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação no fígado (LPO_fig); concentração de metalotioneína no fígado (MTO); níveis de proteínas carboniladas no músculo (PCO); níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) no sangue (AP); índices médios de lesões histopatológicas nas brânquias (IL_brq) e no fígado (IL_fig); atividade da enzima catalase nas brânquias (CAT_brq) e no fígado (CAT_fig); atividade da enzima lactato desidrogenase nas brânquias (LDH_brq) e no fígado (LDH_fig); e atividade da enzima malato desidrogenase nas brânquias (MDH_brq) e no fígado (MDH_fig). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



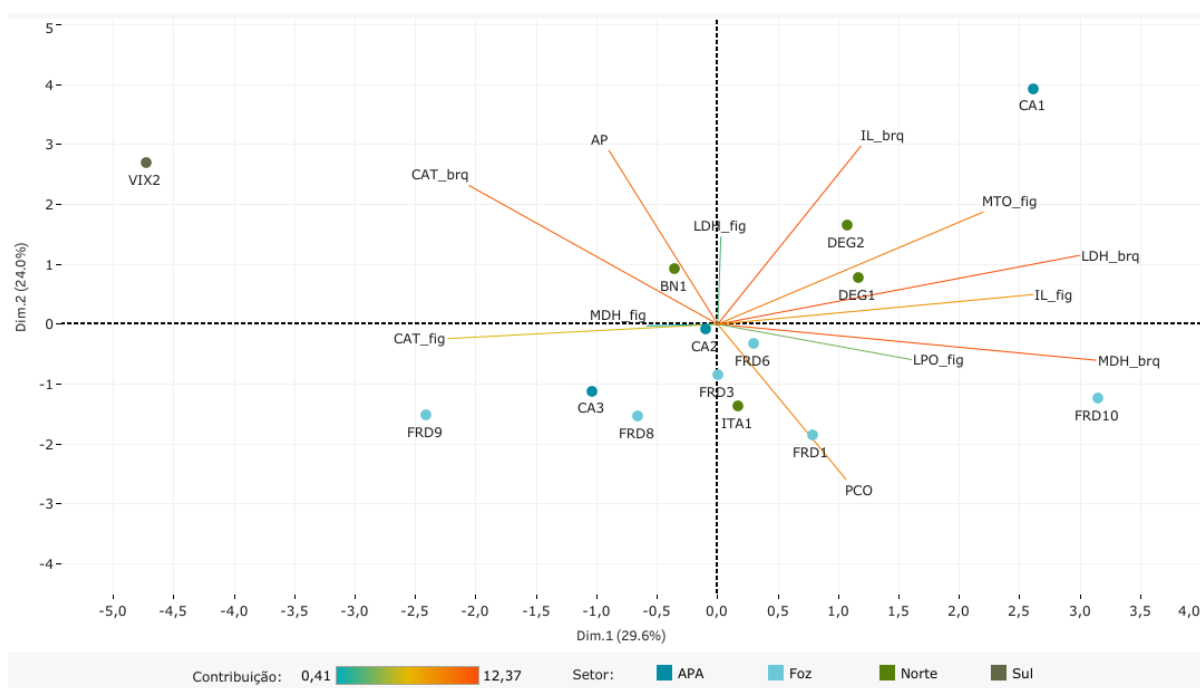
Na Figura 46, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 26,6% e por 23,3%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes onívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 49,9% da variabilidade total dos dados. A Figura 46 também auxilia na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis dos biomarcadores nos peixes onívoros do Ambiente Marinho. Nota-se que a grande parte dos biomarcadores investigados são relevantes para a PCA e estão agrupados nos quadrantes à direita. O Setor Foz se associa com os biomarcadores nos quadrantes inferiores. Em relação ao Setor Sul, este se associa ao LDH, MDH e MTO no fígado, e IL, MDH e CAT nas brânquias. O Setor Norte se vincula com os biomarcadores: CAT, LPO e IL no fígado; IL e LDH nas brânquias; e PCO no músculo. O Setor APA (CA1) se associa a CAT nas brânquias e MDH nas brânquias.

Figura 47: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecidos de peixes onívoros coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação no fígado (LPO_fig) e nas brânquias (LPO_brq); concentração de metalotioneína nas brânquias (MTO_brq) e no fígado (MTO); níveis de proteínas carboniladas nas brânquias (PCO_brq) e no fígado (PCO_fig); níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) nas brânquias (AP_brq); índices médios de lesões histopatológicas nas brânquias (IL_brq) e no fígado (IL_fig); atividade da enzima catalase nas brânquias (CAT_brq) e no fígado (CAT_fig); atividade da enzima lactato desidrogenase nas brânquias (LDH_brq) e no fígado (LDH_fig); e atividade de superóxido dismutase nas brânquias (SOD_brq) e no fígado (SOD_fig). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Degredo 1 (DEG1) e Degredo 2 (DEG2)].



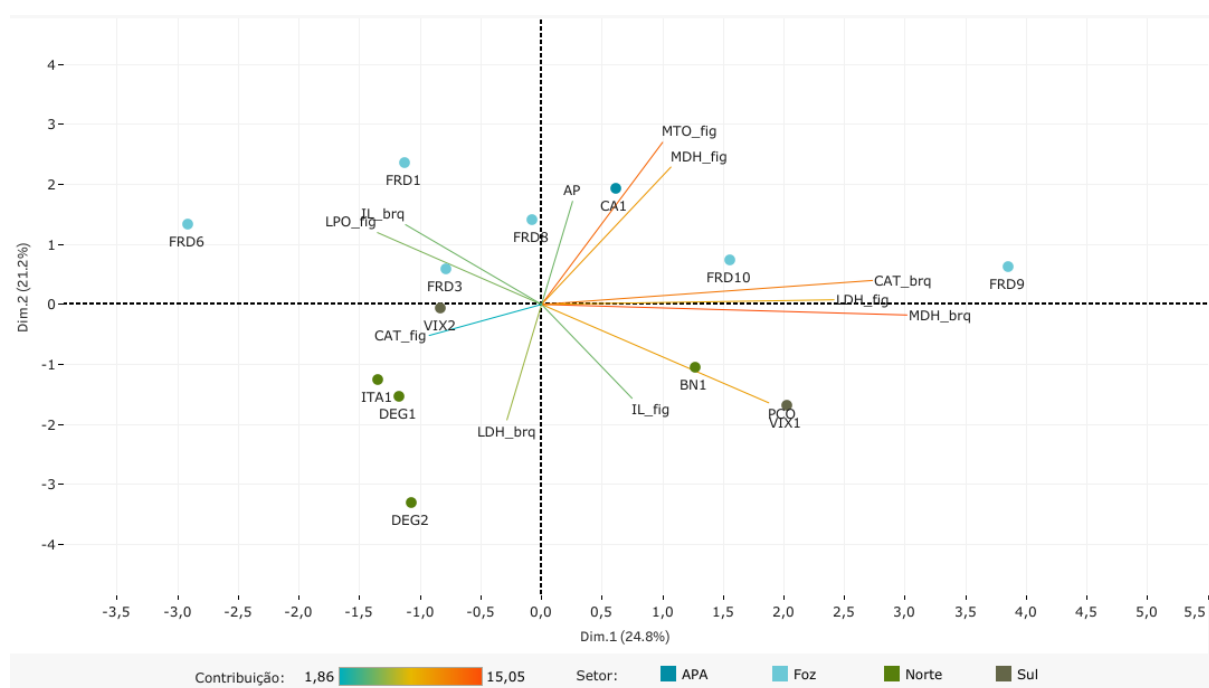
Na Figura 47, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 35,1% e por 16,7%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes onívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 51,8% da variabilidade total dos dados. Verifica-se que a maior parte dos biomarcadores que mais contribuem para a PCA são relacionados a alterações fisiológicas nas brânquias dos peixes. Ainda, a mesma se encontra concentrada nos quadrantes à direita. O Setor Foz se associa a todos os biomarcadores. Em seguida, o Setor Norte se vincula com os biomarcadores sítios AP, LDH, LPO, MTO, CAT e PCO nas brânquias e SOD, LDH e CAT no fígado. Por último, a estação CA1 do Setor APA está relacionada com os biomarcadores PCO e MTO no fígado.

Figura 48: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecidos de peixes carnívoros coletados durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação no fígado (LPO_fig); concentração de metalotioneína no fígado (MTO_fig); níveis de proteínas carboniladas no músculo (PCO); níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) no sangue (AP); índices médios de lesões histopatológicas nas brânquias (IL_brq) e no fígado (IL_fig); atividade da enzima catalase nas brânquias (CAT_brq) e no fígado (CAT_fig); atividade da enzima lactato desidrogenase nas brânquias (LDH_brq) e no fígado (LDH_fig); e atividade da enzima malato desidrogenase nas brânquias (MDH_brq) e no fígado (MDH_fig). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2) e Costa das Algas 3 (CA3)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 2 (VIX2)].



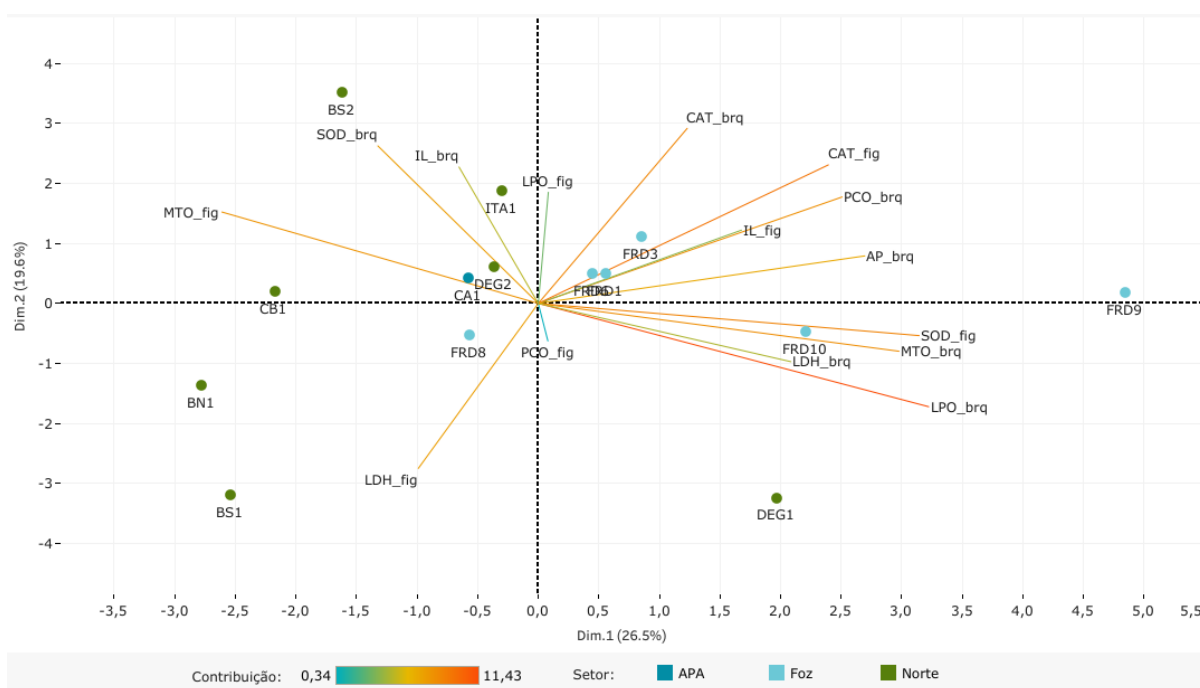
Na Figura 48, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 29,6% e por 24,0%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes carnívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 53,6% da variabilidade total dos dados. Observa-se que a maior parte dos biomarcadores investigados são relevantes para a PCA. A estação CA1 do Setor APA demonstra se associar aos biomarcadores do quadrante superior à direita e aos sítios AP. O Setor Foz se encontra agrupado nos quadrantes inferiores, assim associando-se aos biomarcadores aí localizados. O Setor Sul está associado com sítios AP, CAT no fígado e nas brânquias, e MDH no fígado. O Setor Norte mostra uma relação com IL nas brânquias e MTO no fígado.

Figura 49: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecidos de peixes carnívoros coletados durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação no fígado (LPO_fig); concentração de metalotioneína no fígado (MTO_fig); níveis de proteínas carboniladas no músculo (PCO); níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) no sangue (AP); índices médios de lesões histopatológicas nas brânquias (IL_brq) e no fígado (IL_fig); atividade da enzima catalase nas brânquias (CAT_brq) e no fígado (CAT_fig); atividade da enzima lactato desidrogenase nas brânquias (LDH_brq) e no fígado (LDH_fig); e atividade da enzima malato desidrogenase nas brânquias (MDH_brq) e no fígado (MDH_fig). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)]; e Sul [Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



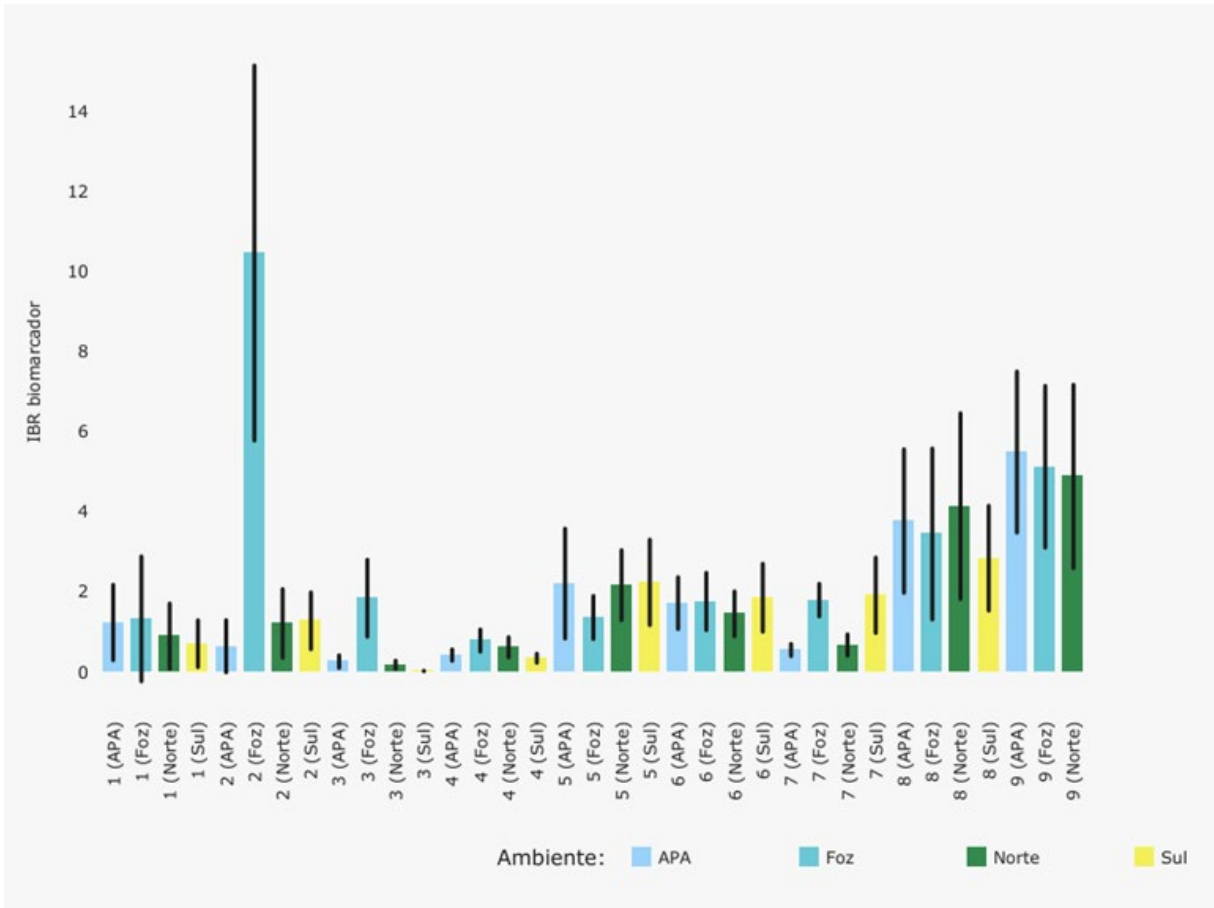
Na Figura 49, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 24,8% e por 21,2%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes carnívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 46,0% da variabilidade total dos dados. É possível observar que os biomarcadores mais importantes para a PCA estão concentrados nos quadrantes à direita. O Setor Foz se associa aos biomarcadores dos quadrantes superiores. Já o Setor Norte está relacionado aos biomarcadores CAT e IL no fígado, LDH nas brânquias e PCO no músculo. O Setor Sul se vincula ao PCO no músculo, MDH nas brânquias, e IL e CAT no fígado. A estação CA1 do Setor APA apresenta uma associação com os biomarcadores MTO e MDH no fígado e sítios AP no sangue.

Figura 50: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecidos de peixes carnívoros coletados durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação no fígado (LPO_fig) e nas brânquias (LPO_brq); concentração de metalotioneína nas brânquias (MTO_brq) e no fígado (MTO); níveis de proteínas carboniladas nas brânquias (PCO_brq) e no fígado (PCO_fig); níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) nas brânquias (AP_brq); índices médios de lesões histopatológicas nas brânquias (IL_brq) e no fígado (IL_fig); atividade da enzima catalase nas brânquias (CAT_brq) e no fígado (CAT_fig); atividade da enzima lactato desidrogenase nas brânquias (LDH_brq) e no fígado (LDH_fig); e atividade de superóxido dismutase nas brânquias (SOD_brq) e no fígado (SOD_fig). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 1 (CB1), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2) e Itaúnas 1 (ITA1)].



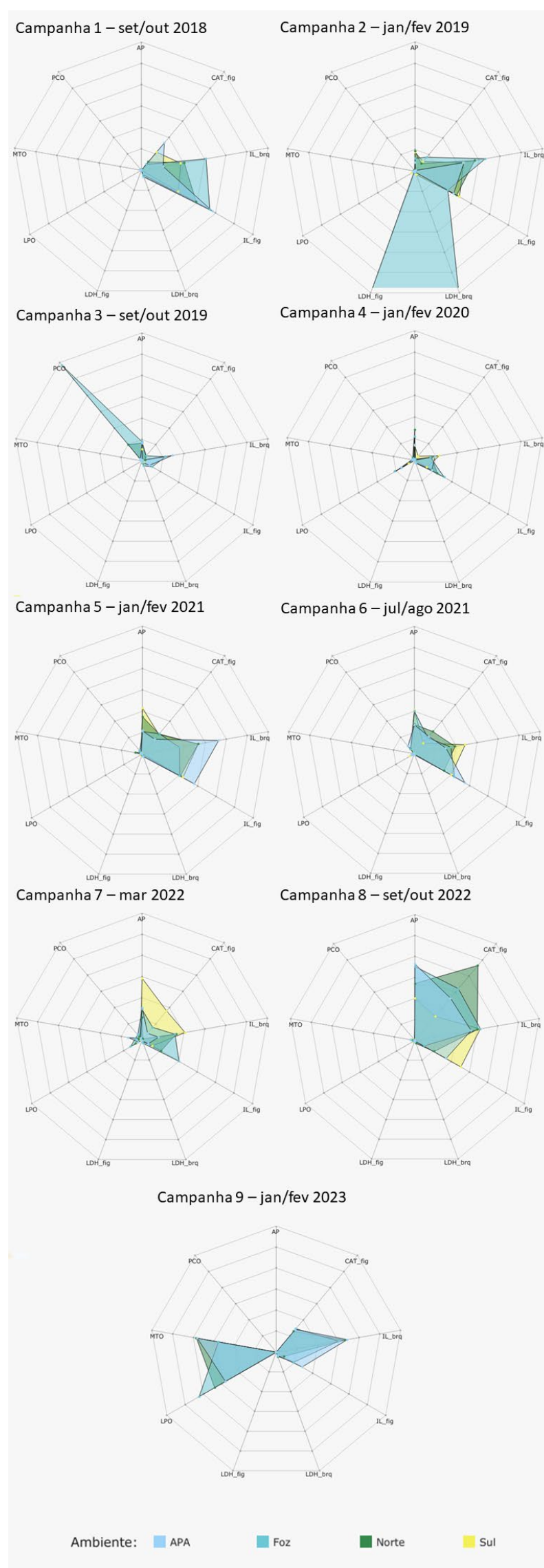
Na Figura 50, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 26,5% e por 19,6%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes carnívoros do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 46,1% da variabilidade total dos dados. A maior parte dos biomarcadores contribuem para a PCA, e os mesmos estão, preferencialmente, agrupados nos quadrantes à direita. O Setor Norte se relaciona com os biomarcadores nos quadrantes à direita, bem como LPO e CAT nas brânquias e CAT, LPO e PCO no fígado. O Setor Foz está mais agrupado nos quadrantes à direita e demonstra uma relação com LPO, MTO, LDH, sítios AP, PCO e CAT nas brânquias e CAT, IL e SOD no fígado. A maior associação do Setor Foz com os biomarcadores nas brânquias sugere que grande parte dos danos fisiológicos neste Setor são neste tecido.

Figura 51: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, fígado, músculo e sangue) de peixes (carnívoros e onívoros) 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



O gráfico de barras dos valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos das respostas dos biomarcadores nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita na Figura 51, nota-se que o IBR biomarcador nos peixes tende a aumentar gradualmente ao longo das Campanhas. A Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) distinguem-se das demais por apresentarem os maiores valores do IBR biomarcador em todos os Setores. Com exceção do Setor Foz na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), o qual demonstra um salto em seu valor, caracterizando-o com o maior resultado do índice no período do monitoramento.

Figura 52: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos de peixes (carnívoros e onívoros) 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação no fígado (LPO); concentração de metalotioneína no fígado (MTO); níveis de proteínas carboniladas da campanha 1 à 8 no músculo e na campanha 9 no fígado (PCO); níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) da campanha 1 à 8 no sangue e na 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). Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1– a partir da campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – a partir da campanha 9), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da campanha 1 à 8)].



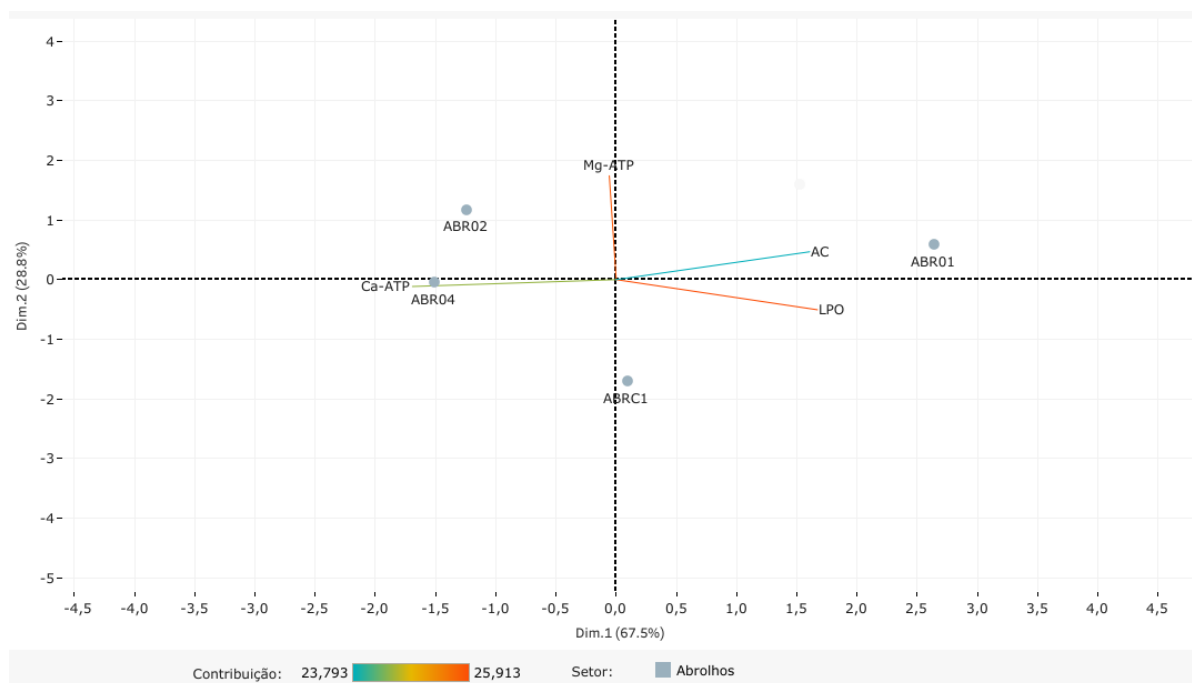
Os gráficos de radar, na Figura 52, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) os Setores Foz e Sul contêm os maiores resultados do IBR biomarcador. No Setor Foz, os biomarcadores sítios AP, IL nas brânquias e no fígado contribuem com os maiores valores para a geração do índice. Em relação ao Setor Sul os biomarcadores mais importantes são os sítios AP, CAT no fígado e IL nas brânquias. O Setor Norte assim como o Setor Foz têm como biomarcadores mais significantes para a composição dos índices os sítios AP, o IL nas brânquias e no fígado.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os biomarcadores mais relevantes para a formação do IBR biomarcador em todos os Setores são os mesmos, sendo eles os sítios AP, CAT no fígado, IL nas brânquias e no fígado. Vale ressaltar que o Setor Norte apresenta um pico no valor do biomarcador CAT no fígado.

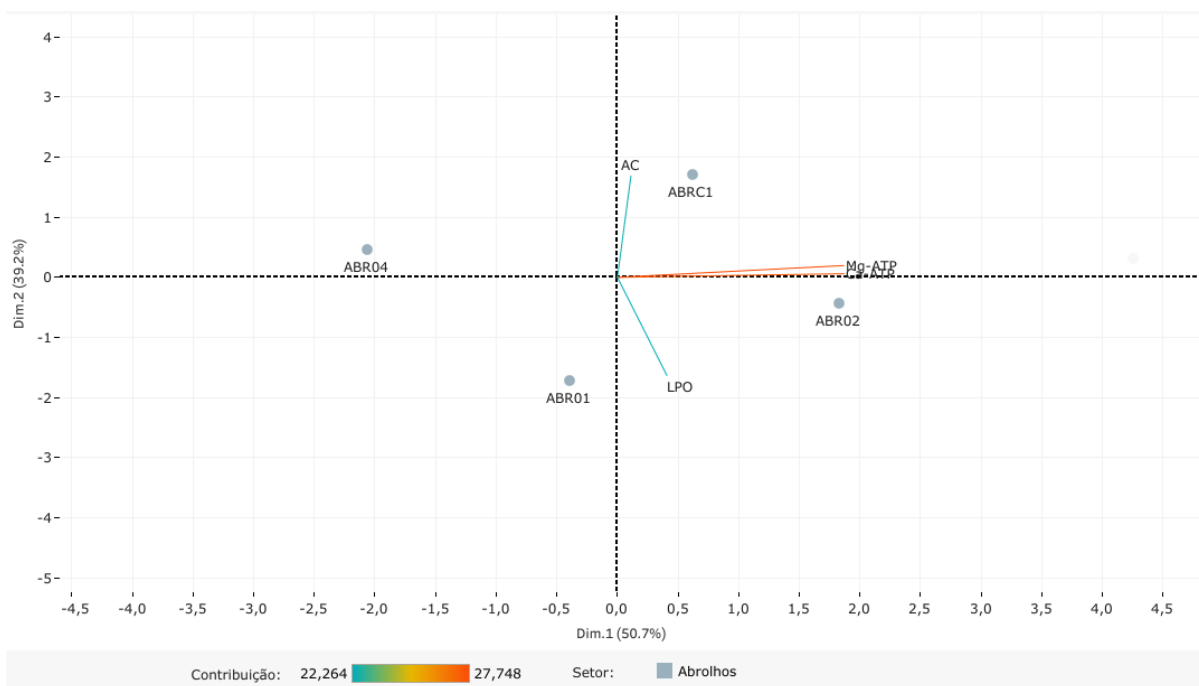
Os três Setores na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) apresentam um padrão similar de contribuição dos biomarcadores para o IBR biomarcador, em que as análises mais importantes são: MTO; LPO; CAT no fígado; IL nas brânquias; e IL no fígado. Em relação ao Setor Norte, este contém como análises mais relevantes para o índice todas citadas anteriormente, com exceção da análise IL no fígado.

Figura 53: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados nas amostras de coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); atividade da enzima anidrase carbônica (AC); atividade da enzima Ca-ATPase (Ca-ATP); e atividade da enzima Mg-ATPase (Mg-ATP). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



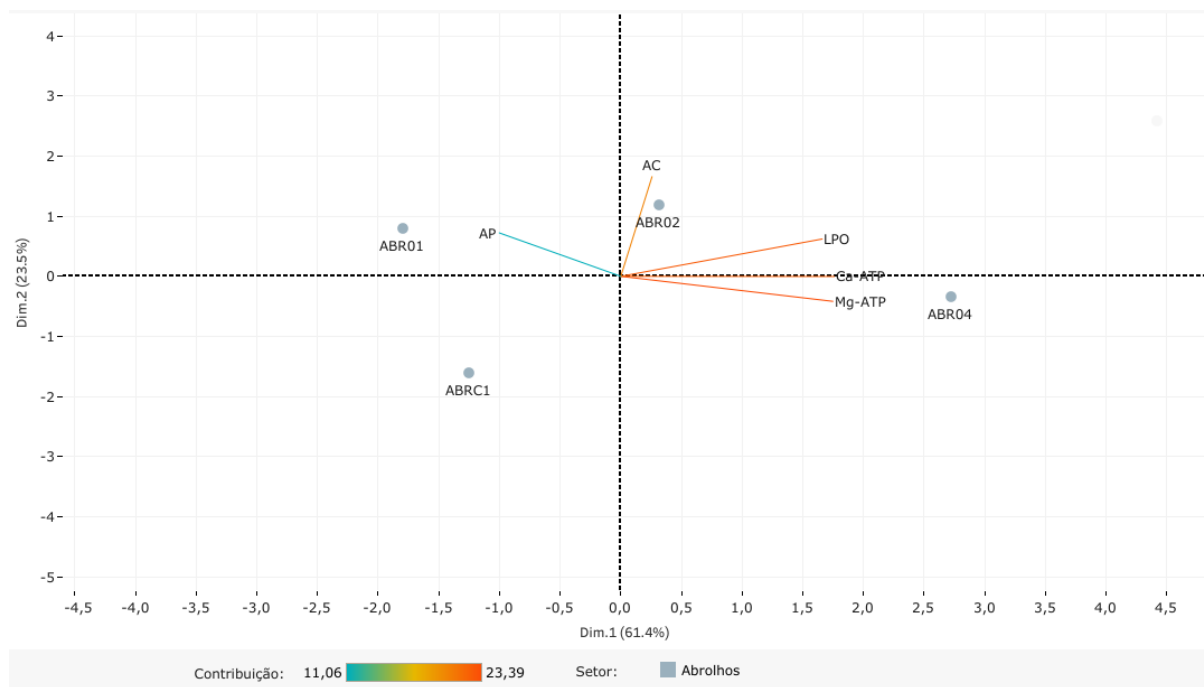
Na Figura 53, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 67,5% e por 28,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no coral da espécie *Mussismilia harttii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 96,3% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 53 auxiliamna visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis dos biomarcadores no coral e no hidrocoral do Setor Abrolhos do Ambiente Marinho. Nota-se que os biomarcadores que mais contribuem para a PCA são o Mg-ATP e LPO. A estação ABR01 está relacionada com os biomarcadores AC e LPO. A estação ABR02 apresenta uma relação com os biomarcadores Mg-ATP e Ca-ATP. Em relação a estação ABR04, a mesma tem uma associação com o biomarcador Ca-ATP. A estação ABRC1 não demonstra apresentar uma relação com os biomarcadores avaliados, segundo a PCA.

Figura 54: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados nas amostras de coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); atividade da enzima anidrase carbônica (AC); atividade da enzima Ca-ATPase (Ca-ATP); e atividade da enzima Mg-ATPase (Mg-ATP). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



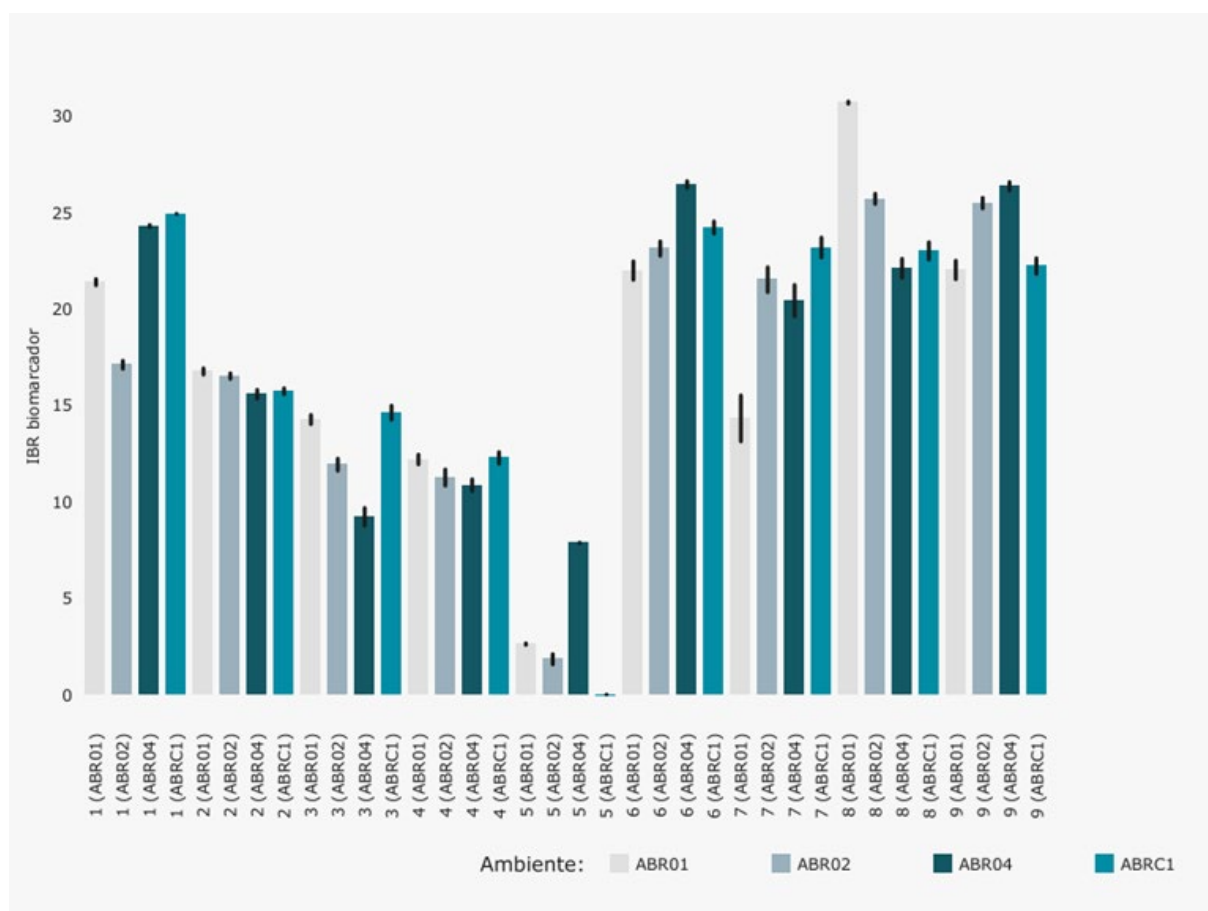
Na Figura 54, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 50,7% e por 39,2%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no coral da espécie *Mussismilia harttii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 89,9% da variabilidade total dos dados. Observa-se que todas as análises de biomarcadores realizadas formam um agrupamento nos quadrantes à direita. Os biomarcadores Mg-ATP e Ca-ATP são os que mais contribuem para a PCA. Em relação a estação ABR01, esta está relacionada com o biomarcador LPO. A estação ABR02 demonstra apresentar um vínculo com os biomarcadores Mg-ATP e Ca-ATP. Já, a estação ABRC1 se associa ao biomarcador AC. No que concerne à estação ABR04, a mesma não apresenta uma associação com os biomarcadores avaliados, segundo a PCA.

Figura 55: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados nas amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); atividade da enzima anidrase carbônica (AC); atividade da enzima Ca-ATPase (Ca-ATP); atividade da enzima Mg-ATPase (Mg-ATP); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) (AP). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



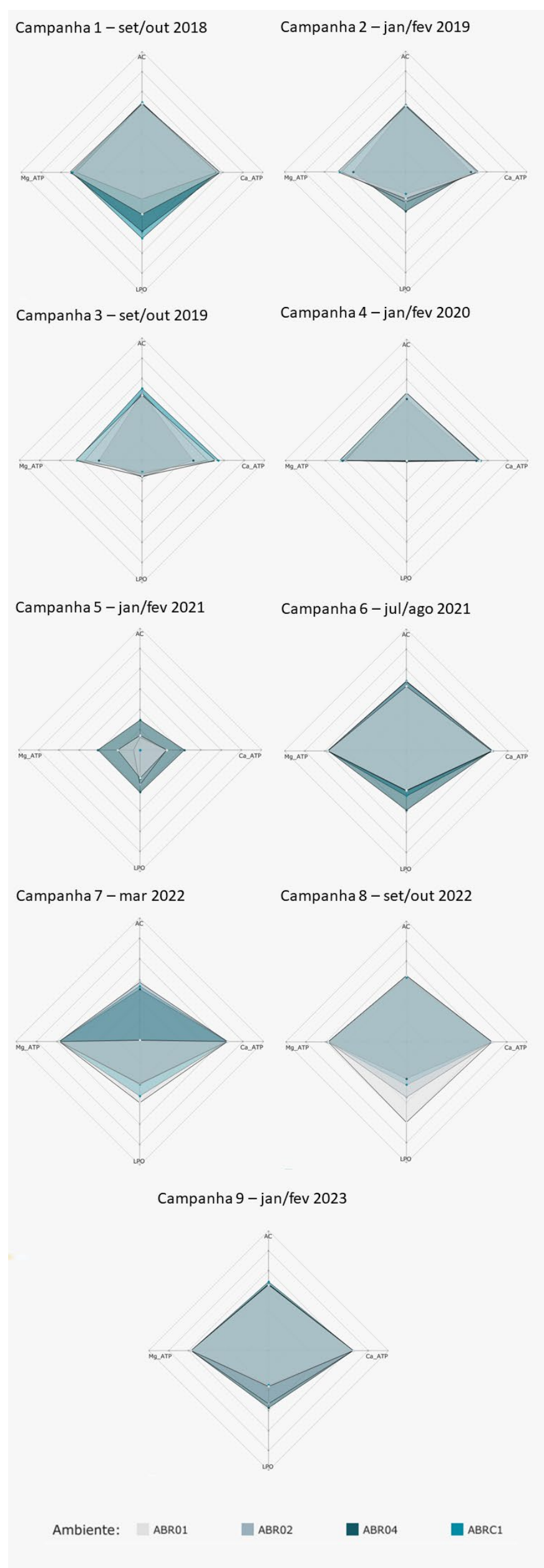
Na Figura 55, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 61,4% e por 23,5%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no coral da espécie *Mussismilia hartii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 84,9% da variabilidade total dos dados. Nota-se que, com exceção do biomarcador sítios AP, todos os biomarcadores denotam uma relevância para a PCA. Ainda, os biomarcadores mais importantes estão concentrados nos quadrantes à direita. As estações ABR01 e ABR02 apresentam, respectivamente, uma associação com as análises dos sítios AP e do AC. Em relação a estação ABR04, esta está vinculada aos biomarcadores LPO, Mg-ATP e Ca-ATP. A estação ABRC1 não demonstra relação com os biomarcadores avaliados, segundo a PCA.

Figura 56: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



O gráfico de barras dos valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos das respostas dos biomarcadores no coral da espécie *M. hartii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *M. alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita na Figura 56, os valores do IBR biomarcador são altos em todos os Setores em todas as Campanhas, com exceção da Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso). Da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) à Campanha 5 há uma queda gradual dos valores do índice em todos os Setores, entretanto, na Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco) os valores do mesmo voltam a subir abruptamente, os quais se mantem altos até a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso).

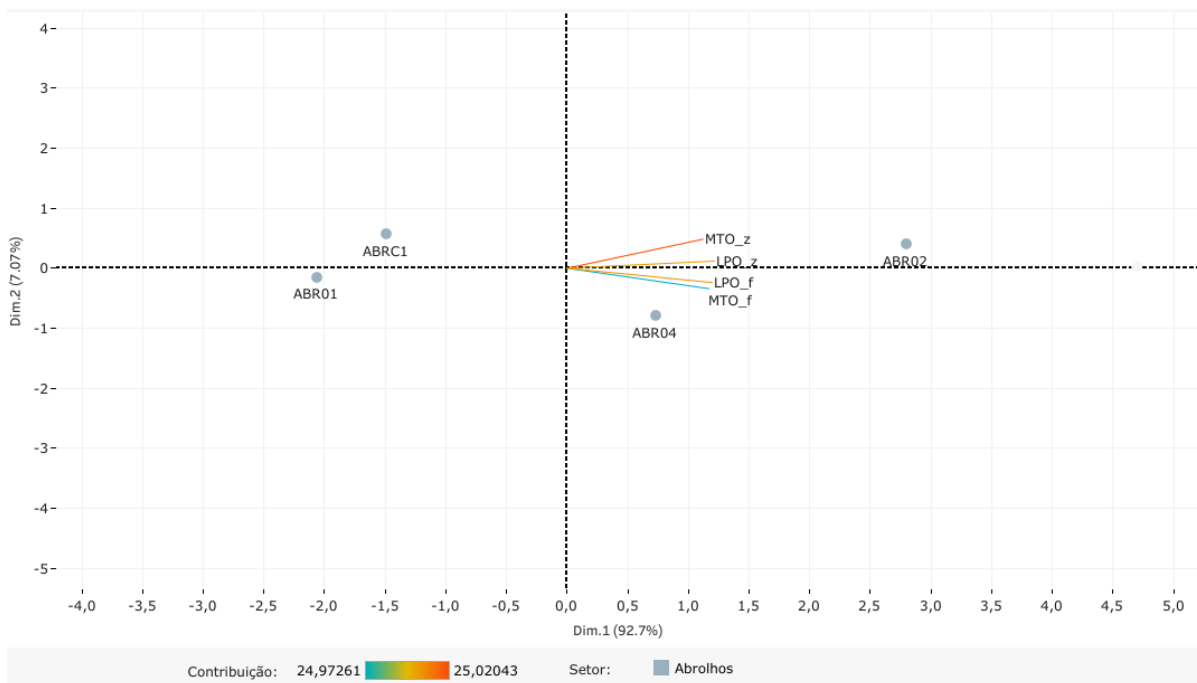
Figura 57: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); atividade da enzima anidrase carbônica (AC); atividade da enzima Ca-ATPase (Ca-ATP); e atividade da enzima Mg-ATPase (Mg-ATP). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



Os gráficos de radar, na Figura 57, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores no coral da espécie *M. harttii* em conjunto com o hidrocoral da espécie *M. alcicornis* do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice.

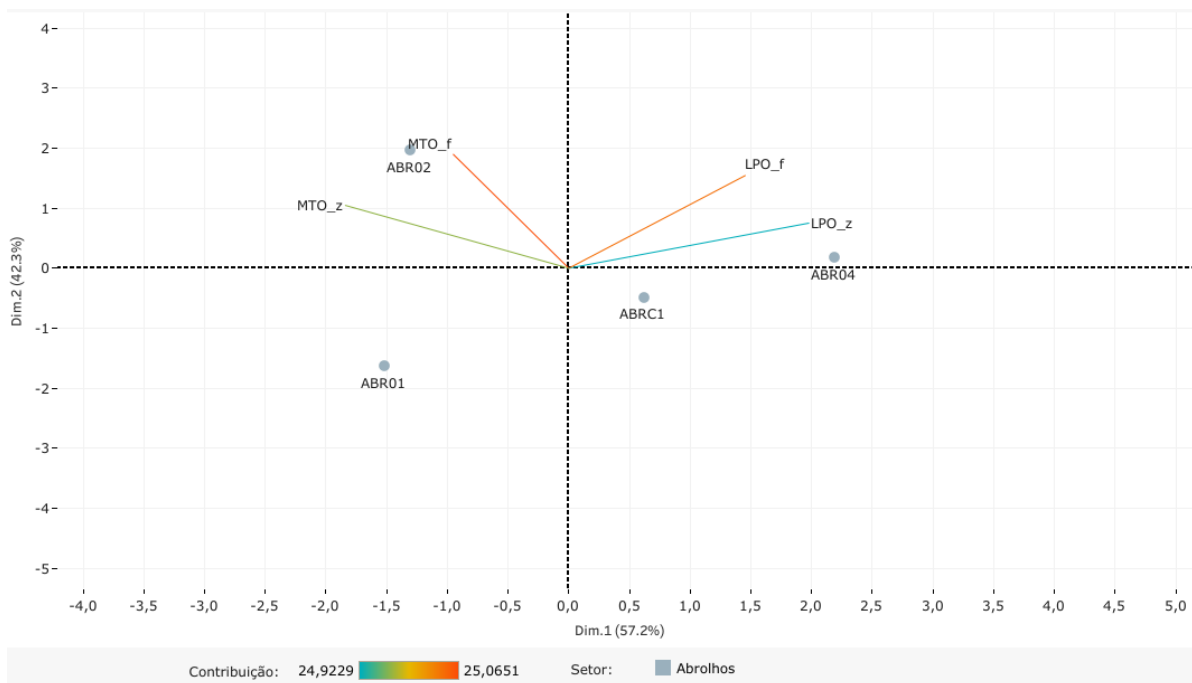
Todos os biomarcadores analisados apresentam valores altos na contribuição para a composição do IBR biomarcador em todas as estações de coleta das três Campanhas de foco deste relatório (Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso)).

Figura 58: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de plâncton de Abrolhos [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



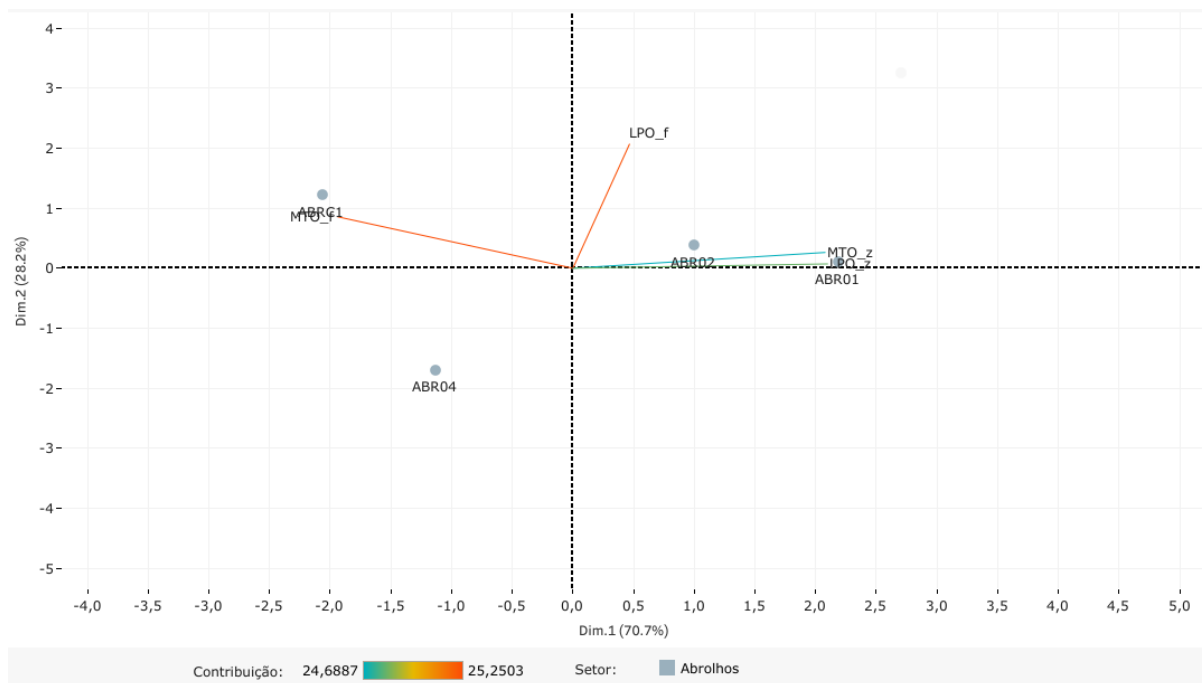
Na Figura 58, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 92,7% e por 7,07%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 99,7% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 58 auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis dos biomarcadores no plâncton do Setor Abrolhos do Ambiente Marinho. Analisando a PCA, nota-se que todos os biomarcadores estão agrupados nos quadrantes à direita. Ainda, o biomarcador MTO no fitoplâncton é o que apresenta a menor contribuição para a PCA. A estação ABR02 denota uma associação com todos os biomarcadores avaliados. Ainda, a estação ABR04 apresenta uma relação com o biomarcador MTO no fitoplâncton. Em contraste, as estações ABR01 e ABRC1 não demonstram se associarem com os biomarcadores investigados, segundo a PCA.

Figura 59: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de plâncton de Abrolhos [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



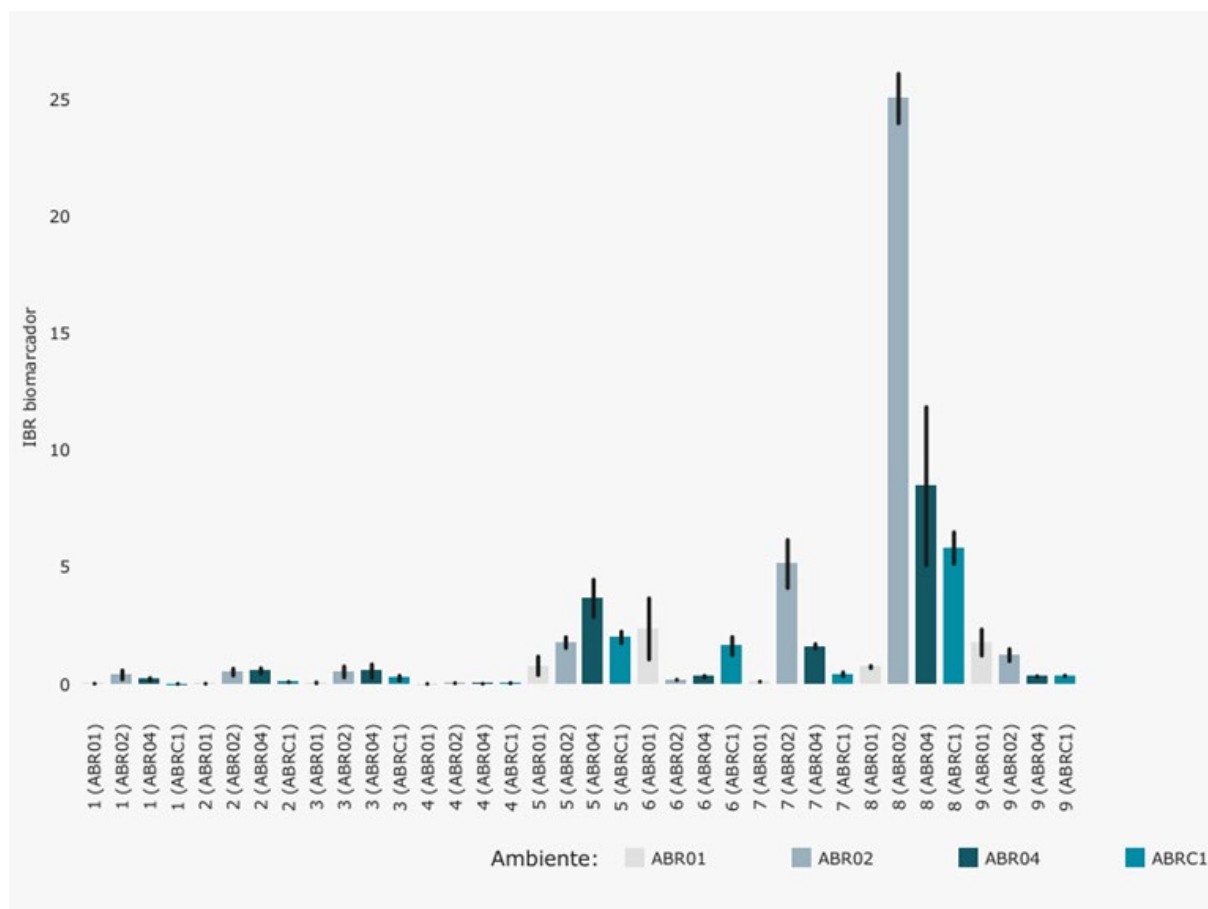
Na Figura 59, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 57,2% e por 42,3%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 99,5% da variabilidade total dos dados. Observa-se uma compartimentação entre as análises de biomarcadores, em que o: MTO no fitoplâncton e no zooplâncton estão agrupados no quadrante superior à esquerda; e LPO fitoplâncton e no zooplâncton estão agrupados no quadrante superior à direita. Os biomarcadores que mais contribuem para a PCA são o MTO e o LPO no fitoplâncton. A estação ABR02 está mais associada aos biomarcadores no quadrante superior à esquerda e ao LPO no fitoplâncton. Já, a estação ABR04 está relacionada aos biomarcadores no quadrante superior à direita. Em relação a estação ABR01 está apresenta uma relação com o MTO no zooplâncton. A estação ABRC1 não apresentam uma relação com os biomarcadores analisados, segunda a PCA.

Figura 60: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de plâncton de Abrolhos [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



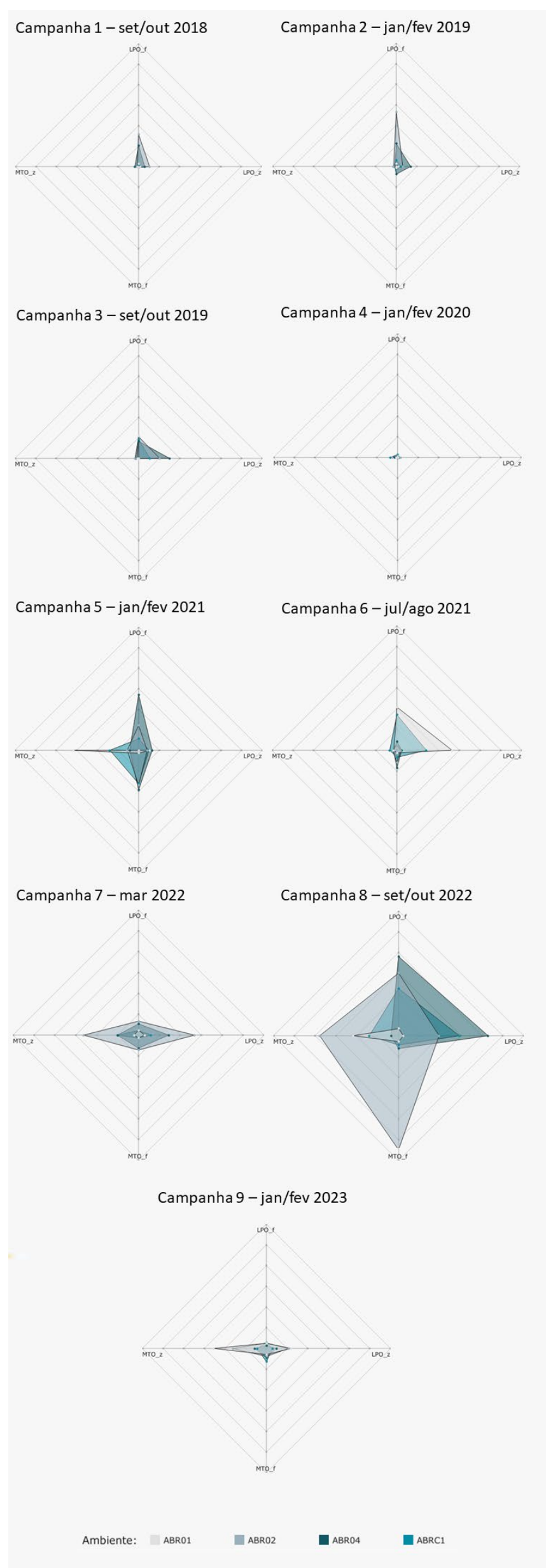
Na Figura 60, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 70,7% e por 28,2%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 98,9% da variabilidade total dos dados. Observa-se que todos os biomarcadores avaliados estão concentrados nos quadrantes superiores. As análises de biomarcadores que mais contribuem para a PCA são o MTO e LPO no fitoplâncton. As estações ABR01 e ABR02 demonstram uma associação com os biomarcadores do quadrante superior à direita. Já a análise MTO no fitoplâncton está relacionada com a estação ABRC1. Em relação a estação ABR04, esta não apresenta uma forte relação com as análises de biomarcadores realizadas, segundo a PCA.

Figura 61: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de plâncton de Abrolhos (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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



O gráfico de barras dos valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos das respostas dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. De maneira geral, na Figura 61 pode-se observar que à medida do tempo há uma tendência de aumento do índice nas estações de coleta. Além disso, os menores valores do IBR biomarcador estão concentrados nas primeiras Campanhas (Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco) e Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso)). A partir da Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso) os resultados do índice apresentam uma inclinação a aumentarem, com destaque a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), a qual é composta pelos maiores valores do IBR biomarcador. Vale ressaltar que, as estações ABR02 e ABR04 são as que denotam os maiores valores do índice na maior parte das Campanhas do período de monitoramento.

Figura 62: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de plâncton de Abrolhos [fitoplâncton (_f) e zooplâncton(_z)] 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 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



Os gráficos de radar, na Figura 62, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor de Abrolhos do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice.

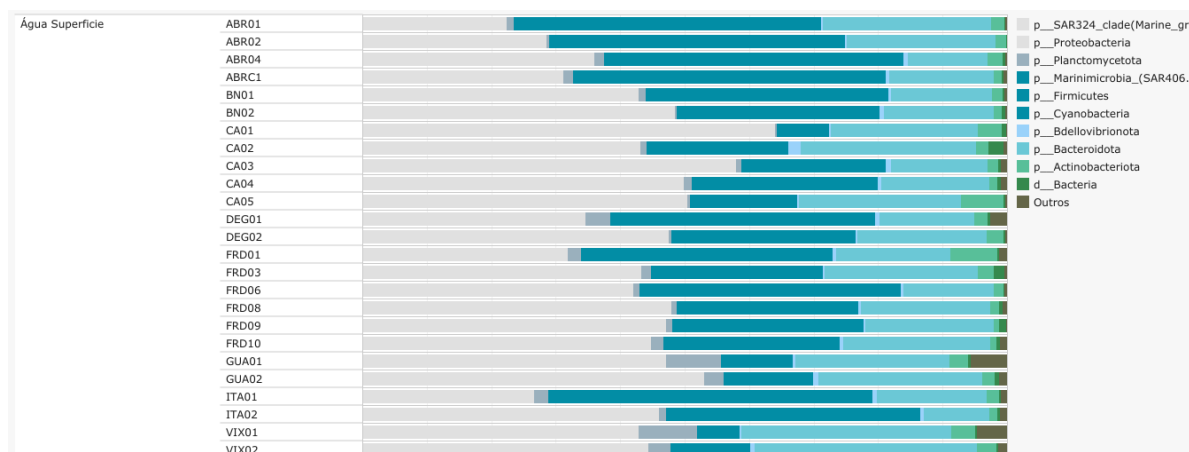
Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) o padrão de contribuição dos biomarcadores para o IBR biomarcador em todas as estações de coleta são similares, sendo os biomarcadores MTO e LPO no zooplâncton os mais relevantes para o índice.

A Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) se destaca por conter os maiores valores dos índices em todas as estações no período monitorado, com exceção da estação ABR01. Nesta Campanha 8, a estação ABR02 traz o maior valor do IBR biomarcador, em que todos biomarcadores apresentam uma contribuição relevante para sua formação. Ainda, na estação ABR02 nota-se picos de valores dos biomarcadores MTO no fitoplâncton e no zooplâncton. A estação ABR04 demonstra a contribuição relevante dos biomarcadores LPO no fitoplâncton e no zooplâncton para a composição do seu índice. As análises dos biomarcadores LPO no fitoplâncton e no zooplâncton e MTO no zooplâncton são as mais importantes para a geração do IBR biomarcador na estação ABRC1. Já na estação ABR01 a análise do biomarcador MTO no zooplâncton é a mais importante para a formação do índice.

Por fim, na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) as estações ABR01 e ABR02 trazem o mesmo perfil dos biomarcadores mais importantes que contribuem para o IBR biomarcador, sendo eles o MTO e LPO no zooplâncton. Os índices nas estações ABR04 e ABRC1 apresentam valores bastante baixos. Apesar disto, na ABR04 observa-se que os maiores valores de contribuição são dos biomarcadores MTO no zooplâncton e no fitoplâncton e LPO no zooplâncton. Já em relação a estação ABRC1, o maior valor é do MTO no fitoplâncton.

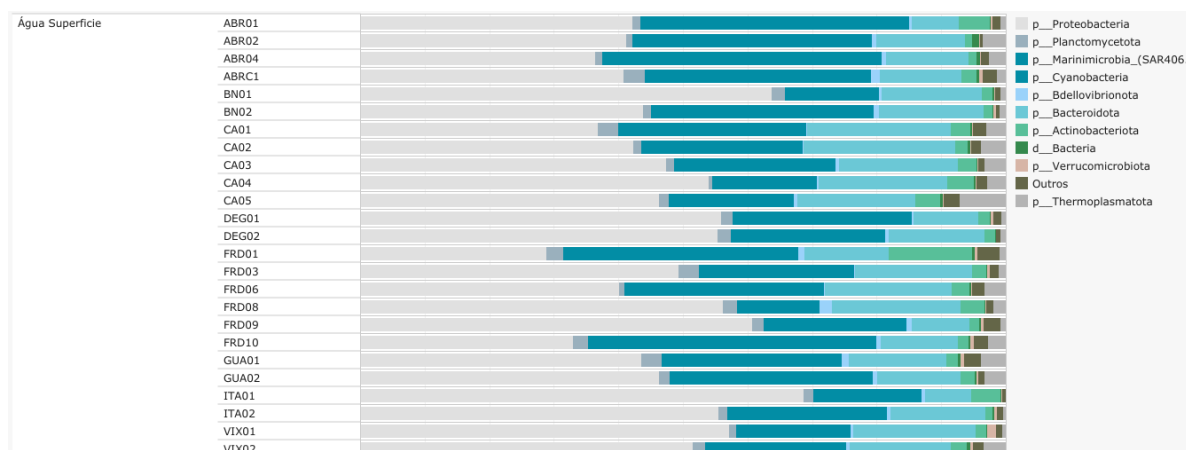
2.4 DIVERSIDADE MICROBIANA

Figura 63: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras de água de superfície do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como "Outros. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).



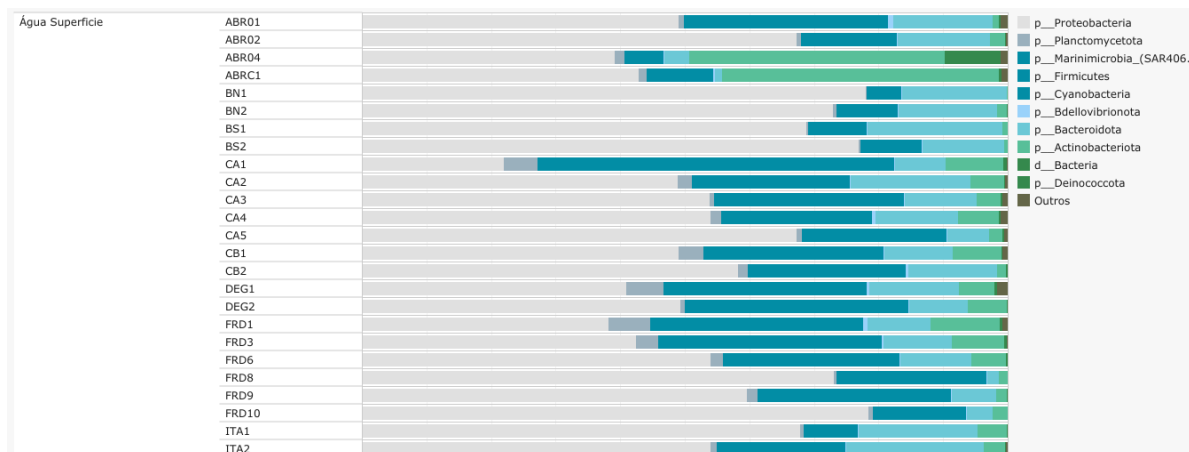
O gráfico de abundância relativa da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) demonstra que os filos mais dominantes na água de superfície em todos os Setores foram das Proteobacteria, Cyanobacteria e Bacteroidota.

Figura 64: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras de água de superfície do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).



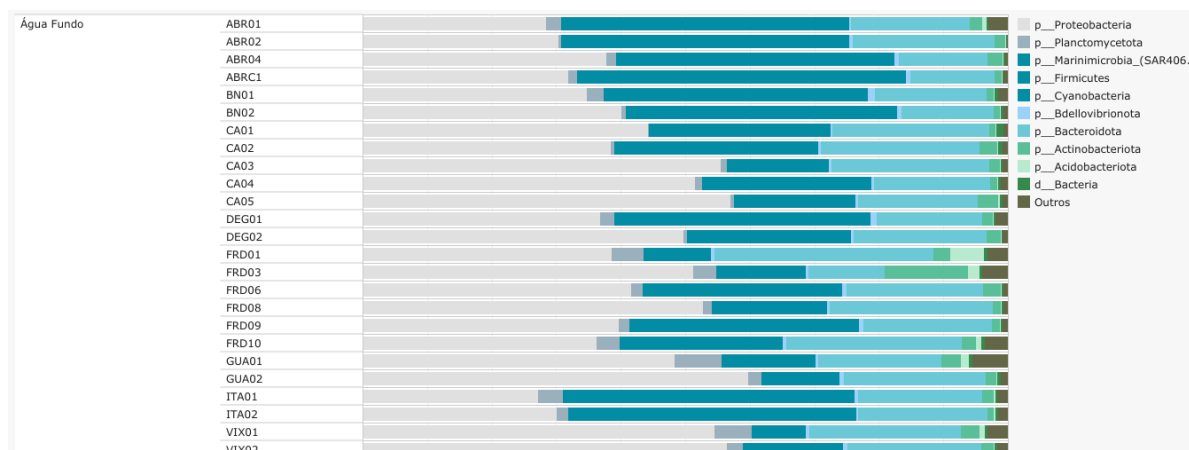
O gráfico de abundância relativa da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) demonstra que os filos mais dominantes na água de superfície em todos os Setores foram das Proteobacteria, Cyanobacteria e Bacteroidota.

Figura 65: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras de água de superfície do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Barra Seca 1 (BS1); Barra Seca 2 (BS2); Conceição da Barra 1 (CB1); Conceição da Barra 2 (CB2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Itaúnas 1 (ITA1); e Itaúnas 2 (ITA2).



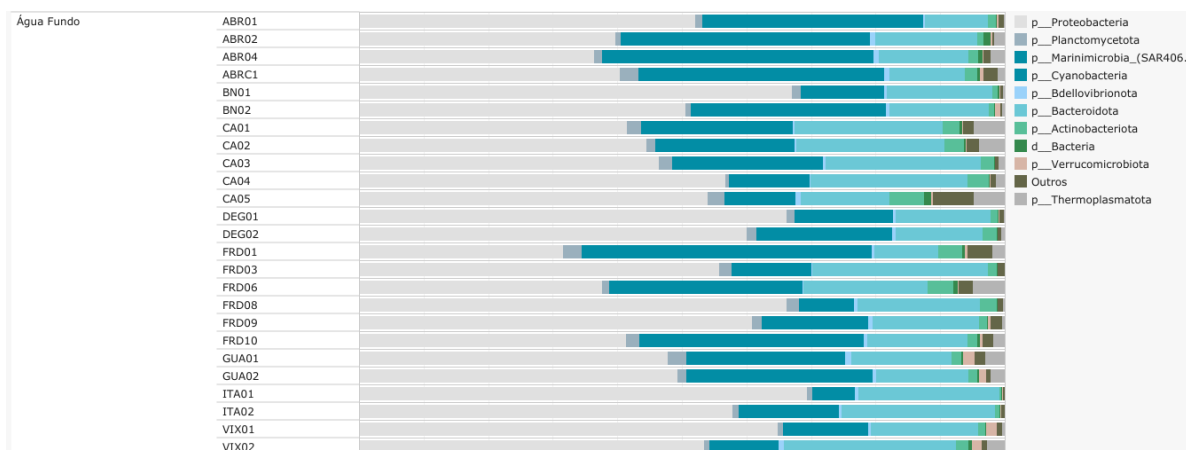
O gráfico de abundância relativa da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) revela que os filos mais dominantes na água de superfície nas estações BN1, BN2, BS1 e BS2 foram as Proteobacteria e Bacteroidota. As estações ABR01 e ABR02 exibiram como os filos mais abundantes as Proteobacteria, as Bacteroidota e as Cyanobacteria. As estações ABR04 e ABRC1 apresentaram como maiores filos contribuintes a abundancia as Proteobacteria e Actinobacteriota. Nas demais estações dos Setores APA e Norte a maior contribuição para a abundancia relativa foram dos filos das Proteobacterias, das Cyanobacteria e das Bacteroidota. A estação CA1 foi uma exceção dentre as outras do Setor APA, pois demonstrou a dominância dos filos Proteobacteria, Firmicutes, Cyanobacteria, Bacteroidota e Actinobacteriota.

Figura 66: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).



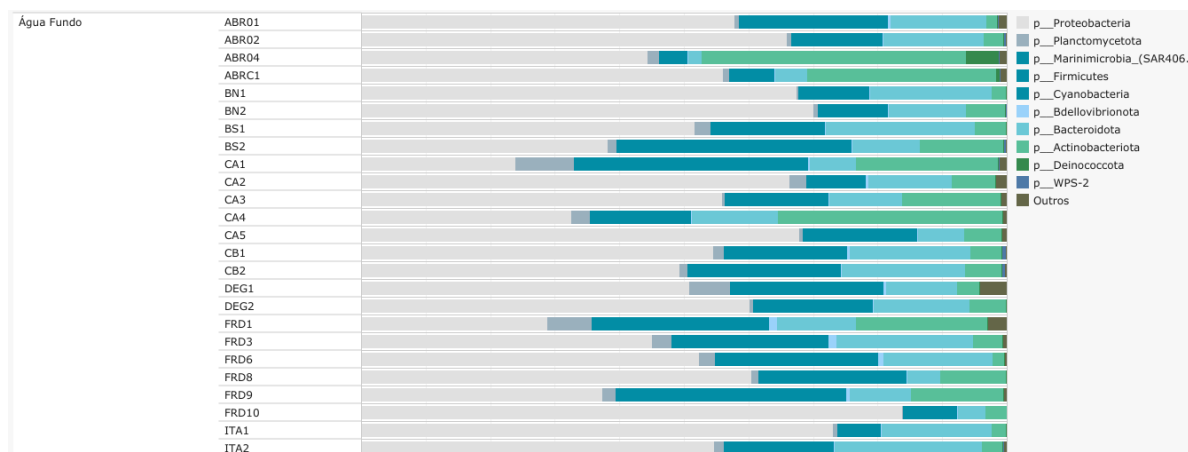
O gráfico de abundância relativa da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) revela que os filos mais dominantes na água de fundo foram das Proteobacteria, Cyanobacteria e Bacteroidota. A estação FRD3 apresentou, além dos filos dominantes que constam nas outras estações, uma relevante abundância das Actinobacteriota.

Figura 67: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).



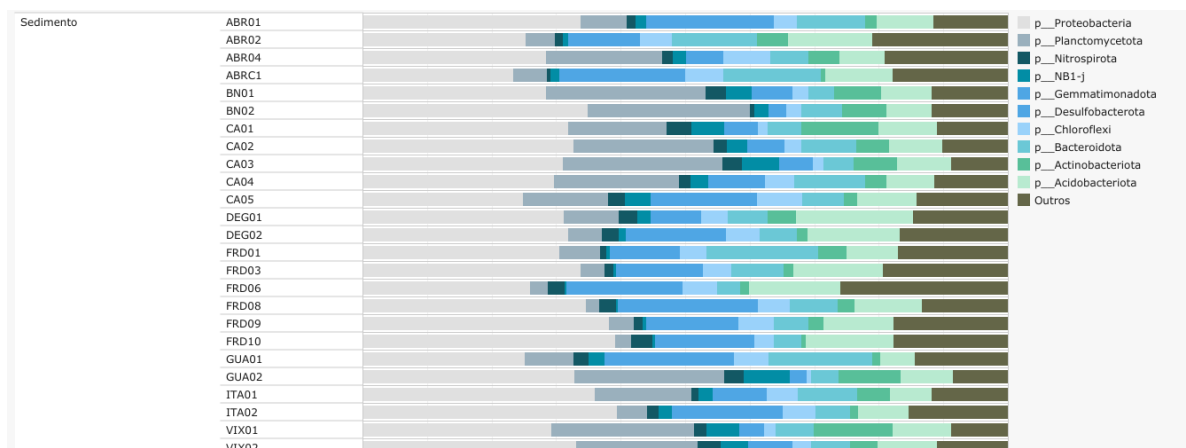
O gráfico de abundância relativa da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) revela que os filos mais dominantes na água de fundo foram das Proteobacteria, Cyanobacteria e Bacteroidota.

Figura 68: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Barra Seca 1 (BS1); Barra Seca 2 (BS2); Conceição da Barra 1 (CB1); Conceição da Barra 2 (CB2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Itaúnas 1 (ITA1); e Itaúnas 2 (ITA2).



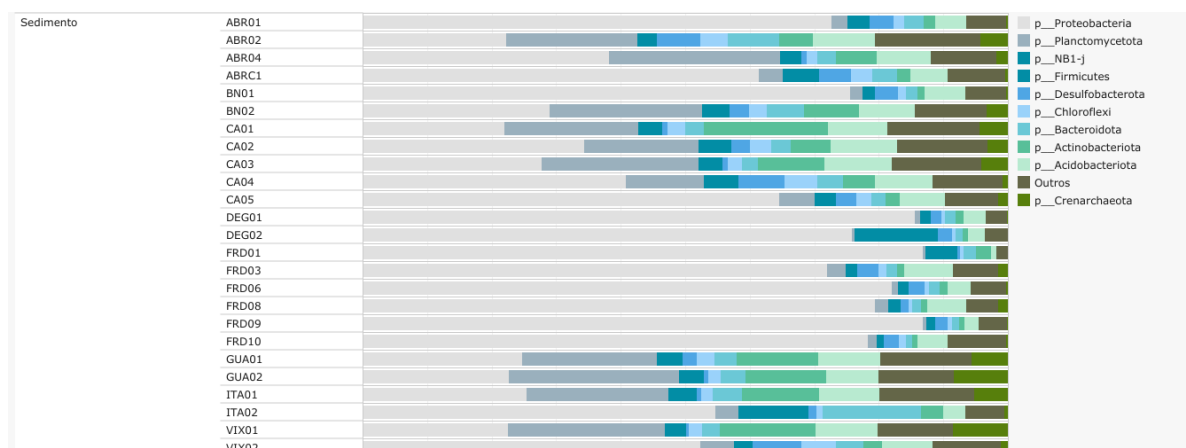
O gráfico de abundância relativa da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) revela que os filos mais dominantes na água de fundo foram das Proteobacteria, Cyanobacteria, Bacteroidota e as Actinobacteriota.

Figura 69: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).



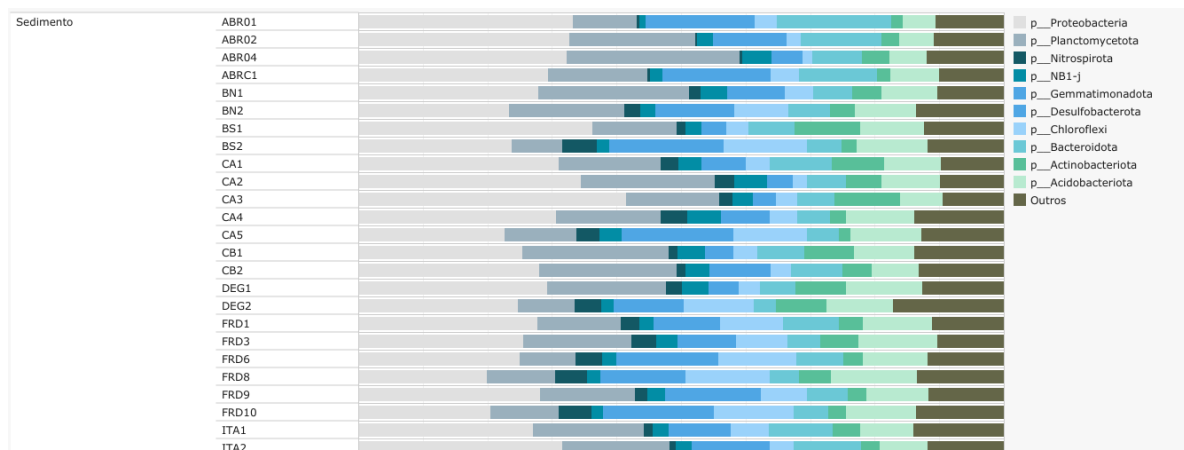
O gráfico de abundância relativa no sedimento da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) mostrou ter uma maior diversidade bacteriana em relação as amostras de água. Entretanto o filo mais abundante segue sendo o das Proteobacteria.

Figura 70: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).



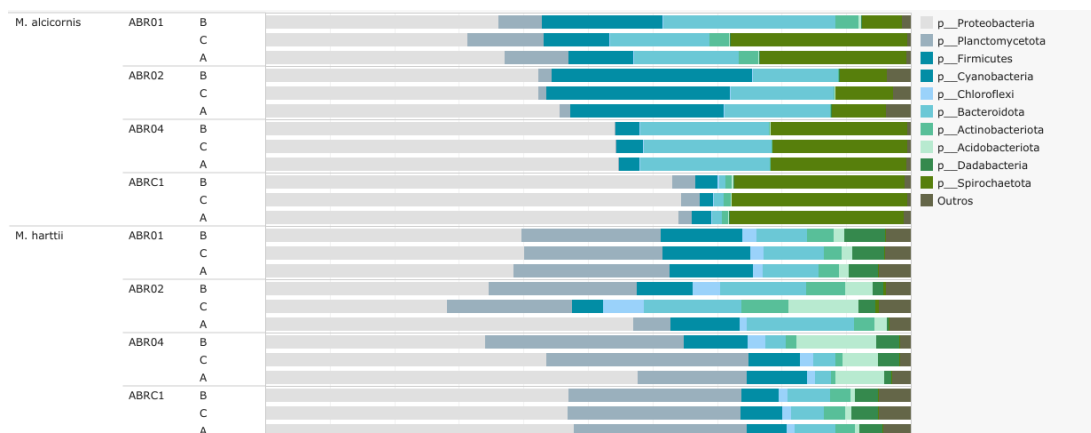
O gráfico de abundância relativa no sedimento da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) mostrou um perfil similar ao da campanha 7, sendo o filo mais o grupo das Proteobacteria.

Figura 71: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Barra Seca 1 (BS1); Barra Seca 2 (BS2); Conceição da Barra 1 (CB1); Conceição da Barra 2 (CB2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Itaúnas 1 (ITA1); e Itaúnas 2 (ITA2).



O gráfico de abundância relativa no sedimento da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) demonstra conter uma grande diversidade bacteriana, sendo o grupo mais abundante as Proteobacteria.

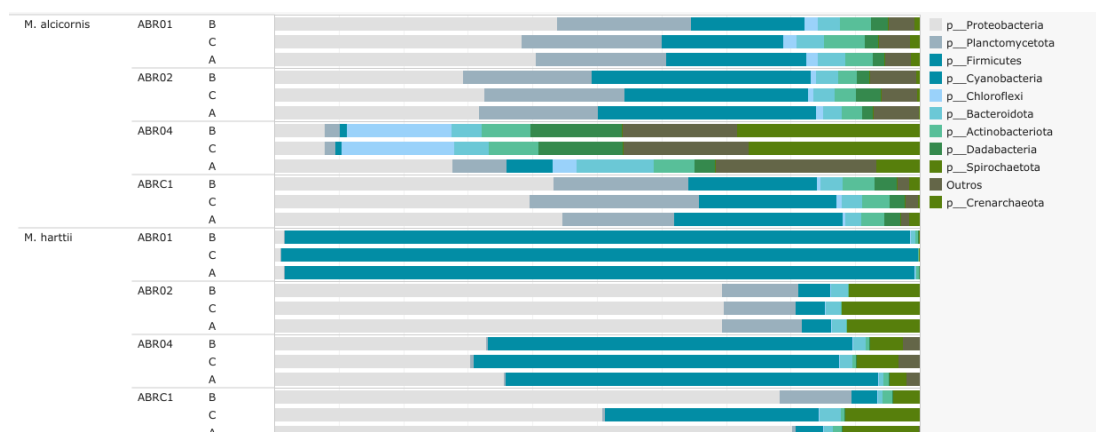
Figura 72: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras do coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); e Abrolhos 4 (ABR04).



O gráfico de abundância relativa das bactérias no hidrocoral *Millepora alcicornis*, da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), revela que os filos mais abundantes de bactérias são os das Proteobacteria, Spirochaetota, Bacteroidota, Cyanobacteria e Firmicutes.

Em relação ao coral *Mussismilia harttii*, os filos mais abundantes foram os Proteobacteria e Planctomycetota.

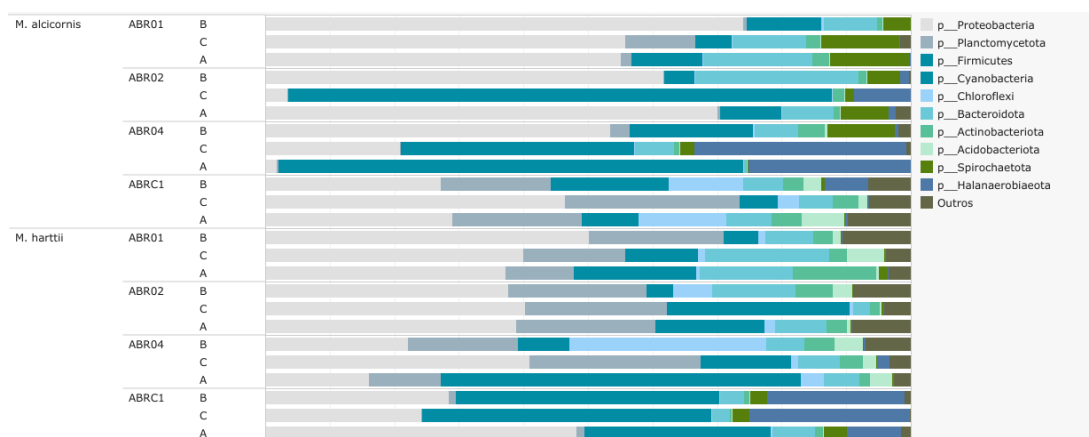
Figura 73: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras do coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); e Abrolhos 4 (ABR04).



O gráfico de abundância relativa das bactérias no hidrocoral *Millepora alcicornis*, da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), revela que os filos mais abundantes de bactérias, nas estações ABR01 e ABR02, são os das Proteobacteria, Planctomycetota e Cyanobacteria. Na estação ABR04 houve uma diversidade bacteriana grande, em que os filos Planctomycetota, Firmicutes e Cyanobacteria foram os menos presentes. E em relação a estação ABRC1 os filos mais presentes foram Proteobacteria, Planctomycetota e Firmicutes.

Em relação ao coral *Mussismilia harttii*, na estação ABR01, o mesmo foi dominado pelo filo de bactérias mais Firmicutes. N estação ABR02 o filo mais abundante foi o Proteobacteria. Já, nas estações ABR04 e ABRC1 os filos mais representativos foram das Proteobacteria e Firmicutes.

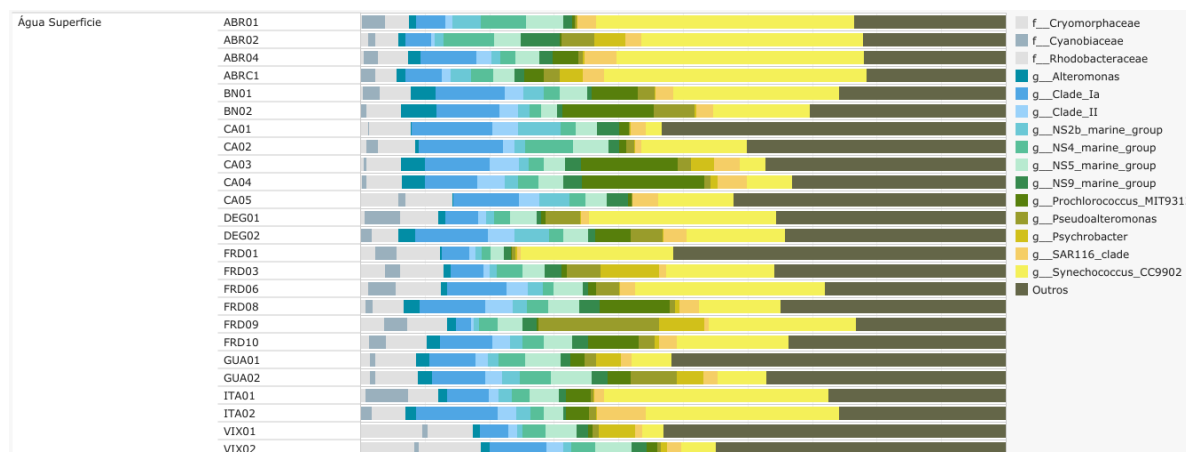
Figura 74: Abundância relativa dos filos microbianos mensurados nas amostras do coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os filos mais abundantes foram quantificados em filos, porém a classificação em filo (p_) foi realizada quando possível, caso o contrário os filos foram classificados dentro do grupo taxonômico domínio bactéria (d_). Os filos menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); e Abrolhos 4 (ABR04).



O gráfico de abundância relativa das bactérias no hidrocoral *Millepora alcicornis*, da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso)., revela que os filos mais abundantes de bactérias, na estação ABR0 foi o das Proteobacteria. Já na estação ABR02 houve amostras com a grande presença dos filos das Proteobacteria e das Firmicutes. N estação ABR04 houve também a representatividades dos grupos das Proteobacterias, das Firmicutes e Halanaerobiaeota. Por último na estação ABRC1 os grupos que mais abundantes foram das Proteobacteria, Planctomyceta, das Firmicutes e das Chloroflexi.

Em relação ao coral *Mussismilia harttii*, nas estações ABR01 e ABR02 houve a maior dominância dos grupos das Proteobacteria, Planctomyceta, das Firmicutes e das Bacteroidota. Já na estação ABR04, os grupos das Proteobacteria, Planctomyceta, das Firmicutes e das Chloroflexi foram os mais representativos. E por fim na estação ABRC1 os grupos mais abundantes foram das Proteobacteria, Planctomyceta, das Firmicutes e das Halanaerobiaeota.

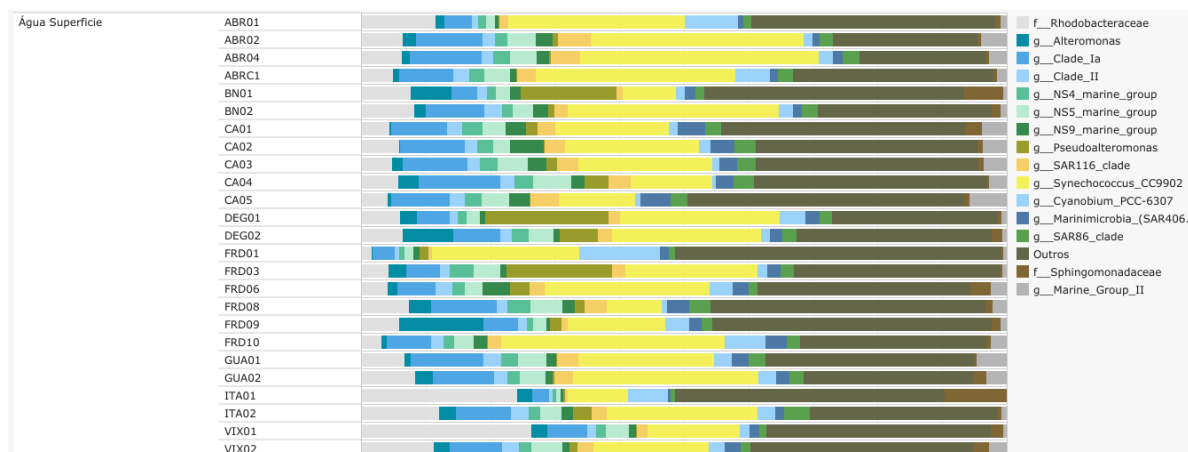
Figura 75: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de superfície do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).



A abundância relativa das Unidades Taxonômicas Operacionais (OTUs) nas amostras de água de superfície coletadas na região marinha no período chuvoso de 2022 (Campanha 7 - mar 2022) apresentou elevada dominância de grupos bacterianos já observados anteriormente (*Synechococcus* CC9902 e SAR11). Considerando-se todas as 25 estações de coleta analisadas no ambiente marinho, estes grupos foram responsáveis por 19 e 12% da abundância relativa, respectivamente. De acordo com o sequenciamento realizado, a presença de *Synechococcus* CC9902 aumenta gradualmente nas estações amostrais de sul para norte, indo de, em média, 6% em Guarapari para 40% na região de Abrolhos. Por outro lado, essa variação não foi observada para SAR11, visto que a distribuição deste táxon acontece de forma mais homogênea geograficamente.

Os grupos bacterianos encontrados nas amostras de água superficial da região de Abrolhos coletadas no período chuvoso de 2022 (Campanha 7 - mar 2022) apresentaram perfil similar aos grupos bacterianos encontrados em outros pontos da malha amostral marinha. Todavia, na região de Abrolhos existe maior dominância entre os grupos. A média do somatório dos táxons menos abundantes e que são identificados por “Outros” ficou em 18%, contra 31% considerando todas as amostras do ambiente marinho. De forma geral, a água de superfície na região de Abrolhos também é dominada por *Synechococcus*_CC9902 seguido pela ordem SAR11. A distribuição de *Synechococcus*_CC9902 nas quatro estações analisadas apresenta similaridade. Por outro lado, os grupos NS4 e NS5 parecem estar mais associados às estações ABR01 e ABR02, enquanto que SAR116 apresenta maior influência na estação ABR04.

Figura 76: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de superfície do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).

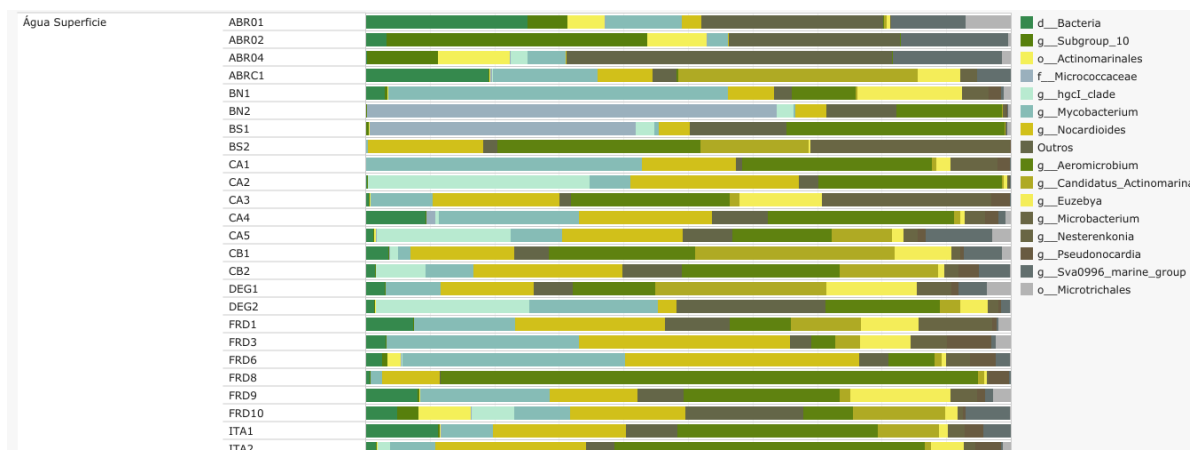


Na região marinha, as amostras de água de superfície apresentaram uma notável dominância de grupos bacterianos que já haviam sido observados anteriormente. Esses grupos incluíram *Synechococcus* CC9902, Rhodobacteraceae e Clade_Ia, que juntos representaram 38% da abundância relativa em todas estações de coleta analisadas no ambiente marinho (Figura 76).

O gênero *Pseudoalteromonas* foi o sexto táxon mais encontrado de todas as estações, entretanto, se destacou nas estações DEG-01, FRD-03 e BN-01, com 19,16%, 16,23% e 14,76% de abundância relativa, respectivamente. Nas demais estações amostrais, o gênero *Pseudoalteromonas* apareceu com menos de 4% de abundância relativa.

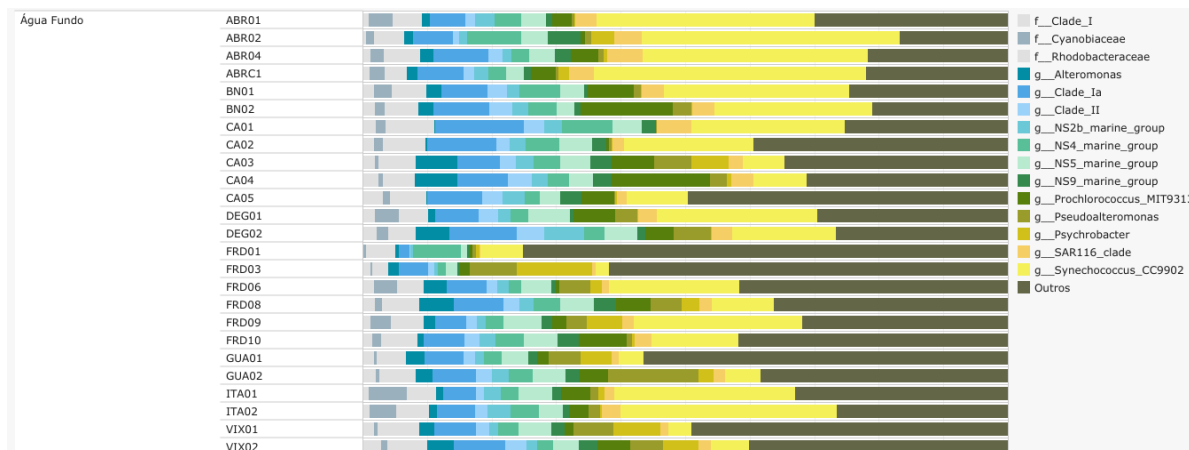
Os grupos bacterianos identificados nas amostras coletadas na região de Abrolhos apresentaram um perfil semelhante ao encontrado na análise que abrangeu todos os pontos de monitoramento oceânico. Notavelmente, os grupos bacterianos predominantes na região costeira também se destacaram na região de Abrolhos, incluindo o *Synechococcus* CC9902, Clade Ia e Rhodobacteraceae (Figura 76). É relevante mencionar que grupos frequentemente observados em expedições anteriores, como o SAR116 e o grupo marinho NS5, também foram identificados com abundâncias relativas relevantes, variando de 1% a 5%, em todas as estações de coleta em Abrolhos.

Figura 77: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de superfície do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Barra Seca 1 (BS1); Barra Seca 2 (BS2); Conceição da Barra 1 (CB1); Conceição da Barra 2 (CB2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Itaúnas 1 (ITA1); e Itaúnas 2 (ITA2).



Nas amostras de água de superfície do ambiente marinho, foram observados grupos bacterianos que já haviam sido identificados como os mais abundantes em campanhas anteriores ao longo das estações da região costeira. Os mais abundantes foram *Synechococcus_CC9902*, *Psychrobacter* e *Acinetobacter*. Esses grupos são frequentemente observados em proporções elevadas na maioria das estações. Curiosamente, na campanha 9, as únicas estações que apresentaram valores próximos a zero para o gênero *Synechococcus_CC9902* foram as estações ABRC1 e ABR04 (Figura 77). Vale destacar a presença do gênero *Enhydrobacter* em considerável proporção nas estações ABRC1 e ABR04. Este gênero foi o mais abundante no ambiente dulcícola, tanto em amostras de água quanto de sedimento.

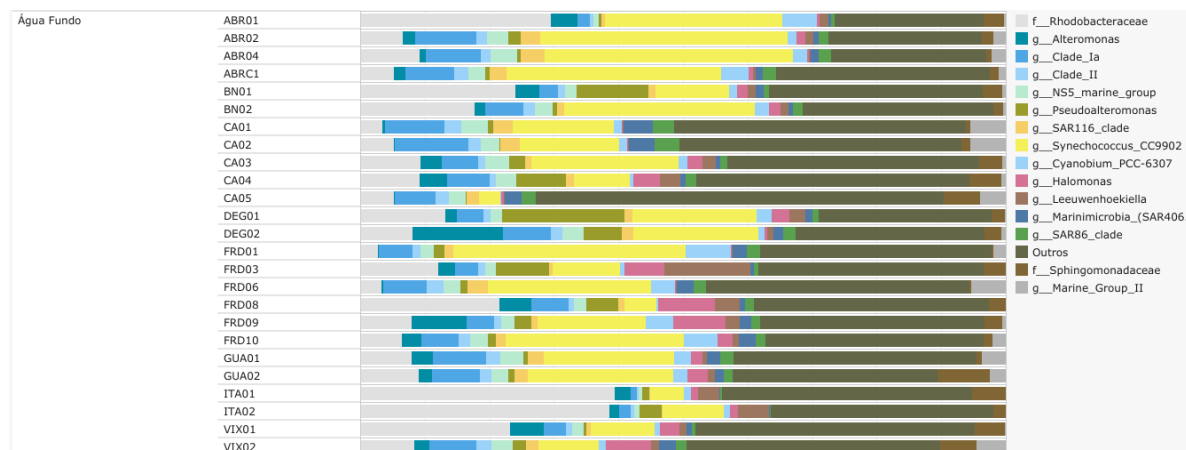
Figura 78: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).



A análise das amostras de água de fundo mostrou um perfil muito similar àquele observado para água de superfície. As maiores abundâncias observadas também foram de *Synechococcus* CC9902 e SAR11. Cabe salientar que *Synechococcus* CC9902 também apresentou elevação em sua dominância nas estações amostrais localizadas mais ao norte da foz do Rio Doce e próximas da região de Abrolhos.

Na região de Abrolhos, para amostras de água de fundo, também se observa perfil semelhante àquele visto para a água de superfície. As amostras de água de fundo apresentaram dominância de *Synechococcus*_CC9902, seguido por SAR11. Destaca-se a presença do gênero NS9, pertencente à ordem Flavobacteriales, e que vem sendo relacionado ao aumento de temperatura e da concentração de matéria orgânica dissolvida.

Figura 79: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).

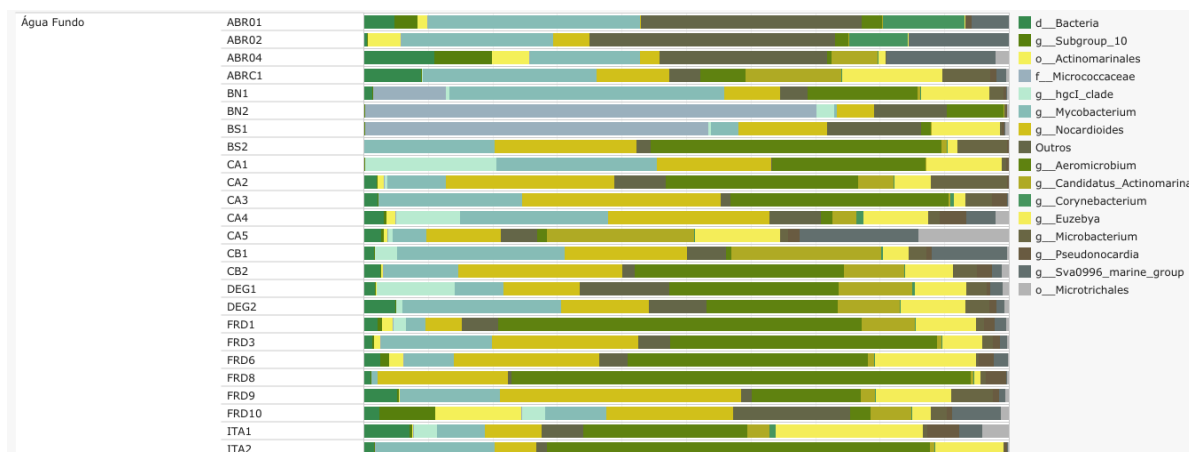


A análise das amostras de água de profundidade revelou um perfil muito similar ao observado para a água de superfície. As maiores abundâncias observadas também foram de *Synechococcus* CC9902, *Rhodobacteraceae* e *Clade_Ia*, que, por sua vez, assim como a superfície somam 38% da abundância relativa de todas as estações amostrais (Figura 79).

Algumas estações amostrais apresentaram baixos valores de abundância relativa para *Synechococcus* CC9902, apesar de, em média, esse táxon representar 19% da abundância relativa. Estas estações foram CA-05, FRD-08 e ITA-01, com 3,25%, 4,97% e 5,39%, respectivamente.

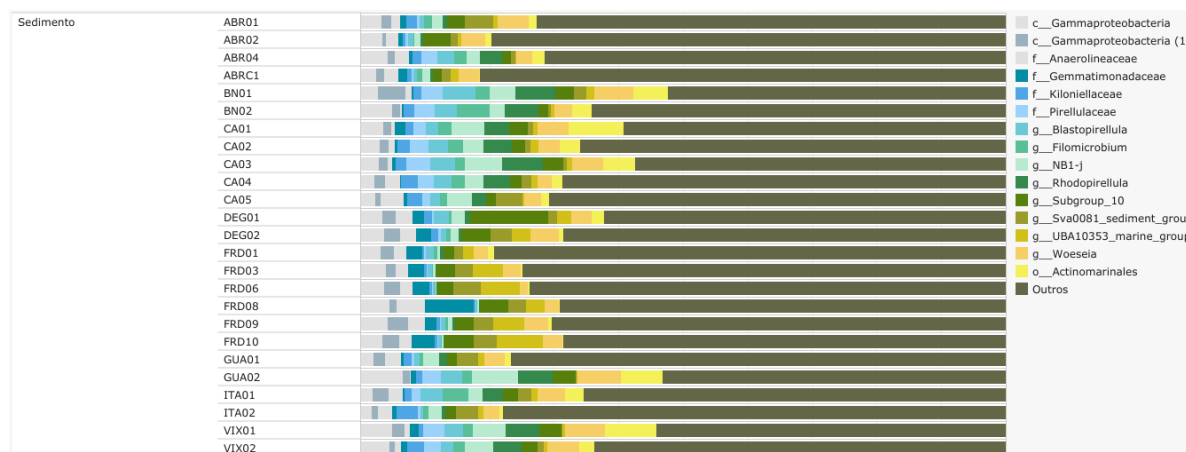
No caso das amostras de água coletadas em maiores profundidades na região de abrolhos, também se observou um perfil bastante semelhante ao das amostras de água superficial (Figura 79). Esta faixa de água mais profunda apresentou os mesmos táxons, com faixas de abundância relativa e ordem de dominância muito semelhantes. Os táxons mais predominantes foram *Synechococcus* CC9902, *Rhodobacteraceae*, *Clade_Ia*, *Cyanobium* PCC-6307, grupo marinho NS5 e SAR116.

Figura 80: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Barra Seca 1 (BS1); Barra Seca 2 (BS2); Conceição da Barra 1 (CB1); Conceição da Barra 2 (CB2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Itaúnas 1 (ITA1); e Itaúnas 2 (ITA2).



O perfil observado para amostras de água em profundidade não apresentou diferenças consideráveis em relação às amostras de superfície. Os grupos mais abundantes foram mantidos e correspondiam aos observados em campanhas anteriores. O gênero *Enhydrobacter* e a família Micrococcaceae também estavam entre os mais abundantes e, curiosamente, apresentaram maiores proporções nas estações ABRC1 (22 e 11%, respectivamente) e ABR04 (23 e 24%, respectivamente) (Figura 80).

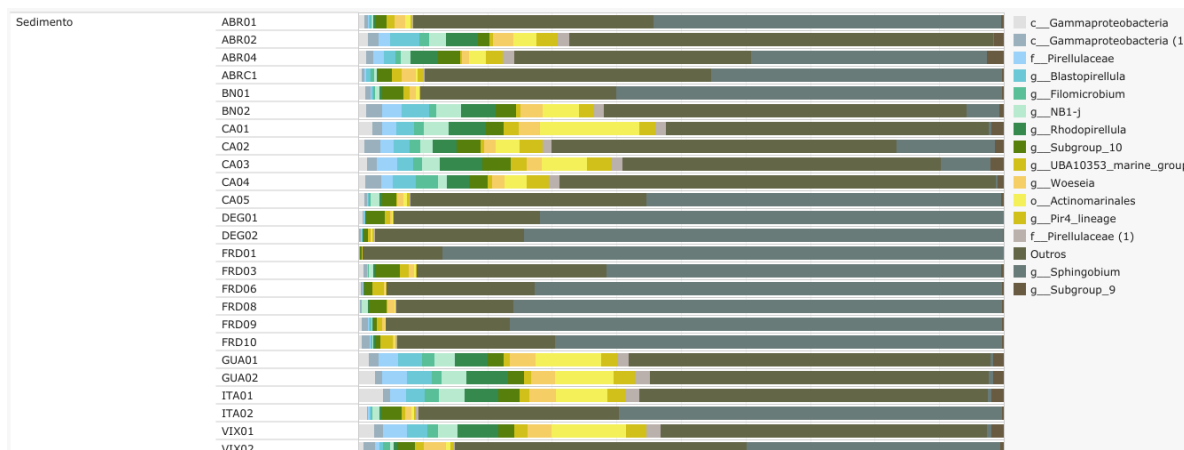
Figura 81: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).



As amostras de sedimento coletadas no período chuvoso de 2022 (Campanha 7 - mar/ 2022) apresentaram maior diversidade microbiológica quando comparadas às amostras de água. Isto pode ser observado pela falta de grupos com elevada dominância. Neste ambiente, os grupos de maior abundância foram Pirellulaceae – 6%, Gammaproteobacteria – 5% e Woeseia – 4%. No último período chuvoso (Campanha 7 - mar/ 2022), Pirellulaceae obteve as maiores abundâncias nas estações localizadas ao sul, enquanto a família Anaerolineaceae esteve mais concentrada nas estações localizadas na foz do Rio Doce. Na região da foz e também se observa a presença do gênero UBA10353 (Gammaproteobactéria) e de Gemmatimonadaceae.

Para as amostras de sedimento coletadas em Abrolhos, pode-se observar uma maior diversidade e menor predominância de alguns grupos. Os táxons mais abundantes foram Woeseia, seguido por Thermoanaerobaculaceae e Gammaproteobactéria. A presença do filo Pirellulaceae também voltou a ser observada nesta campanha, com uma maior abundância na estação amostral ABR04. O grupo Anaerolineaceae também foi observado e se destacou nas estações amostrais ABR04 e ABRC1. Por fim, os grupos Desulfobulbaceae e Desulfosarcinaceae apresentaram elevada presença nas estações amostrais ABRC1 e ABR01, respectivamente. Vale lembrar que estas estações amostrais estão localizadas próximas à costa e a presença destes grupos pode estar relacionada com diversas influências oriundas do continente.

Figura 82: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Guarapari 1 (GUA1); Guarapari 2 (GUA2); Itaúnas 1 (ITA1); Itaúnas 2 (ITA2); Vitória 1 (VIX1); e Vitória 2 (VIX2).

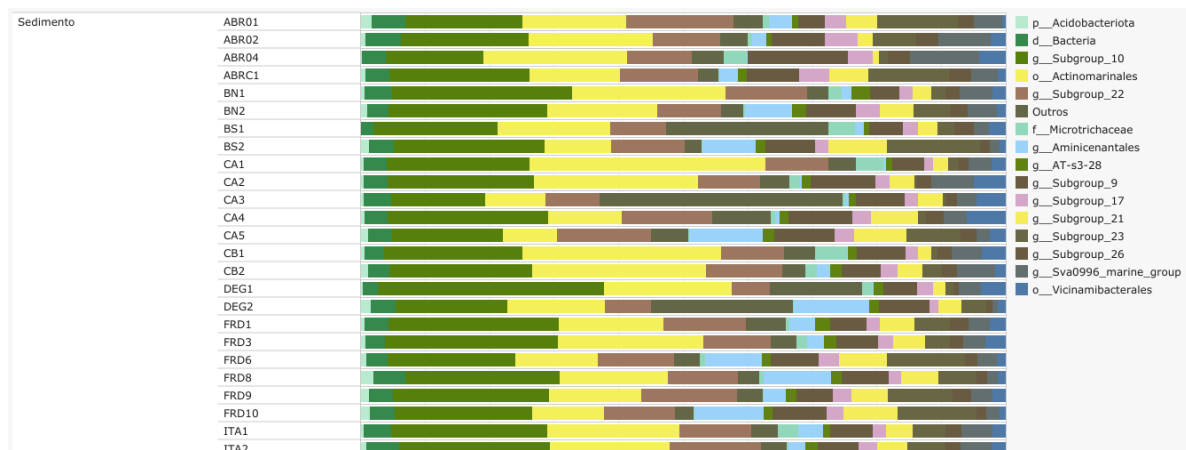


Nas amostras de sedimento, o gênero *Sphingobium* apresentou uma grande prevalência, representando 39% de todas as estações amostrais. Todas as amostras da Foz do Rio Doce (FRD-01, FRD-03, FRD-06, FRD-08, FRD-09 e FRD-10) e de Degredo (DEG-01 e DEG-02) apresentaram mais de 60% de abundância relativa do gênero *Sphingobium* em suas respectivas estações amostrais. Além disso, o gênero *Sphingobium* está distribuído por todas as regiões das estações amostrais. As estações ABR-02, CA-01, CA-04, GUA-01, GUA-02, ITA-01 e VIX-01 apresentaram menos de 1% de abundância relativa para esse gênero. Todos os outros táxons apresentaram uma média de 3% ou menos entre todas as estações amostrais (Figura 82).

Esses resultados destacam a presença significativa do gênero *Sphingobium* nas amostras de sedimento, com uma prevalência particularmente alta nas estações da Foz do Rio Doce e de Degredo.

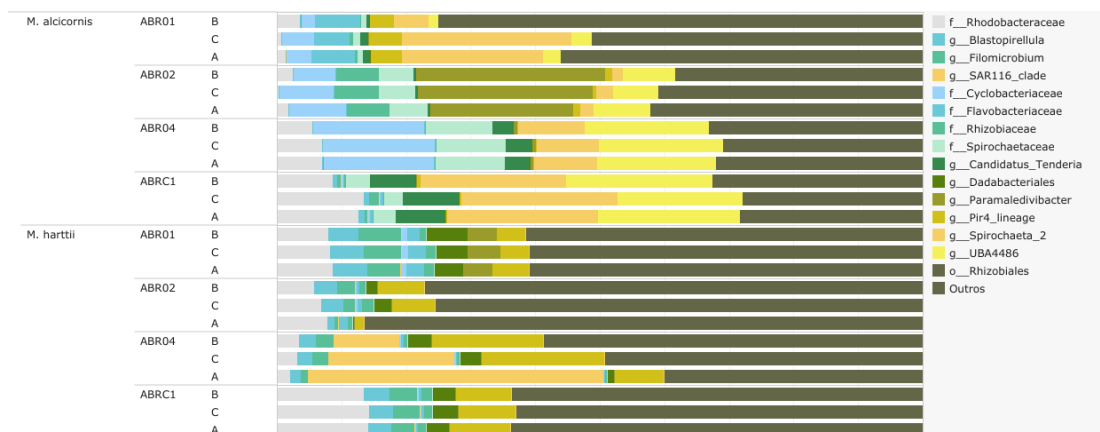
As amostras de sedimento em Abrolhos também seguiram o padrão de perfil taxonômico observado na Foz do Rio Doce e na região costeira adjacente, caracterizando-se pela prevalência do gênero *Sphingobium*. Em Abrolhos, a abundância relativa desse táxon variou de 36% a 54% (Figura 82). Vale ressaltar que na estação ABR-02, o gênero *Sphingobium* foi detectado com uma abundância relativa inferior a 1%. O gênero *Rhodopirellula* foi o segundo mais frequente, com valores variando até no máximo 5% da abundância relativa.

Figura 83: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); Abrolhos 4 (ABR04); Barra Nova 1 (BN1); Barra Nova 2 (BN2); Barra Seca 1 (BS1); Barra Seca 2 (BS2); Conceição da Barra 1 (CB1); Conceição da Barra 2 (CB2); Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Costa das Algas 3 (CA3); Costa das Algas 4 (CA4); Costa das Algas 5 (CA5); Degredo 1 (DEG1); Degredo 2 (DEG2); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); Foz do Rio Doce 3 (FRD3); Foz do Rio Doce 6 (FRD6); Foz do Rio Doce 8 (FRD8); Foz do Rio Doce 9 (FRD9); Foz do Rio Doce 10 (FRD10); Itaúnas 1 (ITA1); e Itaúnas 2 (ITA2).



Para amostras de sedimento, observou-se um perfil de comunidade similar ao observado em campanhas anteriores, com alta abundância dos possíveis bioindicadores da presença de rejeito da barragem de Fundão. Os grupos bacterianos mais dominantes foram *Woeseia*, *Anaerolineaceae* e gêneros da família *Pirellulaceae*, como *Rhodopirellula* e *Blastopirellula*. A família *Pirellulaceae* está presente em maiores proporções nas estações CB1 e CB2, bem como na estação ABR04, enquanto representantes da família *Anaerolineaceae* também foram encontrados em elevada abundância e estão mais relacionados às estações próximas à foz do rio Doce (Figura 83).

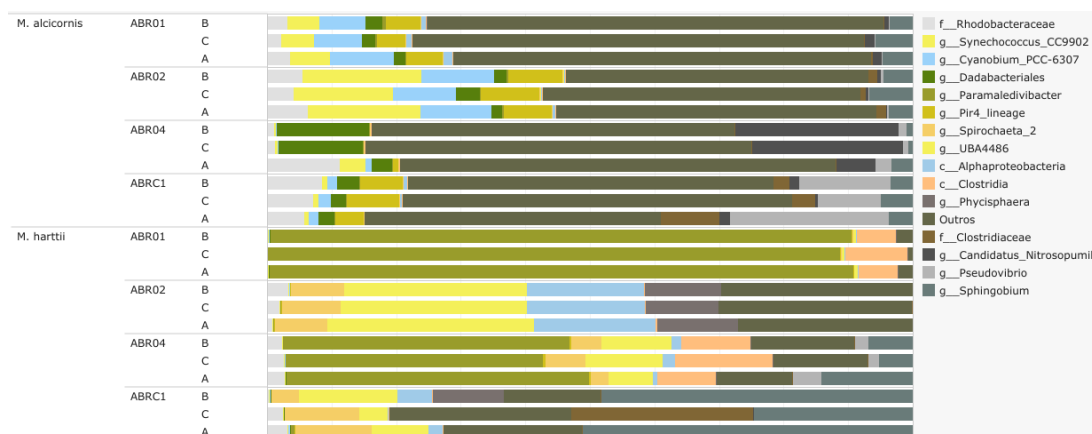
Figura 84: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras do coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); e Abrolhos 4 (ABR04).



Nas amostras coletadas no coral da espécie *Mussismilia harttii*, as maiores abundâncias foram observadas para Pirellulaceae (18%), seguida por Rhodobacteraceae (8%) e SAR116 (6%). A grande presença de bactérias do gênero Pirellulaceae, em todas as estações amostral, merece destaque e atenção, visto que este perfil ainda não havia sido observado tão fortemente nas campanhas anteriores. Vale lembrar que esta família já vinha sendo monitorada como forte indicador de contaminação, sendo que na campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) apresentou grande aumento na sua abundância, principalmente nas estações amostrais ABRC1 e ABR04.

A análise da abundância relativa em amostras de hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* revelou dominância dos grupos Spirochaeta e UBA4486 (ambos com 13%). A única estação amostral que apresentou níveis baixos de Spirochaeta foi ABR02, enquanto a menor dominância de UBA4486 foi observada na estação amostral ABR01. Destaca-se também a elevada concentração de Cyclobacteriaceae na estação amostral ABR04 e Paramaledivibacter na estação amostral ABR02.

Figura 85: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras do coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcornis* coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); e Abrolhos 4 (ABR04).



A análise da abundância relativa nas amostras de coral da espécie *Millepora alcornis* revelou uma dominância dos seguintes gêneros: *Synechococcus CC9902*, *Candidatus Nitrosopumilus* e *Cyanobium PCC-6307*, com percentagens de 6%, 5% e 5%, respectivamente (Figura 85). Outros grupos que foram encontrados em todas as amostras de coral em alta abundância que merecem destaque foram *Rhodobacteraceae* e *Sphingobium*.

Notavelmente, *Synechococcus CC9902* e *Cyanobium PCC-6307* também foram identificados como predominantes nas águas da região costeira e na bacia do rio Doce, com o gênero *Synechococcus* sendo recorrente em campanhas anteriores. É relevante salientar que o gênero *Candidatus Nitrosopumilus* foi detectado com uma abundância relativa significativamente maior, aproximadamente ~25%, na estação amostral ABR-04 (em duas réplicas, 6% na terceira réplica), enquanto nas demais estações de coleta, sua abundância relativa não ultrapassou 2%.

No que concerne ao coral da espécie *Mussismilia harttii*, as maiores abundâncias foram observadas no gênero *Paramaledivibacter* (33%), seguido por *Sphingobium* (13%) e *UBA4486* (12%) (Figura 85). A expressiva presença de bactérias do gênero *Paramaledivibacter* está predominantemente associada às estações ABR-01 e ABR-04, destacando-se ABR-01 que exibe uma abundância relativa de cerca de 90% deste gênero. Em contraste, as estações ABR-02 e ABRC-01 apresentam abundância relativa do gênero *Paramaledivibacter* que não ultrapassa 1%. O gênero *Sphingobium* se destaca particularmente nas estações ABR-04 e ABRC-01, variando de 51,13% a 5,23% em suas amostras, enquanto nas demais estações, a sua abundância relativa não excede 1%. Assim como em *M. alcornis* *Rhodobacteraceae* demonstrou elevada abundância relativa.

Figura 86: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras do coral da espécie *Mussimilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros foram classificados dentro de outros grupos taxonômicos [domínio bactéria (d_), filo (p_), classe (c_), ordem (o_) e família (f_)]. Os gêneros menos abundantes foram identificados como “Outros”. Classificação por estações de coleta: Abrolhos Controle 1 (ABRC1); Abrolhos 1 (ABR01); Abrolhos 2 (ABR02); e Abrolhos 4 (ABR04).

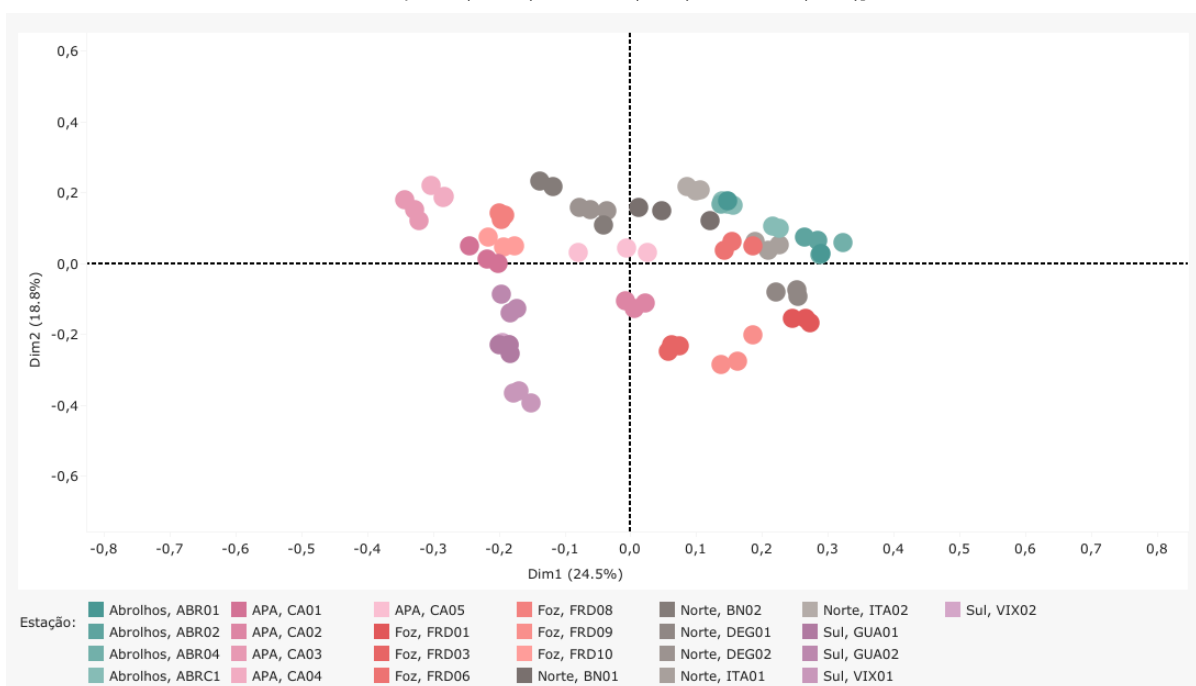


A análise da abundância relativa em amostras de coral da espécie *Mussimilia harttii* revelou os grupos taxonômicos Rhodobacteraceae (6%), *Paramaledivibacter* (5%) e *Pir4_lineage* (5%) como os mais preponderantes. A família Rhodobacteraceae já havia sido previamente documentada em campanhas anteriores como um dos grupos mais proeminentes em amostras de coral.

O gênero *Pir4_lineage* também havia sido previamente registrado, mas sua maior relevância se deve à família Pirellulaceae, bioindicador da presença de rejeito da barragem de Fundão. Gêneros pertencentes a essa família têm sido consistentemente identificados como componentes proeminentes em amostras de corais de Abrolhos durante todas as campanhas de monitoramento, sendo sugeridos como indicadores de disbiose, e nesta campanha representam 12% dos táxons identificados nas quatro estações de coleta em amostras de coral (Figura 86). A família Pirellulaceae foi mais predominante nas estações ABR01, ABR02 e ABR04, juntamente com bactérias do gênero *Paramaledivibacter*. O aumento considerável na presença do gênero *Paramaledivibacter* é notável, conforme também observado na campanha anterior.

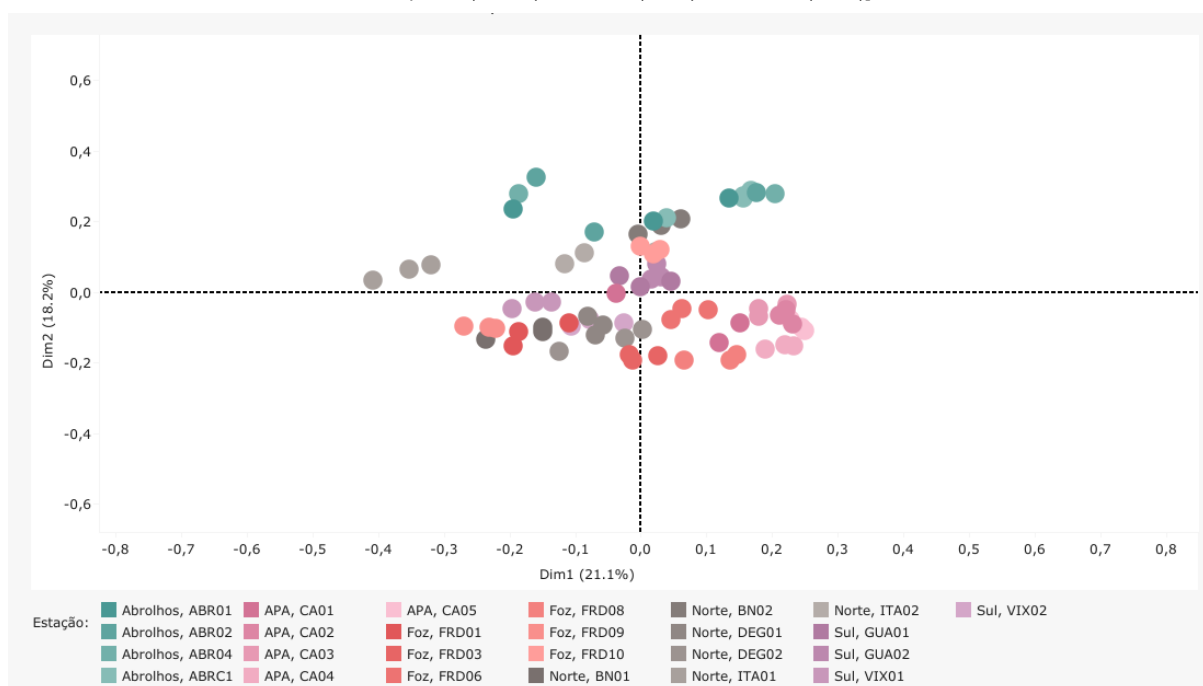
Ao examinarmos amostras de coral da espécie *Millepora alcicornis*, identificamos a presença ainda mais acentuada do gênero *Paramaledivibacter* (11%), seguido por *UBA4486* (7%) e *Halanaerobium* (6%). Também observamos as famílias Rhodobacteraceae e Pirellulaceae, embora em proporções menores. A família Pirellulaceae esteve mais fortemente associada à estação ABRC1, enquanto o gênero *Paramaledivibacter* predominou nas estações ABR02 e ABR04 (Figura 86).

Figura 87: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de superfície do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



As análises de componentes principais aplicadas às amostras de água de superfície (Figura 87) evidenciaram a predominância das amostras bacterianas provenientes do Setor Sul no quadrante inferior à esquerda. Já as amostras do Setor Abrolhos estão concentradas no quadrante superior à direita. O Setor APA está localizado no quadrante superior à esquerda do gráfico, bem como tem estações agrupadas no centro do gráfico. Há também nos quadrantes superiores e no quadrante inferior à direita as amostras de origem dos Setores Foz e Norte.

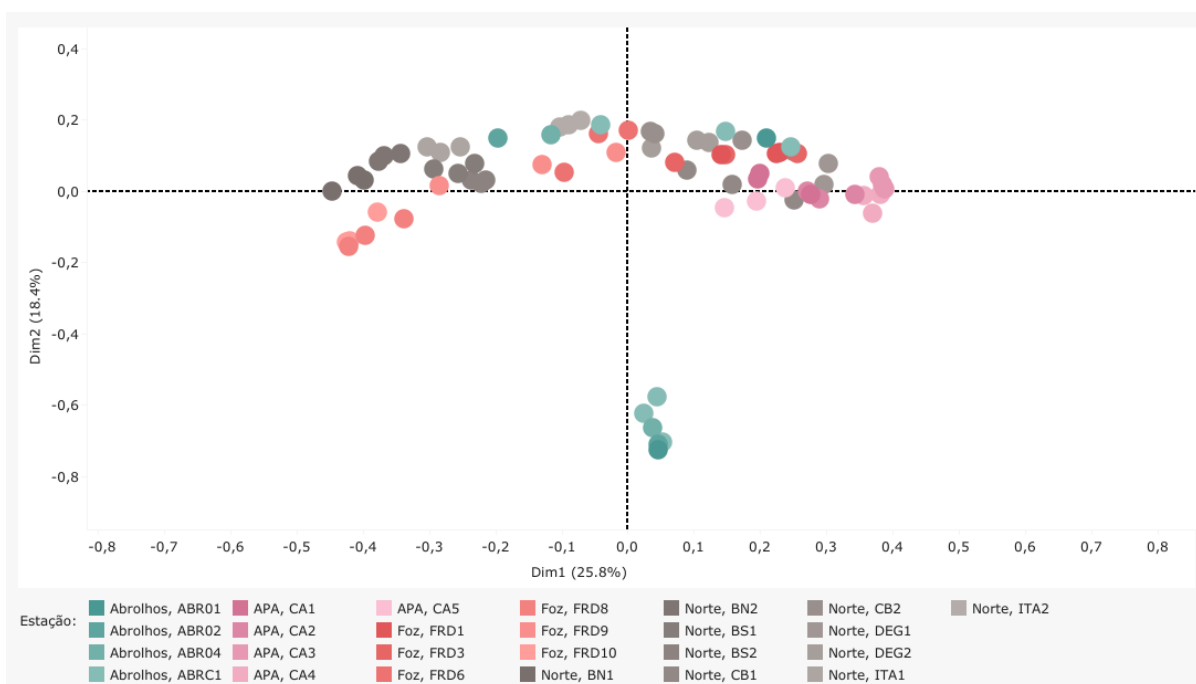
Figura 88: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de superfície do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



As análises de componentes principais aplicadas às amostras de água de superfície (Figura 88) evidenciaram uma elevada concentração do perfil das amostras, tornando difícil a diferenciação com base em critérios geográficos e/ou ecológicos. Isso reflete uma notável similaridade entre os grupos em consideração.

Os perfis microbianos apresentam uma concentração no gráfico, no entanto, é possível perceber a existência de um gradiente. No terceiro quadrante do gráfico, predominam as amostras provenientes da região sul de Costa das Algas (CA), enquanto no centro do gráfico se encontram as amostras provenientes das regiões da Foz e do Norte (FRD, DEG e BN). Destacam-se, de forma mais acentuada, as amostras ITA-01 no primeiro quadrante, e as amostras de Abrolhos (ABR) nos primeiros dois quadrantes. Vale ressaltar que algumas estações de coleta na foz do rio Doce demonstraram alta semelhança com as estações de coleta localizadas em Abrolhos.

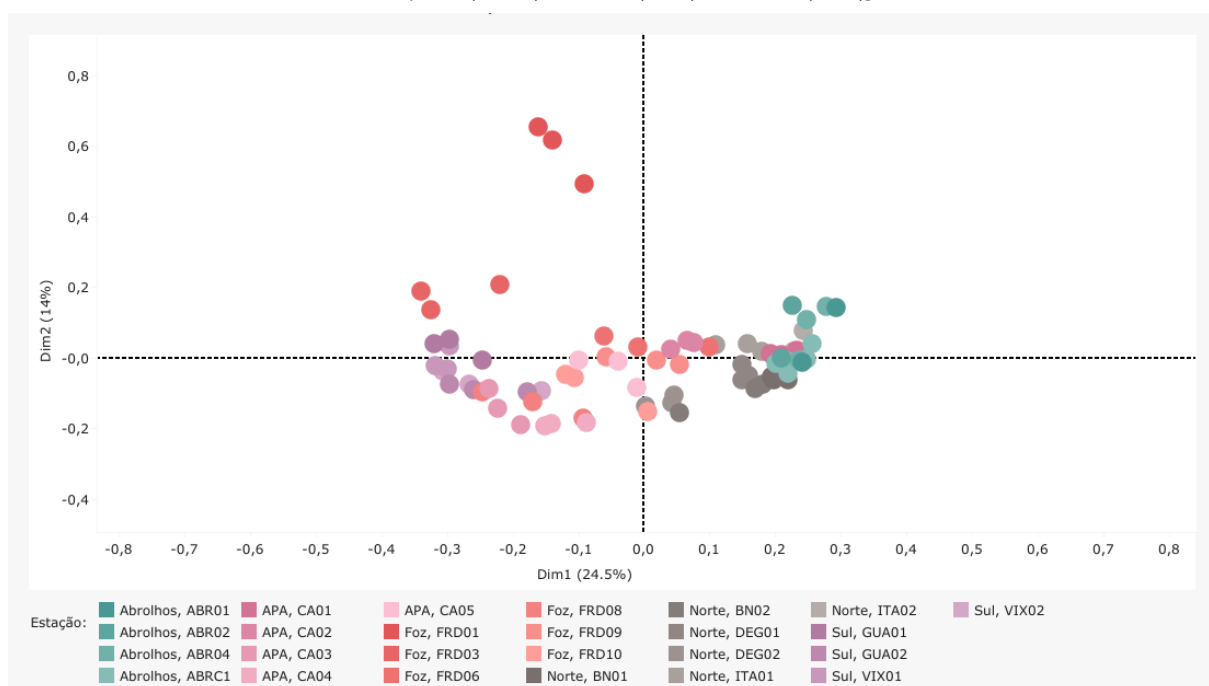
Figura 89: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de superfície do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 1 (CB1), Conceição da Barra 2 (CB2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)].



A ordenação gerada com amostras de água de superfície revelou uma tendência de agrupamento relacionado a influências geográficas, com um grupo de amostras da região de Abrolhos (ABR04 e ABRC1) posicionadas no terceiro quadrante, enquanto as demais amostras da região costeira estão basicamente no primeiro e segundo quadrante (Figura 89). Além disso, observou-se que as amostras da foz do rio Doce foram divididas da seguinte forma: i) estações localizadas mais próximas à foz do rio foram posicionadas no segundo quadrante, próximo das estações ao sul da foz; ii) estações localizadas mais distantes da foz do rio Doce foram posicionadas no primeiro quadrante, próximo das estações ao norte da foz do rio. Esses resultados indicam a forte influência do rio Doce sobre a comunidade bacteriana nas estações da região costeira adjacente, indicando que as porções ao sul e ao norte da foz do rio são influenciadas por dinâmicas distintas. Como consequência, observa-se também que as estações ABR01 e ABR02 estão sendo influenciadas de forma distinta, apesar de ambas estarem localizadas na região de Abrolhos. Mais especificamente, a estação ABR01 sofre influências semelhantes às encontradas na foz do rio Doce (região sul), enquanto a estação ABR02 apresenta uma comunidade semelhante a amostras da região norte. Isso ocorre provavelmente devido à maior proteção presente na estação ABR02, visto que a mesma se encontra dentro do Parque dos Abrolhos.

Figura 90: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso).

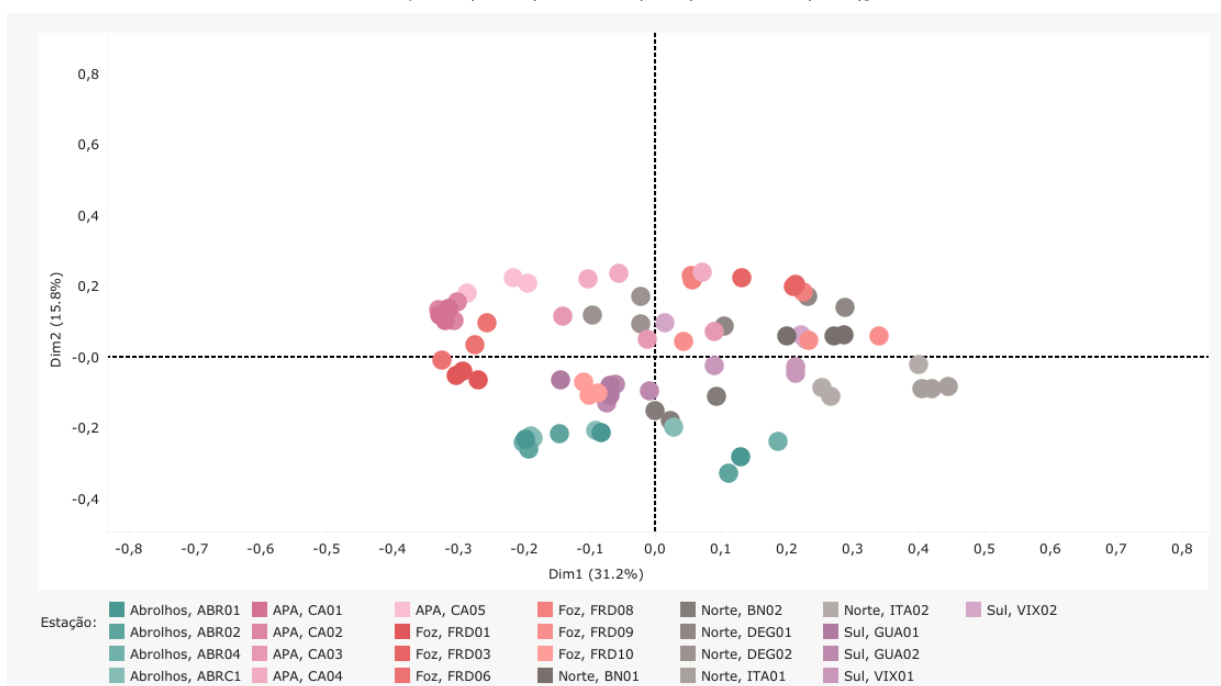
Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



As amostras de água em profundidade apresentaram um perfil em que as amostras do Setor de Abrolhos encontram-se agrupadas nos quadrantes à direita e apresentam uma similaridade com as amostras da estação CA1 do Setor APA e com amostras das estações ITA1, ITA2 e BN1 do Setor Norte. Ainda, as amostras do Setor Sul se encontram agrupadas nos quadrantes à esquerda, enquanto as do Setor Abrolhos agrupadas nos quadrantes à direita e demonstram similaridade com as amostras do Setor Foz e APA. Entretanto, a estação FRD1 manteve um perfil distinto das demais, indicando perfil mais restrito na região.

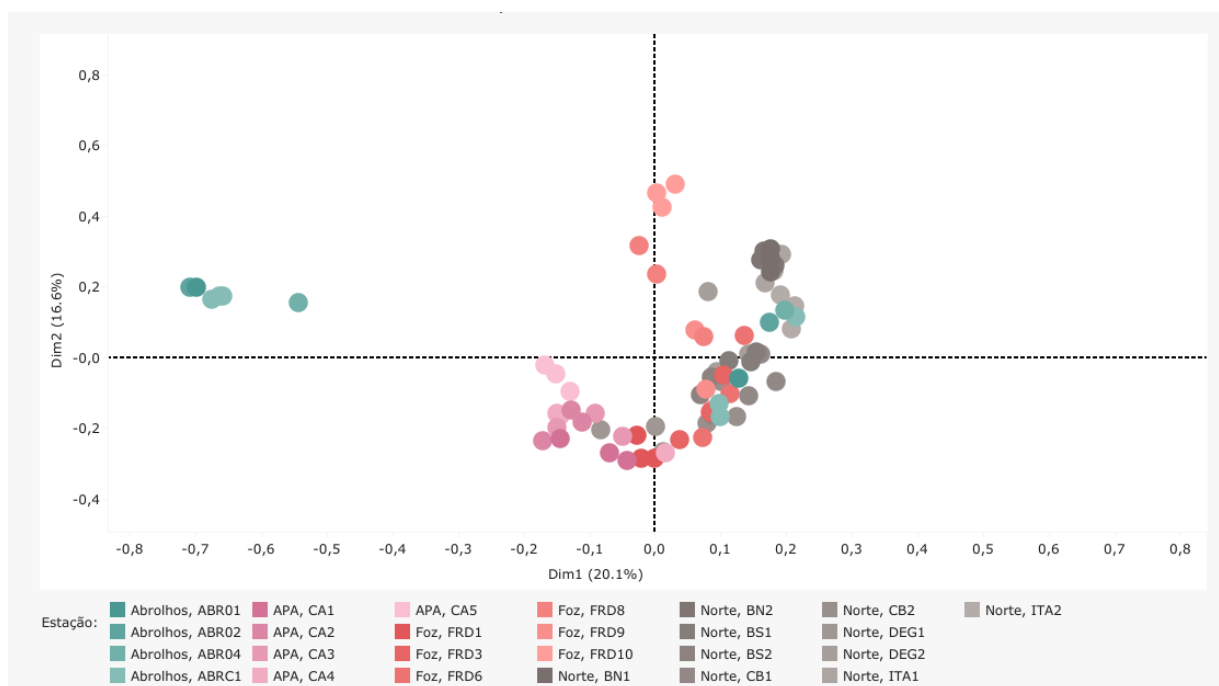
Figura 91: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco).

Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



Ao examinarmos as amostras de água de fundo, constatamos que os perfis exibem notável semelhança em relação ao que foi previamente observado para as amostras de águas de superfície. O perfil das amostras também se caracteriza pela sua concentração, resultando em uma limitada diferenciação com base em critérios geográficos e/ou ecológicos (Figura 91). Da mesma forma que na análise dos componentes principais das amostras de água de superfície, identifica-se um perfil concentrado de amostras, embora ainda seja possível discernir um gradiente. No primeiro quadrante, observamos uma maior concentração de amostras provenientes das estações de coleta de Costa das Algas (CA) e da Foz do Rio Doce (FRD). Nos terceiro e quarto quadrantes, destacam-se as amostras coletadas em Abrolhos (ABR). Notavelmente, no quarto quadrante, as amostras de ITA-01 se agrupam de forma distinta. Todas as outras amostras se concentram de forma miscigenada indicando grande similaridade entre os perfis microbianos. Destacando que que como visualizado nas amostras de água de superfície, algumas estações de coleta na foz do rio Doce demonstraram alta semelhança com estações de coleta localizadas em Abrolhos.

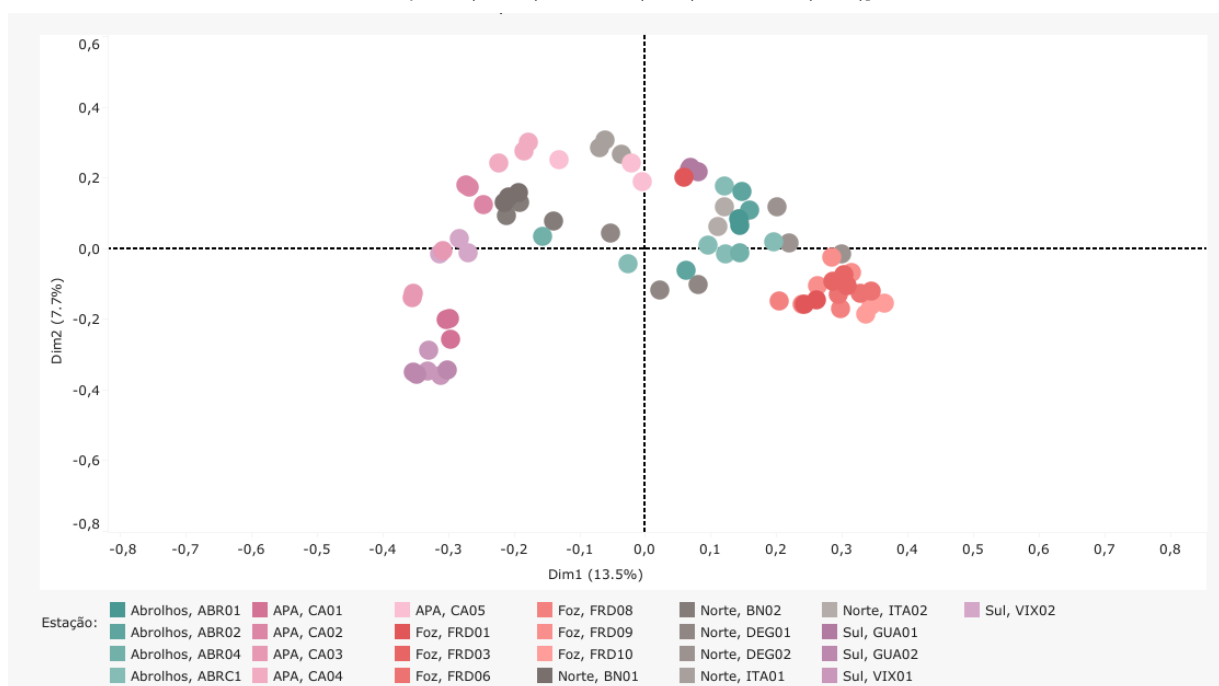
Figura 92: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de fundo do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 1 (CB1), Conceição da Barra 2 (CB2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)].



As amostras de água em profundidade apresentaram o mesmo perfil observado nas amostras de superfície, com menores variações. As estações ABR04 e ABRC1 mantiveram um perfil distinto das demais, indicando perfil mais restrito em ambas as regiões (Figura 92).

Figura 93: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso).

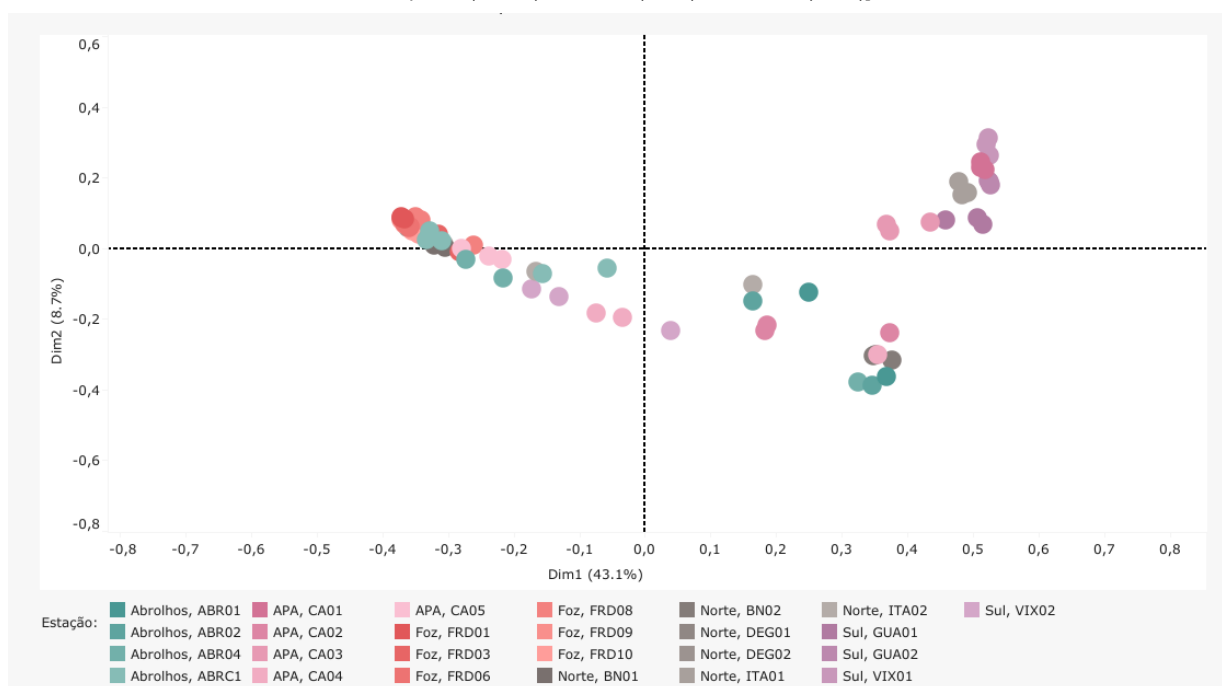
Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].



No período chuvoso de 2022 (Campanha 7 - mar 2022), a ordenação gerada pela PCA para as amostras de sedimento revelou uma maior similaridade entre as amostras da foz do Rio Doce com aquelas coletadas em Abrolhos. Cabe destacar que esta tendência já foi observada nas campanhas anteriores. Estes resultados confirmam, portanto, que grupos indicadores relacionados ao rompimento da barragem de Fundão ainda podem ser observados nestes ambientes e que existe uma tendência de mudança dos perfis microbianos além daqueles observados sazonalmente

Figura 94: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco).

Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1), Guarapari 2 (GUA2), Vitória 1 (VIX1) e Vitória 2 (VIX2)].

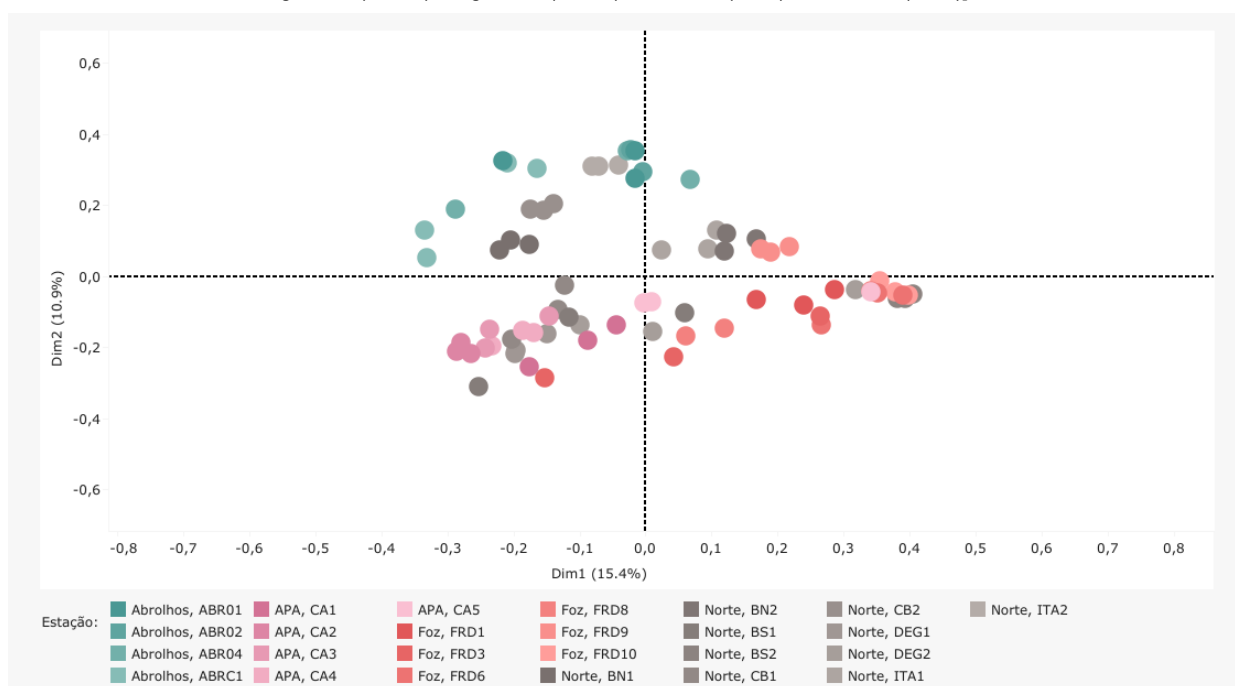


A ordenação resultante da análise das amostras de sedimento revelou uma menor concentração de perfis em comparação às amostras de água, porém, notou-se considerável miscigenação. Ainda assim, é possível identificar agrupamentos distintos (Figura 94). No terceiro quadrante, as amostras ABR-01, ABR-02, CA-02, CA-04 e BN-02 se agruparam, embora as réplicas não tenham formado aglomerações concentradas, sugerindo a presença de um perfil heterogêneo em cada estação de coleta. No segundo quadrante, destacam-se as estações de coleta localizadas ao sul (VIX e GUA), que formaram um grupo bem concentrado, sugerindo grande similaridade entre essas estações amostrais. As estações da Foz do Rio Doce (FRD) se reúnem no primeiro quadrante, formando um grupo que também engloba as demais amostras distribuídas do primeiro e quarto quadrante até o centro do gráfico.

Sendo assim, como visualizado nas amostras de água, algumas estações de coleta na foz do rio Doce demonstraram alta semelhança com amostras de Abrolhos.

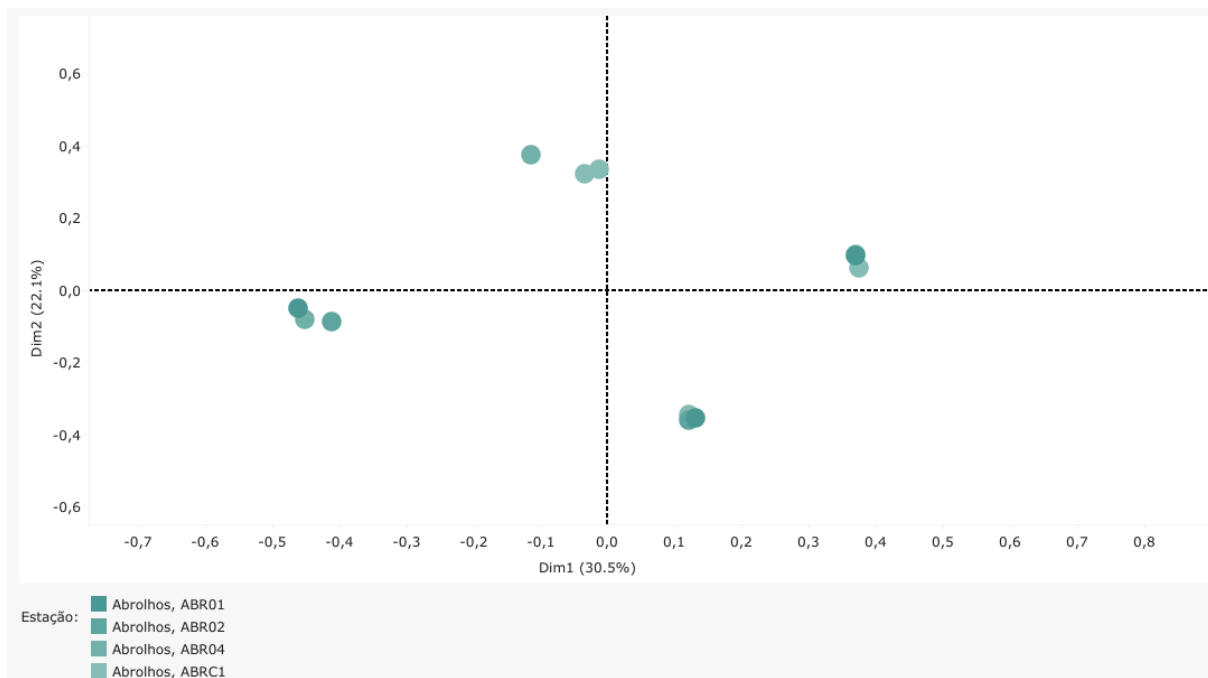
Figura 95: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de sedimento do Oceano e de Abrolhos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso).

Classificação por setores e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4) e Costa das Algas 5 (CA5)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1), Foz do Rio Doce 3 (FRD3), Foz do Rio Doce 6 (FRD6), Foz do Rio Doce 8 (FRD8), Foz do Rio Doce 9 (FRD9) e Foz do Rio Doce 10 (FRD10)]; e Norte [Barra Nova 1 (BN1), Barra Nova 2 (BN2), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 1 (CB1), Conceição da Barra 2 (CB2), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)].



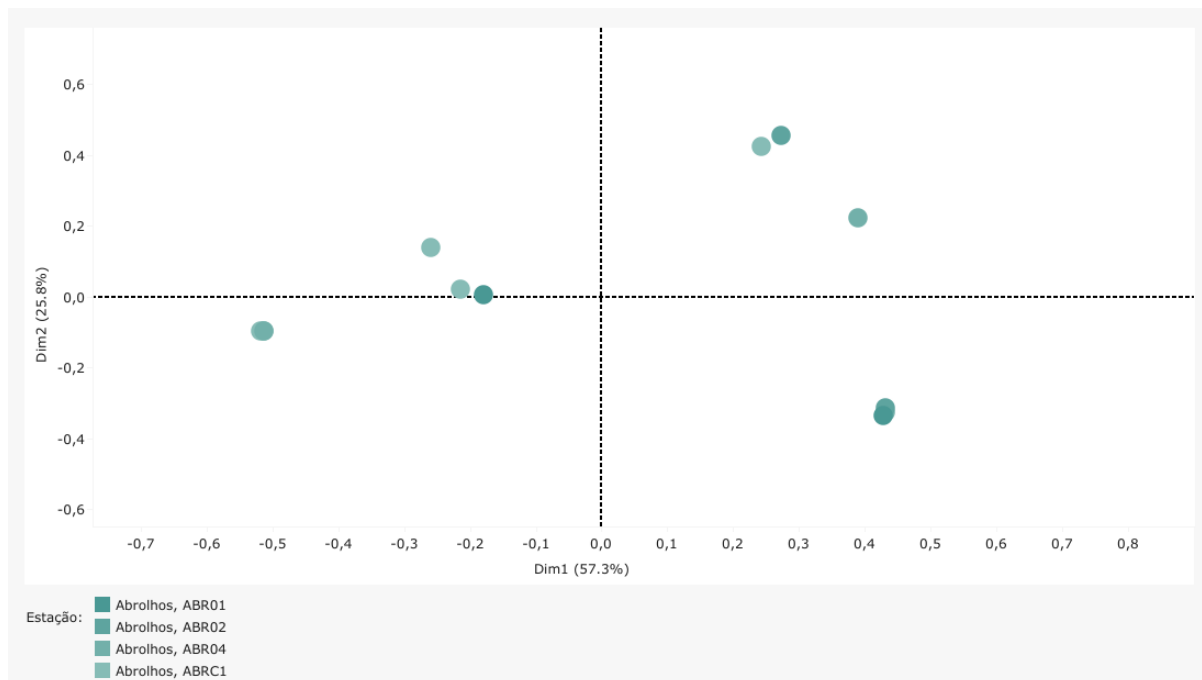
Considerando a ordenação gerada com amostras de sedimento, observou-se que o perfil não se assemelha ao das amostras de água. As amostras da estação ABR04 e ABRC1 não se afastaram significativamente das demais estações, sendo agrupadas junto com amostras das estações ABR01, ITA2, ABR02, CB2 e BN1, localizadas no primeiro quadrante. No entanto, formou-se um gradiente entre amostras localizadas ao norte da foz do rio Doce (segundo e terceiro quadrante) e estações ao sul da foz (quarto quadrante) (Figura 95).

Figura 96: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras do coral da espécie *Mussismilia harttii* coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]



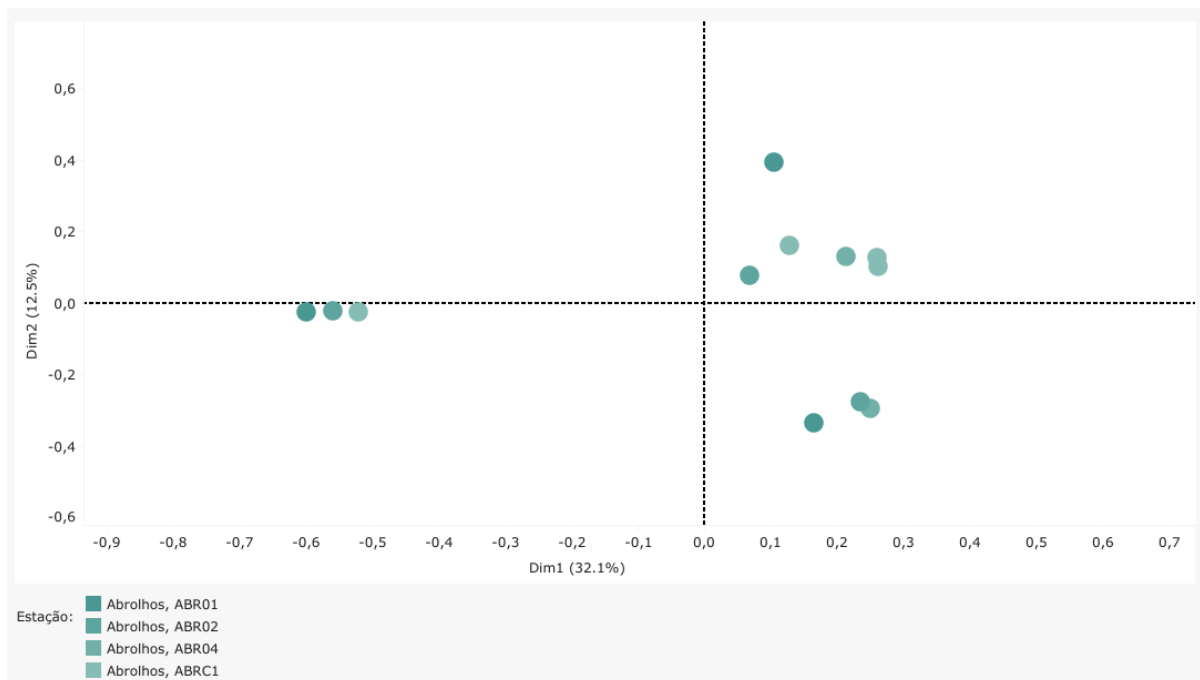
Os corais da espécie *Mussismilia harttii* apresentaram grupos de amostras amplamente dispersos em todos os quadrantes da análise de componentes principais. Observou-se a formação de agrupamentos compostos por amostras de diferentes estações de coleta.

Figura 97: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras do coral da espécie *Mussismilia hartii* coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



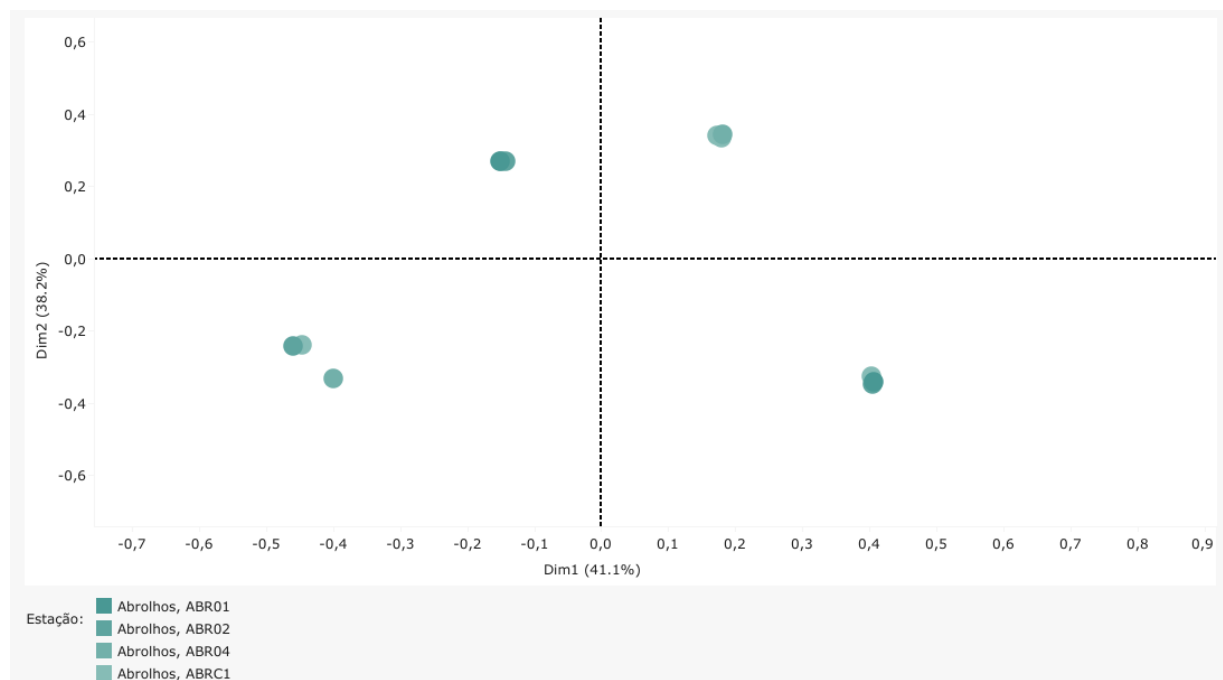
Os corais da espécie *Mussismilia hartii* apresentaram perfis muito semelhantes aos de *Millepora alcicornis*, com grupos de amostras amplamente dispersos em todos os quadrantes da análise de componentes principais. Observou-se a formação de agrupamentos compostos por amostras de diferentes estações de coleta. Portanto, assim como constatado no perfil microbiano de *Millepora alcicornis*, essa similaridade nos perfis das amostras, embora torne a diferenciação entre as estações de amostragem desafiadora, sugere que a região é caracterizada por uma notável uniformidade na comunidade microbiana (Figura 97).

Figura 98: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras do coral da espécie *Mussismilia harttii* coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



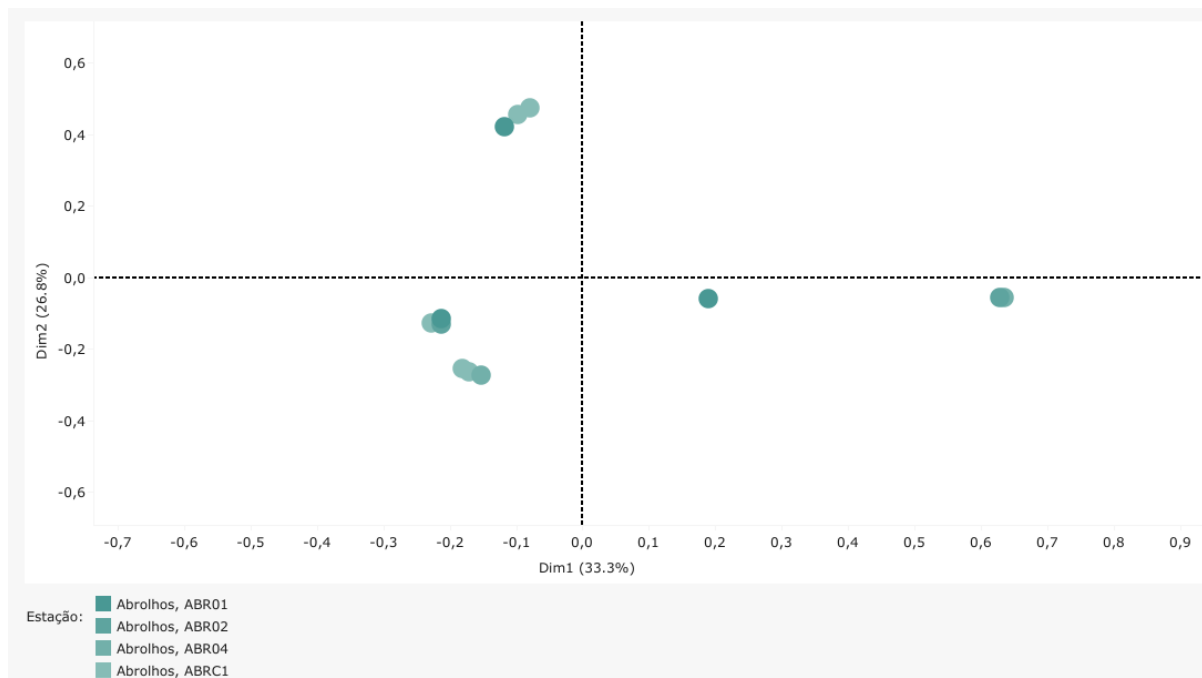
A análise de ordenação realizada com as amostras de coral da espécie *Mussismilia harttii* revelou a formação de três grupos distintos. Um desses grupos consistiu nas amostras coletadas na estação ABRC1, as quais se posicionaram ao longo do eixo x, entre o primeiro e o quarto quadrante. Esse perfil bacteriano demonstra uma notável divergência em relação aos perfis de comunidades observados nas outras três estações analisadas. Além disso, observa-se que as demais estações foram agrupadas no lado direito da ordenação, com as amostras da estação ABR01 localizadas no terceiro quadrante e as estações ABR02 e ABR04 exibindo maior similaridade, sendo agrupadas no segundo quadrante (Figura 98). Este resultado aponta para uma clara separação que reflete respostas a influências ambientais específicas em cada uma dessas regiões, notadamente pelo fato de as estações ABR02 e ABR04 se situarem de forma mais central no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, enquanto as estações ABR01 e ABRC1 estão mais afastadas e influenciadas predominantemente pela região costeira.

Figura 99: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]



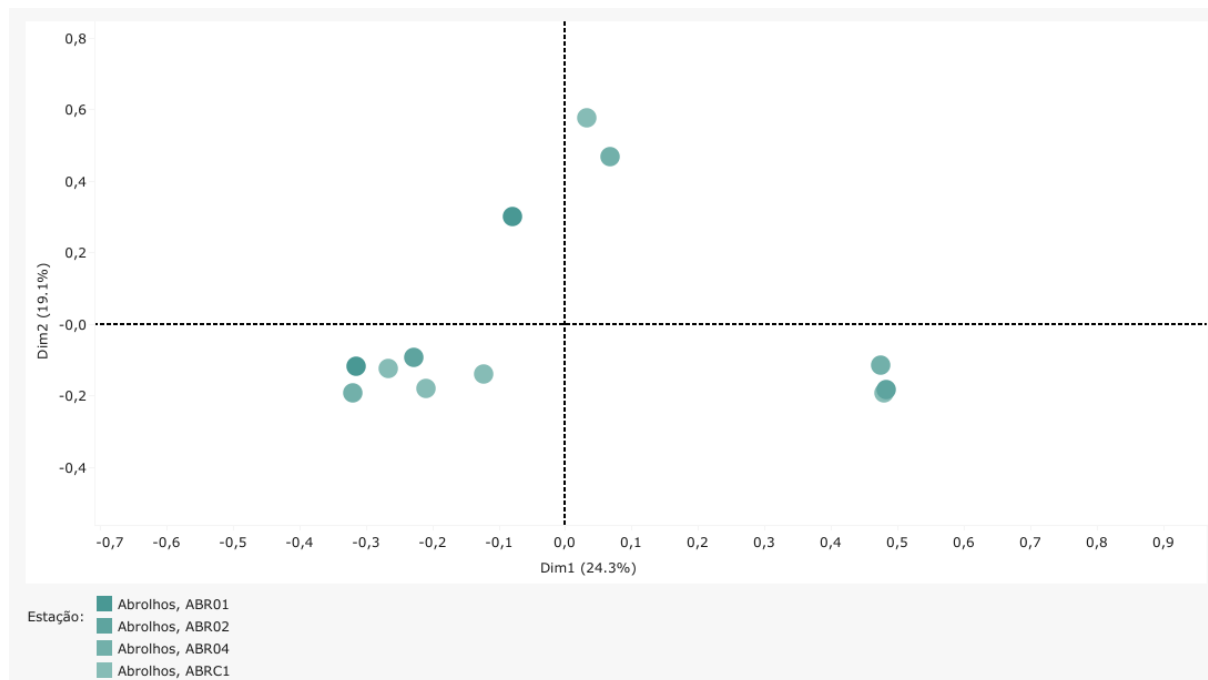
Nota-se no gráfico que há a formação de agrupamentos nos diferentes quadrantes da PCA. Os mesmos são compostos por microorganismos de amostras dos hidrocorais da espécie *Millepora alcicornis* de diferentes estações de coleta, sugerindo uma uniformidade na comunidade microbiana da região.

Figura 100: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



O perfil identificado nas amostras de coral da espécie *Millepora alcicornis* apresentou uma dispersão uniforme nos quatro quadrantes da Análise de componentes principais (Figura 100). Houve a formação de agrupamentos entre as amostras, no entanto, esses agrupamentos estiveram relacionados a diferentes estações de coleta. Isso evidencia uma notável similaridade entre os perfis das amostras, que se misturam com facilidade entre si. Além disso, sugere que as réplicas coletadas em cada estação de amostragem podem ser consideradas distintas dentro da mesma estação, mas todas pertencentes ao mesmo grupo geral, que é a região de Abrolhos.

Figura 101: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setor e por estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



No que se refere às amostras de coral da espécie *Millepora alcicornis*, observou-se uma maior homogeneidade entre as estações analisadas e um perfil mais resiliente em relação às influências ambientais. Essa tendência tem sido consistente em todas as campanhas de amostragem e provavelmente está relacionada a características físicas específicas dessa espécie de coral, tais como uma estrutura mais calcificada e uma menor quantidade de tecido, bem como a ausência de muco, quando comparado a corais da espécie *Mussimilia Harttii*. Apesar dessas diferenças notáveis, ainda foi possível observar uma separação entre as amostras da estação ABRC1 em relação às demais estações, conforme refletido no agrupamento no terceiro quadrante. As amostras das estações ABR01, ABR02 e ABR04 apresentaram perfis sem um padrão claramente definido, situando-se nos primeiro e quarto quadrantes (Figura 101).

2.5 ÍNDICE DE TOXICIDADE

Tabela 4: Resultados dos ensaios de toxicidade realizados com organismos-testes de diferentes níveis da cadeia trófica e com amostras de água superficial e de sedimento coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 - período chuvoso). O valor de toxicidade foi calculado considerando a unidade tóxica (UT) e os índices baseados na severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados. As amostras foram classificadas de acordo com o índice de toxicidade como: Não tóxico [NT (≤ 1 ou Não Estimável (NE))]; Levemente tóxico [LT (2-25)]; Moderadamente tóxico [MT (26-50)]; Tóxico [T (51-100)]; e Altamente tóxico [AT (>100)]. Classificação por estações de coleta: Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Degredo 1 (DEG1); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); e Foz do Rio Doce 6 (FRD6).

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
FRD1/Chuvoso	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	1	NT	10	LT
		<i>E. lucunter</i> - agudo	1	1	3	3	LT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	20	LT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
FRD 6/Ch	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	1	NT	11	LT

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto		
		<i>E. lucunter</i> - agudo	1	1	3	3	LT						
		<i>E. lucunter</i> - crônico	0	1	3	0	NT						
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT						
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	21	LT				
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	1	1	3	3	LT						
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT						
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT						
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T						
	CA1/Chuvoso	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	0	NT	10	LT	
<i>E. lucunter</i> - agudo			0	1	3	0	NT						
<i>E. lucunter</i> - crônico			0	1	3	0	NT						
<i>P. vivipara</i>			0	2	2	0	NT						
Sedimento		<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	20	LT				
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT						

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
CA2/Chuvoso	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	1	NT	20	LT
		<i>E. lucunter</i> - agudo	1	1	3	3	LT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	39	MT	20	LT
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	32	1	3	96	T				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	2	LT	20	LT
		<i>E. lucunter</i> - agudo	2	1	3	6	LT				

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
		<i>E. lucunter</i> - crônico	1	1	3	3	LT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico	0	1	3	0	NT	39	MT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	32	1	3	96	T				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				

Tabela 5: Resultados dos ensaios de toxicidade realizados com organismos-testes de diferentes níveis da cadeia trófica e com amostras de água superficial e de sedimento coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 - período seco). O valor de toxicidade foi calculado considerando a unidade tóxica (UT) e os índices baseados na severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados. As amostras foram classificadas de acordo com o índice de toxicidade como: Não tóxico [NT (≤ 1 ou Não Estimável (NE))]; Levemente tóxico [LT (2-25)]; Moderadamente tóxico [MT (26-50)]; Tóxico [T (51-100)]; e Altamente tóxico [AT (>100)]. Classificação por estações de coleta: Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Degredo 1 (DEG1); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); e Foz do Rio Doce 6 (FRD6).

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
FRD1/Seco	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	1	1	3	3	LT	2	LT	16	LT
		<i>E. lucunter</i> - agudo	1	1	3	3	LT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	30	MT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	8	1	3	24	LT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	8	1	3	24	LT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
FRD6/Seco	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	3	1	3	3	LT	2	LT	25	MT
		<i>E. lucunter</i> – agudo	1	1	3	3	LT				

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto		
		<i>E. lucunter</i> - crônico	1	1	3	3	LT						
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT						
FRD6/Seco	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	49	MT	25	MT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	32	1	3	96	T						
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	16	1	3	48	MT						
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT						
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T						
CA1/Seco	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	4	1	3	12	LT	6	LT	14	LT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo	2	1	3	6	LT						
		<i>E. lucunter</i> - crônico	2	1	3	6	LT						
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT						
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	22	LT				
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	2	1	3	6	LT						
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	2	1	3	6	LT						

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
CA2/Seco	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	2	1	3	6	LT	11	LT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo	4	1	3	12	LT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico	8	1	3	24	LT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	1	1	3	3	LT	33	MT	22	LT
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	4	1	3	12	LT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	16	1	3	48	MT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
DEG1/Seco	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	1	1	3	3	LT	10	LT	29	MT
		<i>E. lucunter</i> - agudo	8	1	3	24	LT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico	4	1	3	12	LT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
DEG1/Seco	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	49	MT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	32	1	3	96	T				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	16	1	3	48	MT			29	MT
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				

Tabela 6: Resultados dos ensaios de toxicidade realizados com organismos-testes de diferentes níveis da cadeia trófica e com amostras de água superficial e de sedimento coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 - período chuvoso). O valor de toxicidade foi calculado considerando a unidade tóxica (UT) e os índices baseados na severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados. As amostras foram classificadas de acordo com o índice de toxicidade como: Não tóxico [NT (≤ 1 ou Não Estimável (NE))]; Levemente tóxico [LT (2-25)]; Moderadamente tóxico [MT (26-50)]; Tóxico [T (51-100)]; e Altamente tóxico [AT (>100)]. Classificação por estações de coleta: Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2); Degredo 1 (DEG1); Foz do Rio Doce 1 (FRD1); e Foz do Rio Doce 6 (FRD6).

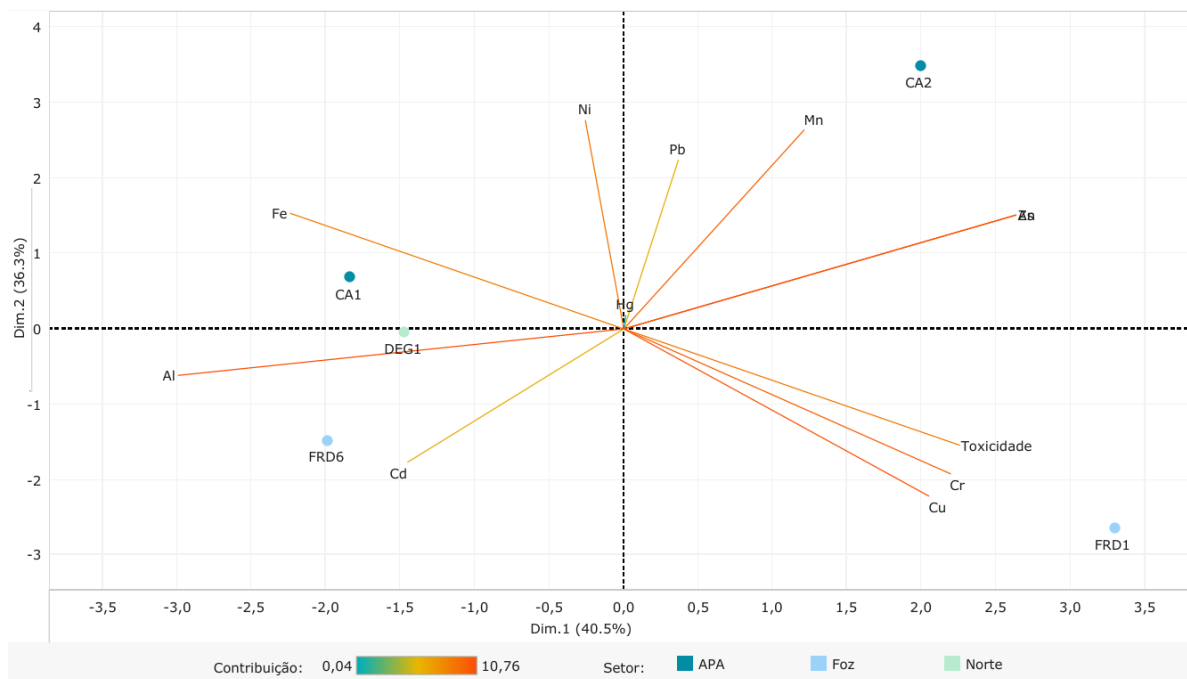
Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
FRD1/Chuvoso	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	16	1	3	48	MT	12	LT	17	LT
		<i>E. lucunter</i> - agudo	0	1	3	0	NT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	4	1	3	12	LT	22	LT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
FRD6/Chuvoso	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	2	1	3	6	LT	2	LT	11	LT
		<i>E. lucunter</i> – agudo	0	1	3	0	NT				

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
		<i>E. lucunter</i> - crônico	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
FRD6/Chuvoso	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	1	1	3	3	LT	21	LT	11	LT
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
CA1/Chuvoso	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	2	1	3	6	LT	2	LT	1	NT
		<i>E. lucunter</i> - agudo	0	1	3	0	NT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	1	1	3	3	LT	1	NT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				

Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
CA2/Chuvoso	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	1	1	3	3	NT	1	NT	0	NT
		<i>E. lucunter</i> - agudo	0	1	3	0	NT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	0	NT		
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
	DEG1/Chuvoso	Água	<i>T. pseudonana</i> - crônico	2	1	3	6	LT	2		
<i>E. lucunter</i> - agudo			0	1	3	0	NT				
<i>E. lucunter</i> - crônico			0	1	3	0	NT				
<i>P. vivipara</i>			0	2	2	0	NT				

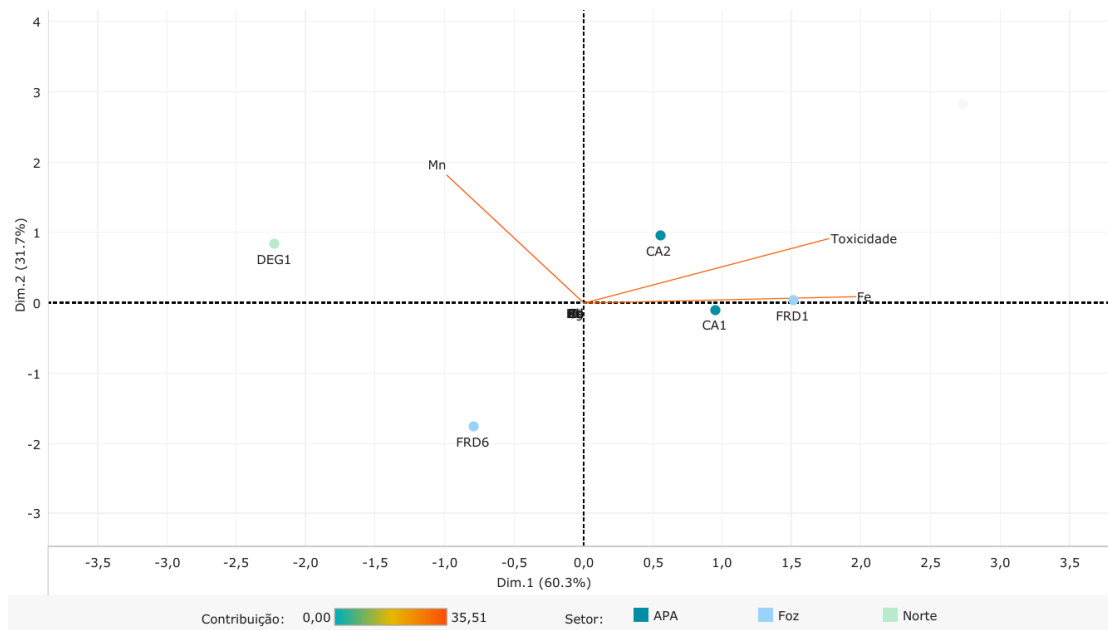
Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
DEG1/Chuvoso	Sedimento	<i>T. pseudonana</i> - crônico (elutriato)	1	1	3	3	LT	21	LT	11	LT
		<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				

Figura 102: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os valores do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais nas amostras de água de superfície coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os metais analisados foram: Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). A variável Toxicidade indica a média dos valores do índice de toxicidade resultantes dos diferentes ensaios realizados na água superficial. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1); e Foz do Rio Doce 6 (FRD6)]; e Norte [Degredo 1 (DEG1)].



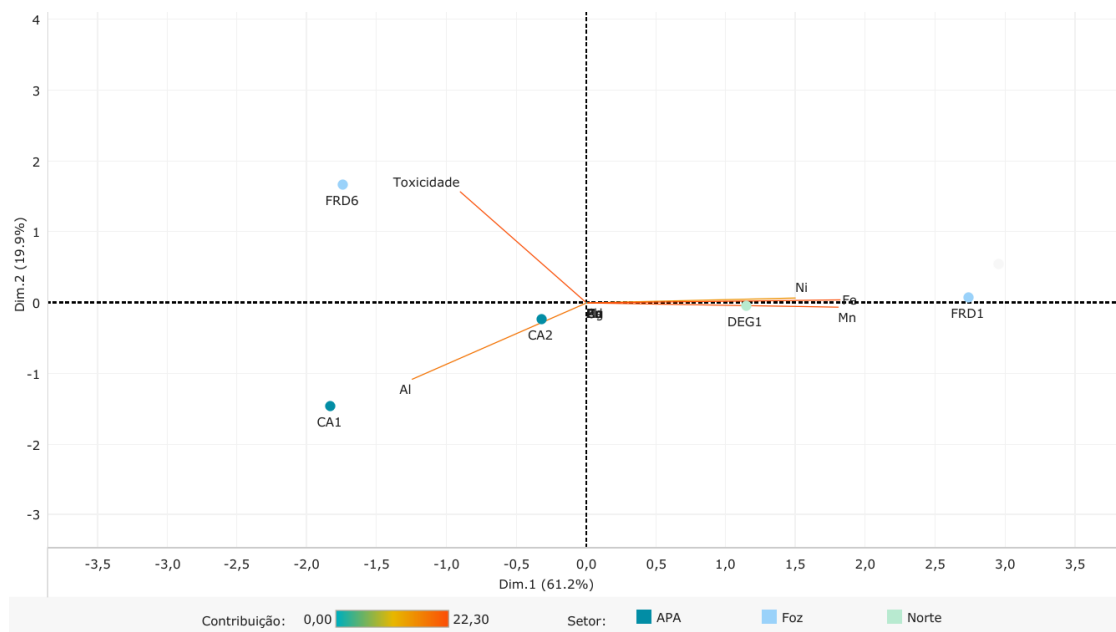
Na Figura 102, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 40,5% e por 36,3%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais na de água de superfície do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 76,8% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 102 auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais na de água de superfície do Ambiente Marinho. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade na água do Ambiente Marinho está majoritariamente associada a estação de coleta FRD1 e aos metais Cr e Cu.

Figura 103: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os valores do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais nas amostras de água de superfície coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os metais analisados foram: Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). A variável Toxicidade indica a média dos valores do índice de toxicidade resultantes dos diferentes ensaios realizados na água superficial. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1); e Foz do Rio Doce 6 (FRD6)]; e Norte [Degredo 1 (DEG1)].



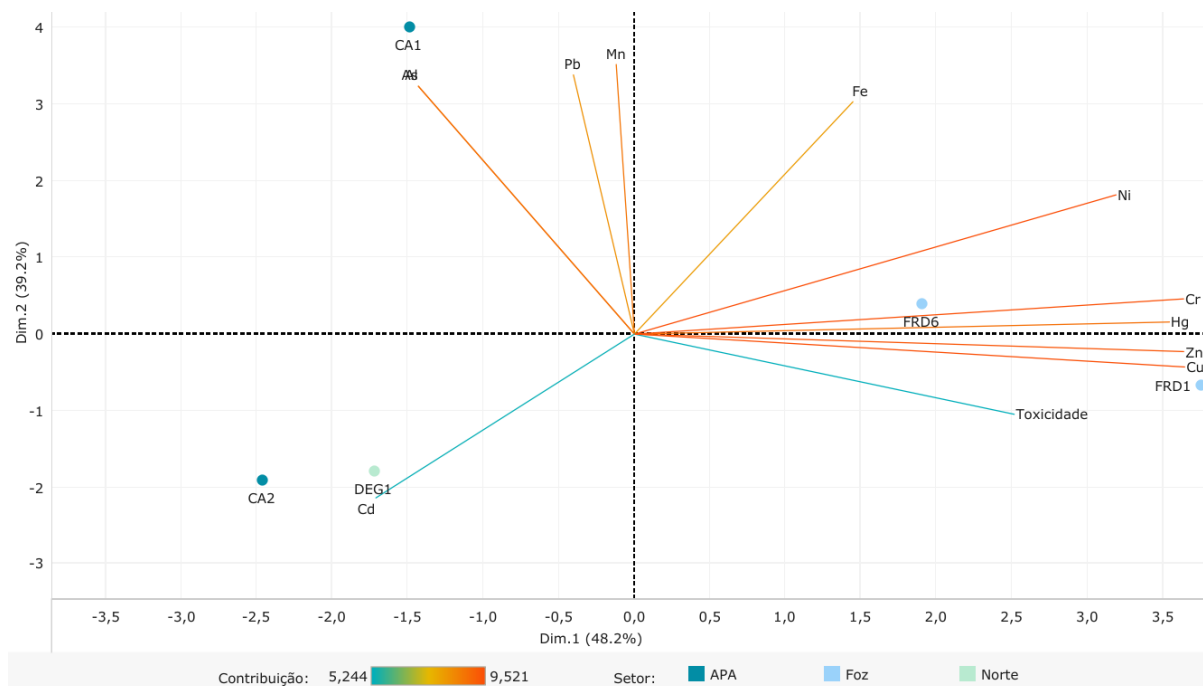
Na Figura 103, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 60,3% e por 31,7%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais na de água de superfície do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 92,0% da variabilidade total dos dados. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade na água do Ambiente Marinho está associada as estações de coleta FRD1, CA1 e CA2 e ao metal Fe.

Figura 104: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os valores do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais nas amostras de água de superfície coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os metais analisados foram: Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). A variável Toxicidade indica a média dos valores do índice de toxicidade resultantes dos diferentes ensaios realizados na água superficial. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1); e Foz do Rio Doce 6 (FRD6)]; e Norte [Degredo 1 (DEG1)].



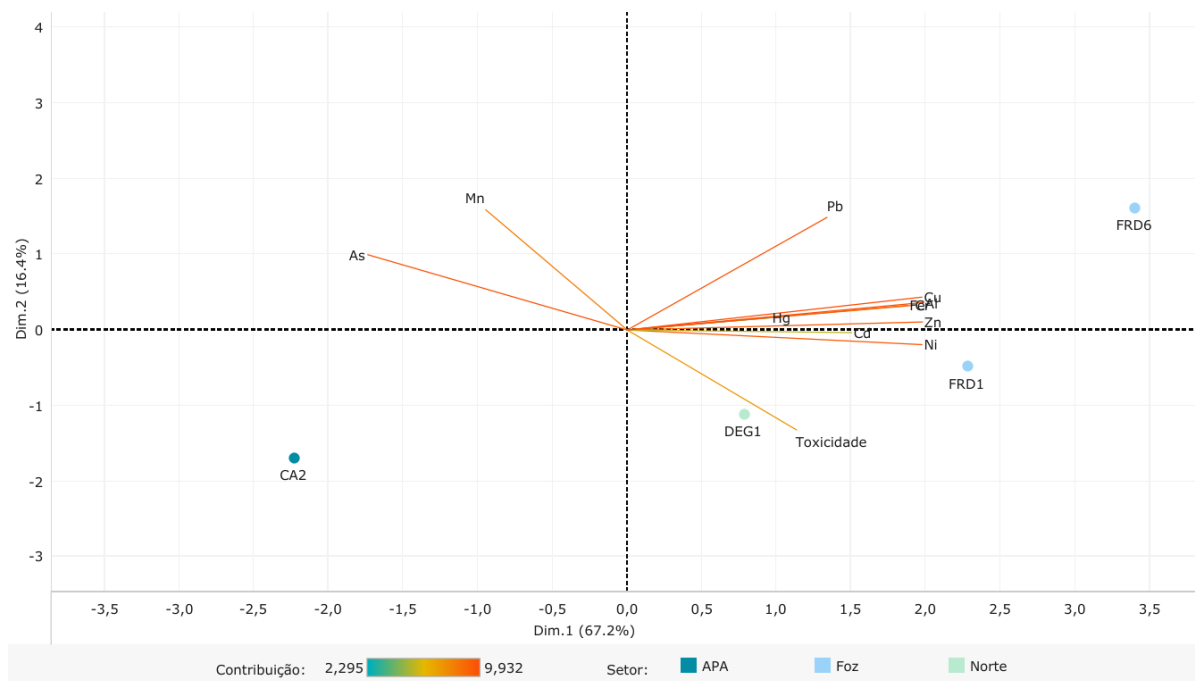
Na Figura 104, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 61,2% e por 19,9%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais na de água de superfície do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 81,1% da variabilidade total dos dados. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade na água do Ambiente Marinho está majoritariamente associada a estação FRD6.

Figura 105: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os valores do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os metais analisados foram: Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). A variável Toxicidade indica a média dos valores do índice de toxicidade resultantes dos diferentes ensaios realizados no sedimento. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1); e Foz do Rio Doce 6 (FRD6)]; e Norte [Degredo 1 (DEG1)].



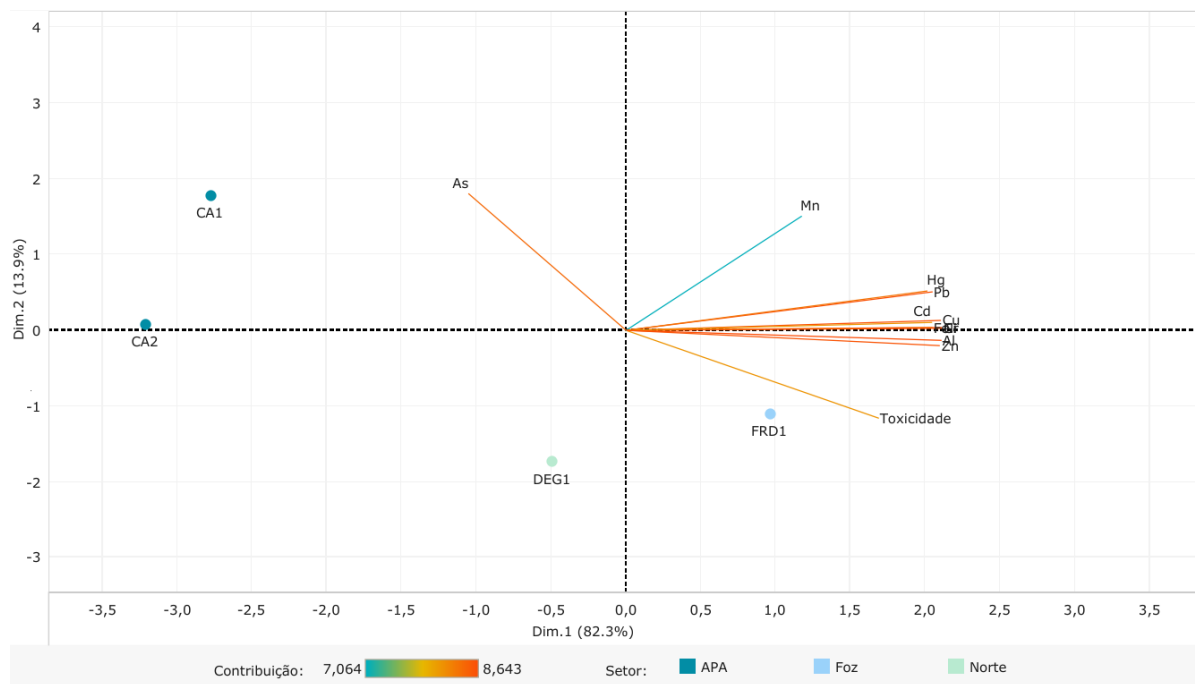
Na Figura 105, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 48,2% e por 39,2%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais no sedimento do Ambiente Marinho durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 77,4% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a auxiliamna visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais no sedimento do Ambiente Marinho. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade no sedimento do Ambiente Marinho está majoritariamente associada a estação de coleta FRD1 e aos metais Cu e Zn.

Figura 106: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os valores do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os metais analisados foram: Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). A variável Toxicidade indica a média dos valores do índice de toxicidade resultantes dos diferentes ensaios realizados no sedimento. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1); e Foz do Rio Doce 6 (FRD6)]; e Norte [Degredo 1 (DEG1)].



Na Figura 106, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 67,2% e por 16,4%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais no sedimento do Ambiente Marinho durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 83,6% da variabilidade total dos dados. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade no sedimento do Ambiente Marinho está associada as estações de coleta DEG1 e FRD1 e ao metal Ni.

Figura 107: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os valores do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os metais analisados foram: Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). A variável Toxicidade indica a média dos valores do índice de toxicidade resultantes dos diferentes ensaios realizados no sedimento. Classificação por setores e por estações de coleta: APA [Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2)]; Foz [Foz do Rio Doce 1 (FRD1); e Foz do Rio Doce 6 (FRD6)]; e Norte [Degredo 1 (DEG1)].



Na Figura 107, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 82,3% e por 13,9%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais no sedimento do Ambiente Marinho durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 96,2% da variabilidade total dos dados. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade no sedimento no Ambiente Marinho está associada a estação de coleta FRD1 e aos metais Al e Zn.

Figura 108: Classificação ecotoxicológica 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) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). As amostras foram classificadas de acordo com o índice de toxicidade 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)]; Vermelho -Tóxico [T (51-100)]; Cinza escuro -Altamente tóxico [AT (>100)]; e Cinza claro – ausência da coleta].

Estação	Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DEG1	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FRD6	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FRD1	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CA1	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CA2	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Os ensaios de toxicidade realizados em organismos de diferentes níveis da cadeia trófica indicaram que as águas e sedimentos da foz do Rio Doce e da região de Degredo continuam a apresentar impactos significativos do ponto de vista ecotoxicológico. No entanto, destaca-se que as amostras de sedimento coletadas na REVIS Santa Cruz demonstraram uma redução na toxicidade. Durante o período chuvoso de 2022 (Campanha 7 - março de 2022), os pontos de amostragem localizados na região de Degredo (DEG1) e na Costa das Algas (CA2), na matriz sedimento, exibiram os maiores níveis de impacto, sendo classificados como "moderadamente tóxicos" para o sedimento. No período seco de 2022 (Campanha 8 - setembro/outubro de 2022), observou-se um aumento na toxicidade das matrizes em relação à campanha anterior, com os sedimentos dos pontos de amostragem ao norte da foz (FRD1, FRD6 e DEG1) e na Costa das Algas (CA2) sendo classificados como "moderadamente tóxicos". Por outro lado, no período chuvoso de 2023, notou-se uma redução gradual na toxicidade das matrizes, com as amostras de sedimento coletadas na Costa das Algas atingindo a classificação de "Não tóxicas", enquanto as demais amostras de água e sedimento foram classificadas como "levemente tóxicas".

As PCAs relacionando a toxicidade e os metais no ambiente marinho revelaram padrões semelhantes ao longo das campanhas de amostragem. Na Campanha 7, observou-se que a toxicidade estava predominantemente associada ao ponto de amostragem na Foz do Rio Doce (FRD1), tanto para a matriz de água quanto para o sedimento. Na Campanha 8, essa tendência persistiu para ambas as matrizes. Já na Campanha 9, houve uma variação nos padrões, com o com o ponto FRD1 ainda sendo o mais relevante para o sedimento, mas o outro ponto da Foz do Rio Doce (FRD6) assumindo maior importância para a matriz água. É importante destacar também que a associação da toxicidade com diferentes metais variou entre as campanhas e as matrizes, enfatizando a complexidade das interações entre os contaminantes e os padrões de toxicidade observados.

3 REFERÊNCIAS

- AEBI, H. Catalase *in vitro*. In: Methods in enzymology. **Academic Press**, p. 121-126, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15469: **Ecotoxicologia aquática – preservação e preparo de amostras**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15350: **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica de curta duração – método de ensaio com ouriço-do-mar (Echinodermata: Echinoidea)**. Rio de Jan, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16181: **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – microalgas marinhas**. Rio de Jan, 2013.
- BERNET, D., SCHMIDT, H., MEIER, W., BURKHARDT-HOLM, P., WAHLI, T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of fish diseases**, 22: 25-34, 1999.
- BULICH, A.A. A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic samples. **Process Biochemistry**, 17(2): 45-47, 1982.
- CHILDRESS, J. J., SOMERO, G.N. Depth-related enzymic activities in muscle, brain and heart of deep-living pelagic marine teleosts. **Marine Biology**, 52(3): 273-283, 1979.
- HENRY, R.P. Techniques for measuring carbonic anhydrase activity in vitro: the electrometric delta pH and pH stat methods. In: DODGSON SJ, TASHIAN RE, GROS G, CARTERS ND (Eds.), The Carbonic Anhydrases: Cellular Physiology and Molecular Genetics. **Plenum**, New York, pp. 119-125, 1991.
- LANA, P.C., BIANCHINI, A., RIBEIRO, C., NIENCHESKI, L.F.H., FILLMANN, G., SANTOS, C.S.G. **Uso e Apropriação de Recursos Costeiros, Grupo Temático: Biodiversidade e Qualidade Ambiental. Avaliação Ambiental de estuários brasileiros: aspectos metodológicos**. Capítulo 4. Contaminantes: Metais, Hidrocarbonetos e Organoclorados. 63 – 117.
- LOTUFO, G. R.; ABESSA, D. M. S. Testes de toxicidade com sedimento total e água intersticial estuarinos utilizando copépodes bentônicos. In: NASCIMENTO, I. A.; SOUSA, E. C. P. M.; NIPPER, M. G. (Org.). **Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Artes Gráficas e Indústria Ltda. p. 91-97, 2002.
- MARKLUND, S., MARKLUND, G. 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, 1974.
- NADELLA, S.R., FITZPATRICK, J.L., FRANKLIN, N., BUCKING, C., SMITH, S., WOOD, C.M. Toxicity of dissolved Cu, Zn, Ni and Cd to developing embryos of the blue mussel (*Mytilus trossolus*) and the protective effect of dissolved organic carbon. **Comparative Biochemistry and Physiology C** 149: 340-348, 2009.
- PÉQUEUX, A., CHAPELLE, S. Na⁺-K⁺-ATPase activity and phospholipids in two euryhaline crabs related to changes in the environmental salinity. **Marine Biology Letters** 3: 43-52, 1982.

RIBEIRO, A.C., BATISTA, M.T.O., RODRIGUES-JUNIOR, E., OLIVEIRA, M.F., VANI, G.S., RODRIGUES, E., Suda, C.N.K. Atividades de lactato desidrogenase e malato desidrogenase de *Astyanax bimaculatus* (lambari) da bacia hidrográfica do rio Una como biomarcadoras de impacto ambiental. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 10(4): 793-803, 2015.

VAJRESWARI, A., SRINIVASA, R.P, KAPLAY, S.S., TULPUL, P.G. Erythrocyte membrane in rats fed high eurycic acid-containing mustard oil: osmotic fragility, lipid composition, and (Na⁺,K⁺)- and (Ca²⁺,Mg²⁺)-ATPases. **Biochemica Medica**, 29: 74-84, 1983.

WALKER, C.H., HOPKIN, S.P., SIBLY, R.M., PEAKALL, D.B. **Principles of Ecotoxicology**. Londres: Taylor & Francis. 321 pp. 1996.