

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

Material Suplementar Ambiente Dulcícola

Tema: Ecotoxicologia

RT- 44/ NOV 23

RSE2023 PMBA/Fest

Vitória,

Novembro de 2023

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	3
2	RESULTADOS DOS INDICADORES	3
2.1	CONCENTRAÇÃO DE ARSÊNIO E METAIS EM AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTO.....	4
2.2	ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (<i>IBR BIOACUMULAÇÃO</i>)	10
2.3	ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA (<i>IBR BIOMARCADOR</i>)	42
2.4	DIVERSIDADE MICROBIANA	65
2.5	ÍNDICE DE TOXICIDADE	77
3	REFERÊNCIAS	99

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, apresentada e aprovada em 2022, visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas encontram-se 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 as malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” as estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente as estações amostrais a partir de agosto de 2022, à exceção do grupo da Ecotoxicologia, que iniciou a amostragem referente ao Novo Ciclo em janeiro de 2023.

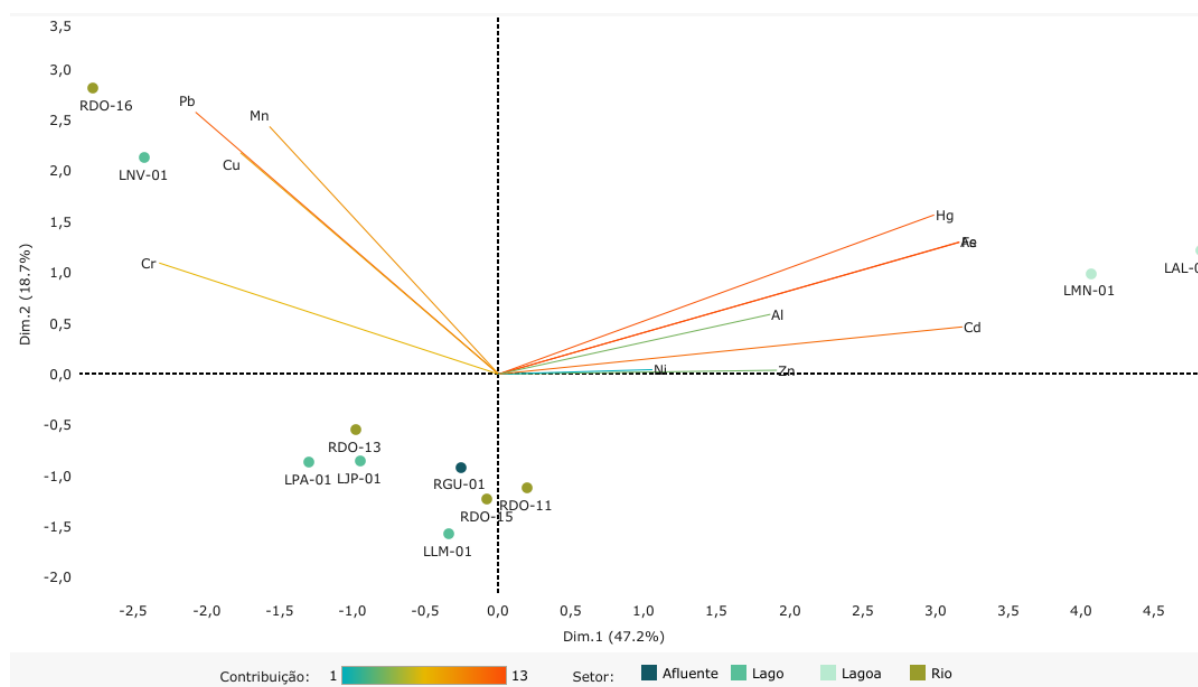
2 RESULTADOS DOS INDICADORES

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 (set/out 2018 a jan/fev 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:

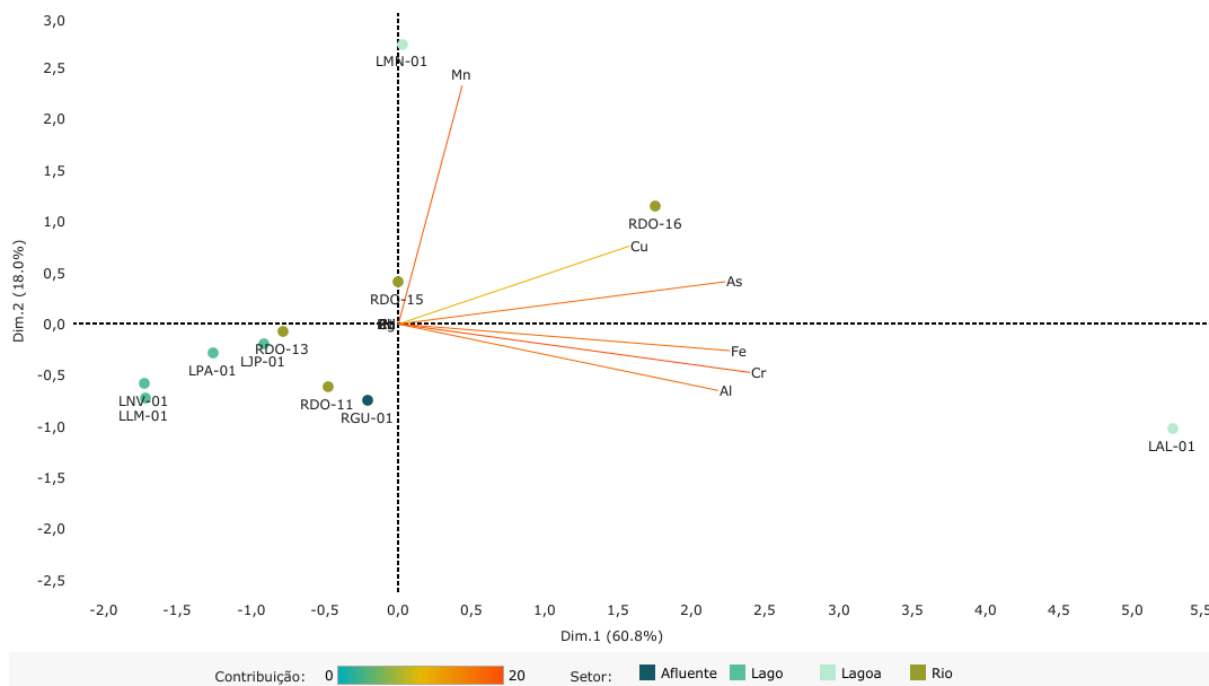
2.1 CONCENTRAÇÃO DE ARSÊNIO E METAIS EM AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTO

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 coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



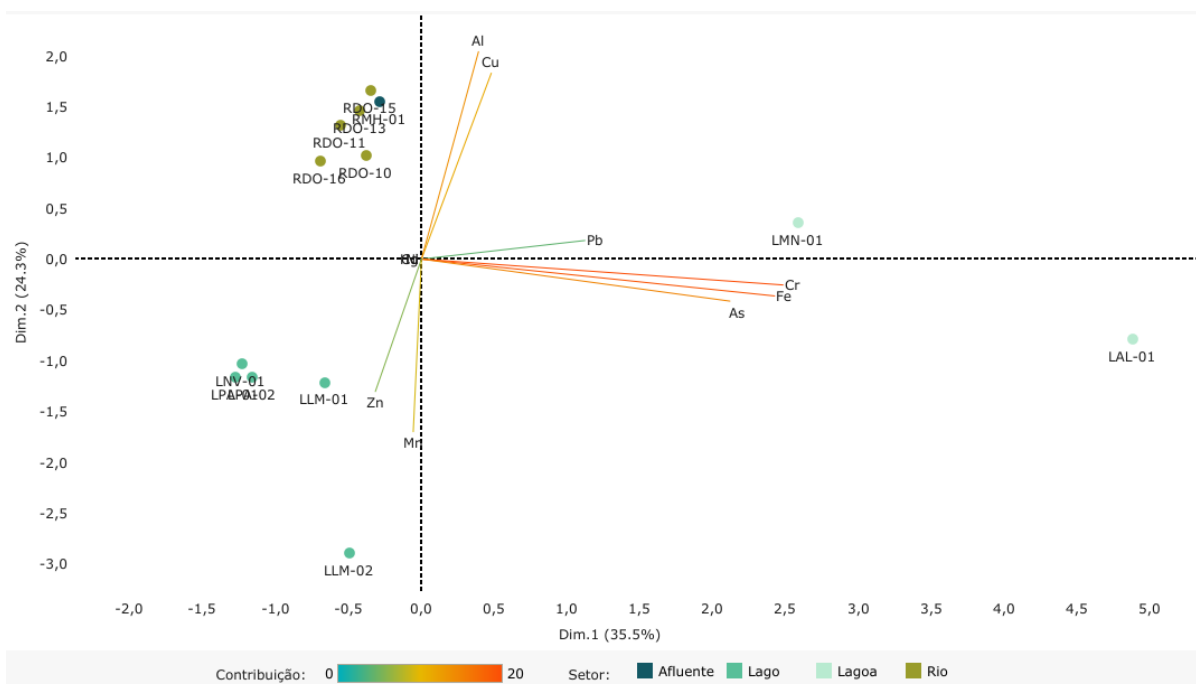
A PCA demonstra o quanto cada componente principal explica a variabilidade total dos dados analisados. Quanto maior (menor) e mais vermelha (azul) a linha, maior (menor) é a contribuição/importância da variável para a PCA. Na Figura 1, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 47,2% e por 18,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 - período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 65,9% 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 Dulcícola. Observando-se o que os metais Fe, As, Hg, e Cd, os quais se encontram no quadrante superior à direita, apresentam uma forte associação ao Setor Lagoa (LMN-01 e LAL-01). Por outro lado, no quadrante superior à esquerda, os metais Cr, Pb e Mn relacionam-se fortemente com as estações RDO-16 (Rio) e LNV-01 (Lago).

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 coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



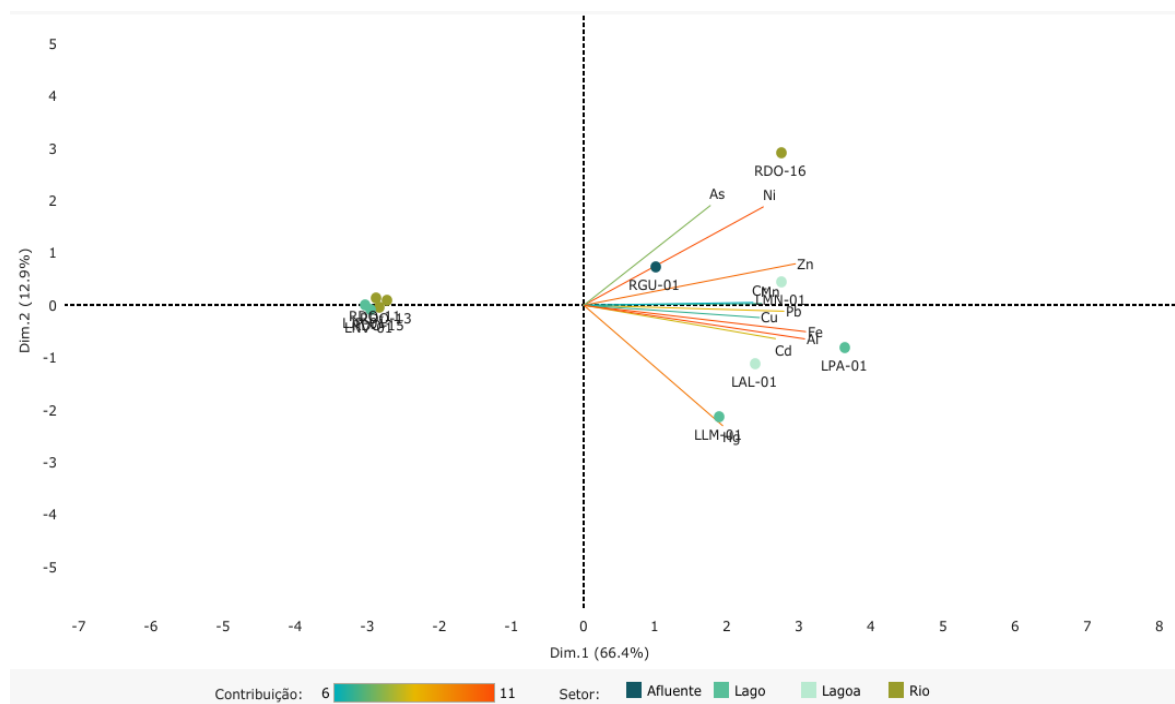
Na Figura 2, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 60,8% e por 18,0%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 78,8% da variabilidade total dos dados. Da mesma forma que a Campanha 7 as estações dos Setores Lagoa e Rio que mostram associação com os metais são as mesmas (LMN-01, LAL-01 e RDO-16). O Setor Lagoa demonstra a presença dos metais Fe, Cr e Al, os quais estão associados a estação LAL-01 no quadrante inferior à direita, e também do metal Mn, o qual está associado a estação LMN-01 no quadrante superior à direita. Ainda, a estação RDO-16 (Setor Rio) está relacionada com os metais Cu e As.

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 coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



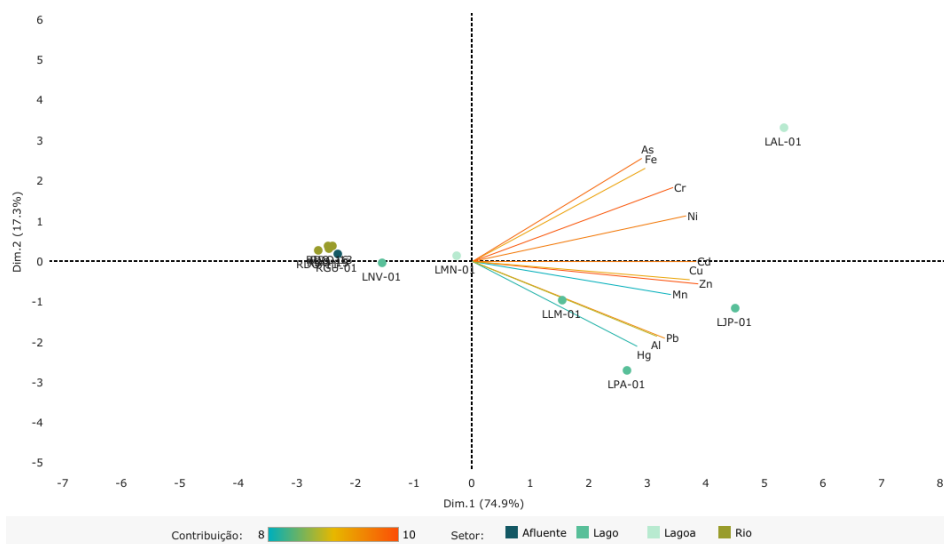
Na Figura 3, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 35,5% e por 24,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 59,8% da variabilidade total dos dados. O Setor Lagoa contém a presença dos metais Pb, Cr, Fe e As (LMN-01 e LAL-01 – quadrantes à direita). Em relação ao Setor Lago (LNV-01, LLM-01, LLM-02, LPA-01 e LPA-02), o mesmo associa-se com os metais Mn e Zn (quadrante inferior à esquerda). Por último, nos quadrantes superiores (direita e esquerda), tanto o Setor Rio (RDO-11, RDO-13 e RDO-15) como o Setor Afluente (RMH-01) relacionam-se aos metais Al e Cu.

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 coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



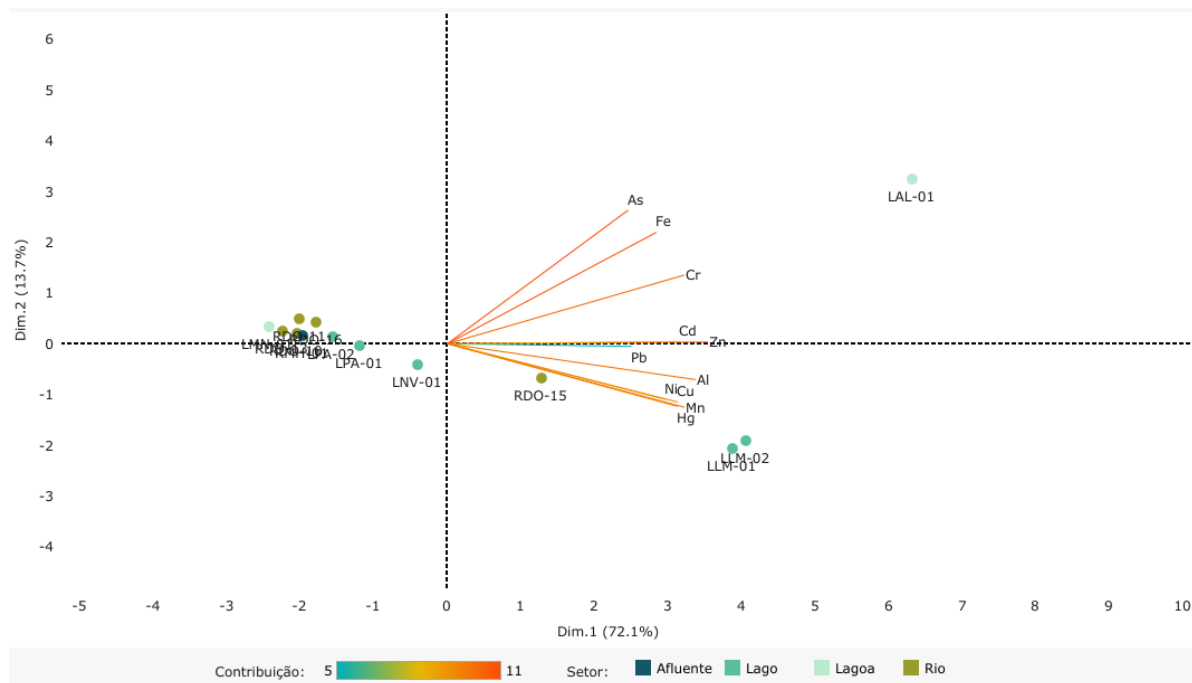
Na Figura 4, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 66,4% e por 12,9%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 79,3% da variabilidade total dos dados. Nota-se que todas os metais analisados estão concentrados nos quadrantes à direita. A estação RDO-16 (Rio) associa-se principalmente aos metais As, Ni, Zn, Cr e Mn que se encontram no quadrante superior à direita, além dos metais Pb, Cu, Fe, Al e Cd, do quadrante inferior à direita. Por outro lado, o Setor Lagoa (LAL-01 e LMN-01) demonstra uma relação com os metais Ni, Zn, Cr, Mn, Pb, Cu, Fe, Al e Cd. Da mesma forma, o Setor Lago na estação LPA-01 contém a presença de Ni, Zn, Cr, Mn, Pb, Cu, Fe, Al e Cd. Já a estação LLM-0, no mesmo Setor, associa-se, principalmente, ao metal Hg, bem como aos metais Pb, Cu, Fe, Al e Cd.

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 coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 5, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 74,9% e por 17,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 92,2% da variabilidade total dos dados. Pode-se observar que, no quadrante superior à direita, os metais As, Fe, Cr e Ni estão relacionados a estação LAL-01 (Lagoa). Já, no quadrante inferior à direita, o Setor Lago apresenta uma associação com os metais Cu, Zn, Mn (LJP-01), Pb, Al e Hg (LPA-01 e LLM-01).

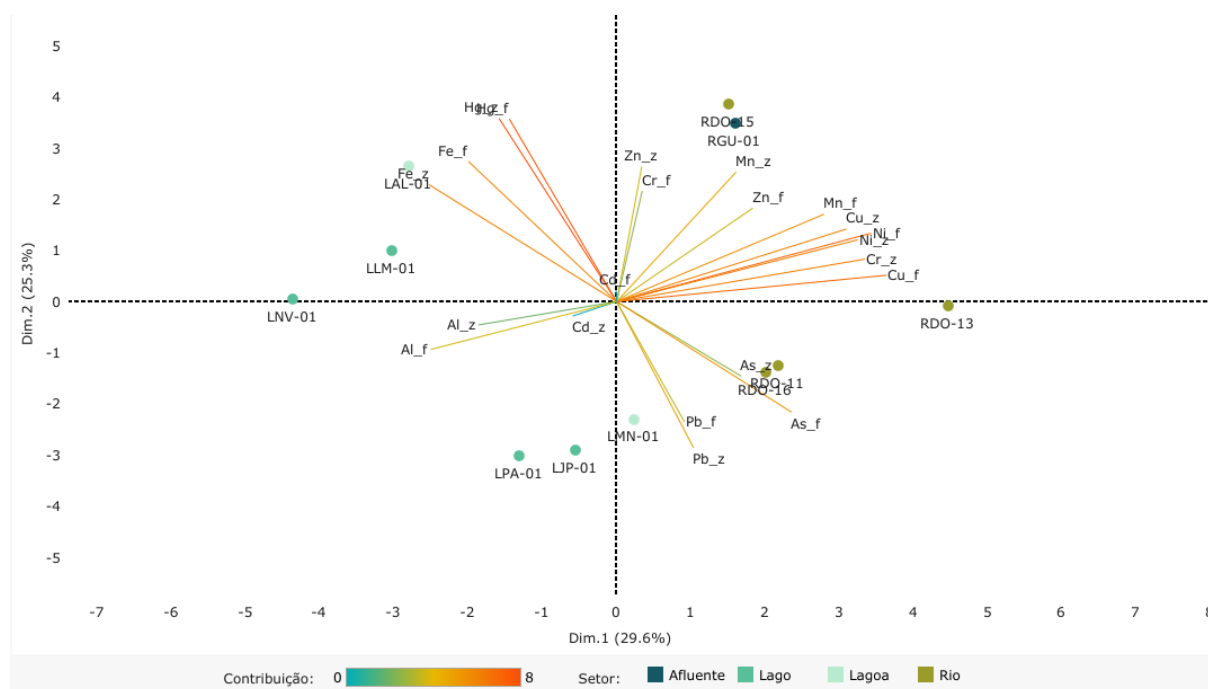
Figura 6: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de sedimento coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluentes [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 6, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 72,1% e por 13,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 85,5% da variabilidade total dos dados. Observa-se que os metais As, Fe, Cr, Cd e Zn no quadrante superior à direita associam-se a estação LAL-01 no Setor Lagoa. Entretanto, o Setor Lago (LLM-01 e LLM-02) relaciona-se com os metais Mn, Hg, Ni, Cu, Al, Cd, Zn e Pb, no quadrante inferior à direita.

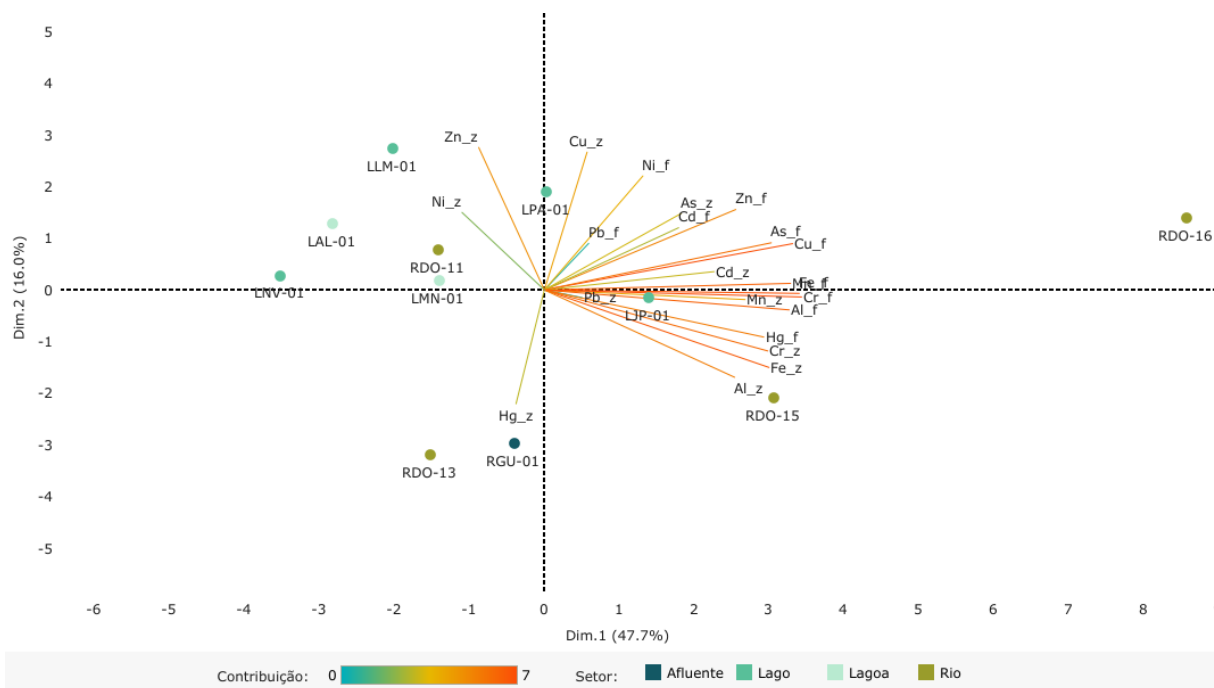
2.2 ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (IBR BIOACUMULAÇÃO)

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 [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



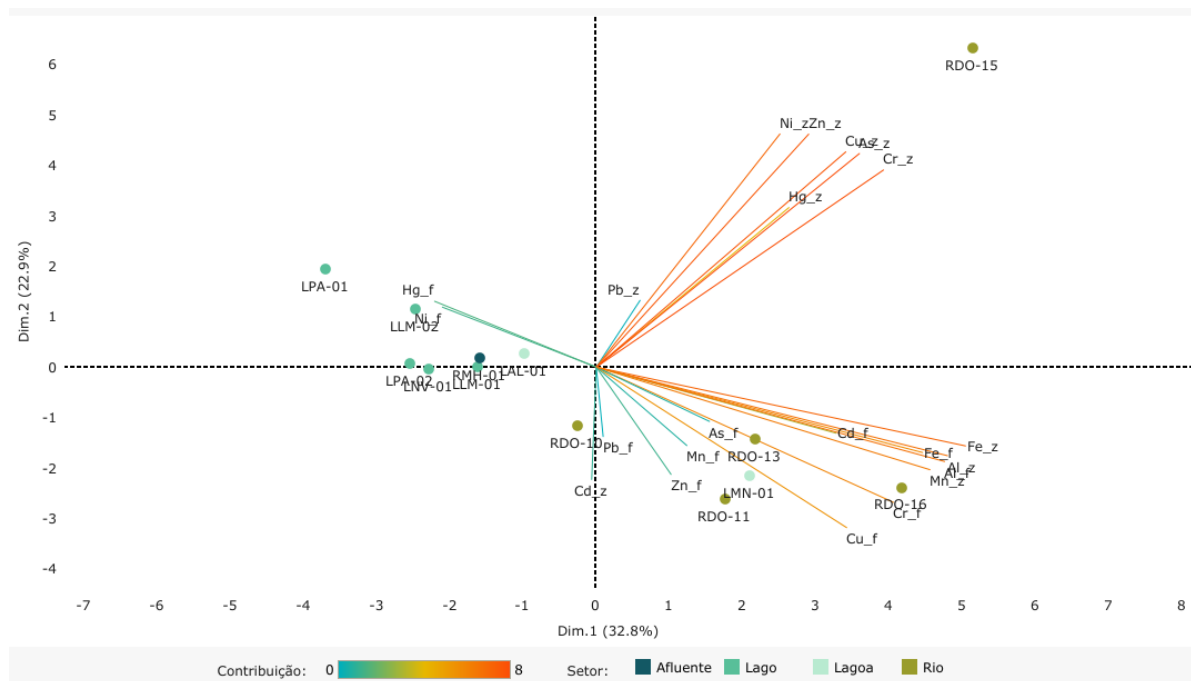
Na Figura 7, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 29,6% e por 25,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 54,9% 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 Dulcícola. Observa-se que o Setor Rio demonstra uma associação com os metais Zn, Mn (RDO-15), Cu, Ni, Cr (RDO-13) e As (RDO-11 e RDO-16) bioacumulados em zooplâncton, e uma associação com os metais Cr, Zn (RDO-15), Mn, Ni, Cu (RDO-13) e As (RDO-11 e RDO-16) bioacumulados em fitoplâncton. O Setor Lagoa apresenta uma associação com os metais Pb (LMN-01) e Fe (LAL-01) bioacumulados tanto em zooplâncton como em fitoplâncton. Já o metal Al bioacumulado em zooplâncton e fitoplâncton demonstra uma relação com a estação LNV-01 do Setor Lago. E o Setor Afluente (RGU-01) apresenta a presença de Zn e Mn em zooplâncton, e Cr e Zn em fitoplâncton.

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 [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



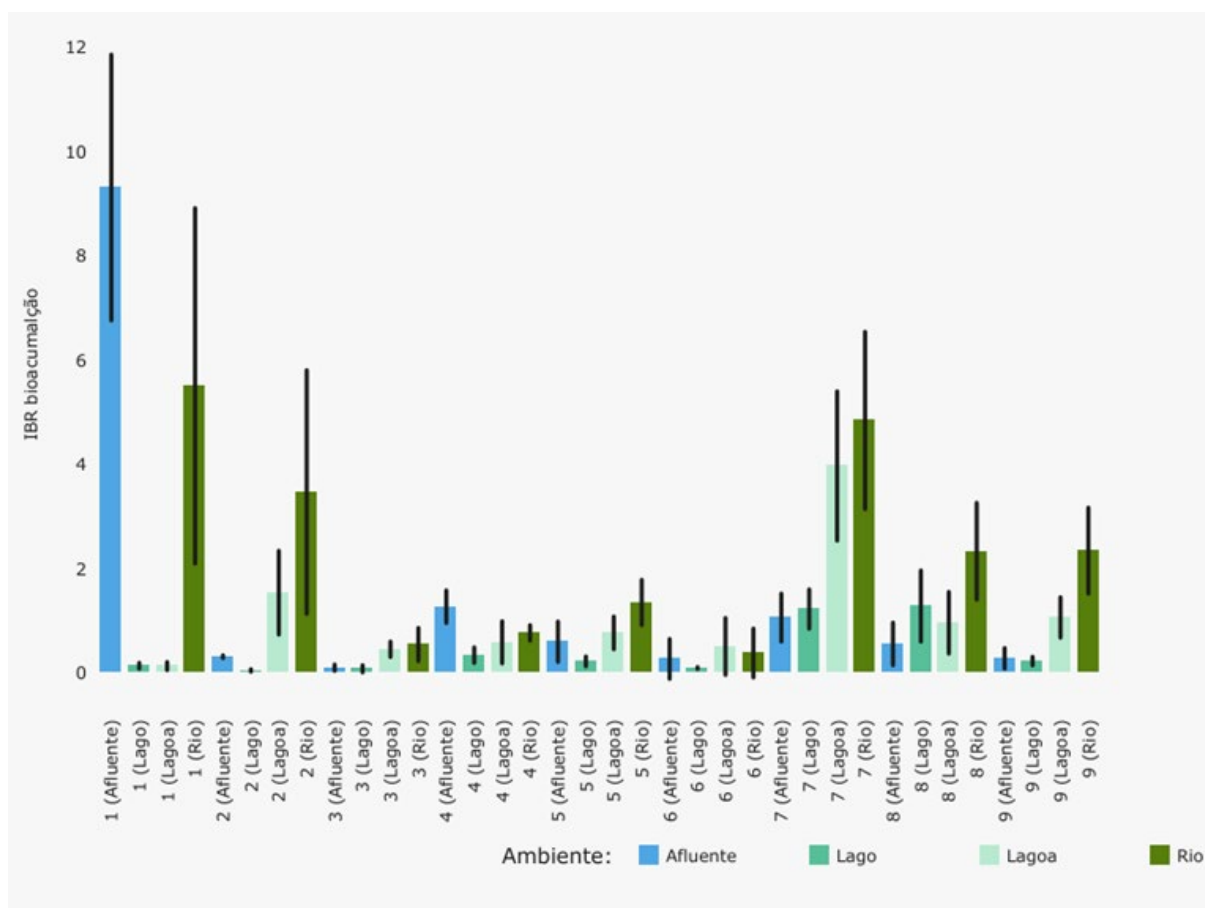
Na Figura 8, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 47,7% e por 16,0%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 63,7% da variabilidade total dos dados. Nota-se que o Setor Afluente apresenta uma associação com o metal Hg bioacumulado em zooplâncton. Em relação ao Setor Rio, o mesmo associa-se aos metais As, Cd, Mn, Cr, Fe, Al (RDO-16), Cr, Fe, Al (RDO-15), Hg (RDO-13) e Ni (RDO-11) em zooplâncton, e os metais As, Cu, Zn, Cd, Mn (RDO-16), Hg e Al (RDO-15) em fitoplâncton. A bioacumulação dos metais Zn, Cu (LPA-01), Mn (LJP-01), Zn e Ni (LLM_01) em zooplâncton, e dos metais Ni (LPA-01), Al, Cr e Fe (LJP-01) em fitoplâncton relacionam-se com o Setor Lago. As estações LAL-01 e LMN-01 do Setor Lagoa apresentam bioacumulação de Ni em zooplâncton.

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 [fito (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



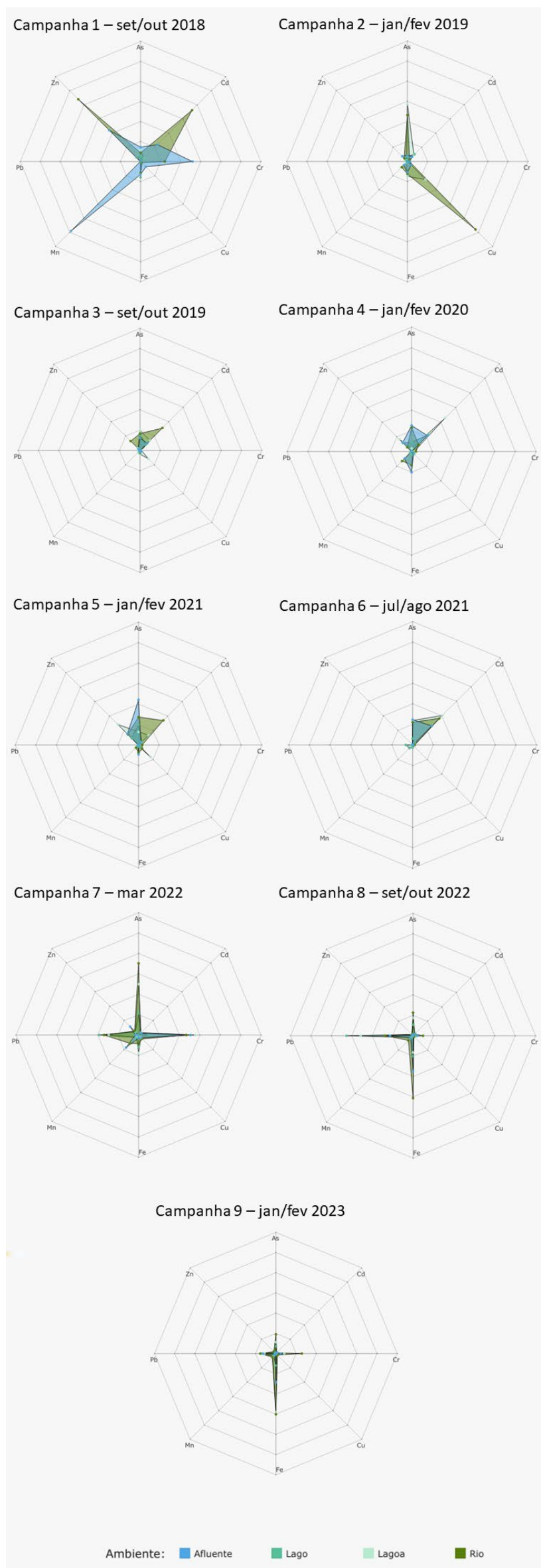
Na Figura 9, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 32,8% e por 22,9%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 55,7% da variabilidade total dos dados. A maior parte dos metais analisados e com maiores contribuições a PCA estão concentrados nos quadrantes à direita (superior e inferior). O Setor Rio apresenta uma alta bioacumulação de metais tanto em zooplâncton quanto em fitoplâncton, com destaque da concentração de metais em zooplâncton a estação RDO-15 (Ni, Zn, Cu, As, Cr e Hg). As estações RDO-16 (Fe, Al e Mn) e RDO-10 (Cd) também apresentam bioacumulação de metais em zooplâncton. Em contrapartida, a estação RDO-16 se destaca pela maior associação dos metais (Cd, Fe, Al, Cr e Cu), com maior contribuição a análise, em fitoplâncton. Ainda, as estações RDO-13, RDO-11 e RDO-10 apresentam os metais Cr, Cu e Pb, respectivamente, no fitoplâncton. A estação LMN-01 do Setor Lagoa relaciona-se aos metais Cu, Mn e Zn em fitoplâncton. E por último tanto o Setor Afluente (RMH-01) e quanto Lago (LPA-01, LPA-02, LLM-01, LLM-02 e LNV-01) associam-se aos metais Hg e Ni bioacumulados em fitoplâncton.

Figura 10: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para o plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletado durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (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: Afluyente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



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 Dulcícola, 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 maiores valores do índice, ao longo do monitoramento, encontram-se no Setor Rio. A Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) apresenta altos resultados no IBR bioacumulação do plâncton para os Setores Lagoa e Rio comparado com os outros Setores e também com as Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso) e Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco). Em relação as Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), os valores do índice sofrem uma queda, entretanto o Setor Rio segue se destacando com os maiores valores em relação aos outros Setores e também em relação as Campanhas 3, 4, 5 e 6.

Figura 11: Gráficos de radar obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) para o plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletado durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (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); Cádmiu (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); e Zinco (Zn). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



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 Dulcícola 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.

Em relação a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), os metais que mais contribuem para o índice nos três Setores são os mesmos, sendo eles As, Cr e Pb. Os metais Pb, Fe e As são os quais mais representaram o IBR bioacumulação na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) nos três setores. E por último na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), o Fe é o metal que se destaca com os maiores valores para a composição do índice nos três Setores. Além disso, o Cr e o As, embora com valores baixos, contribuem no resultado do IBR bioacumulação no Setor Rio.

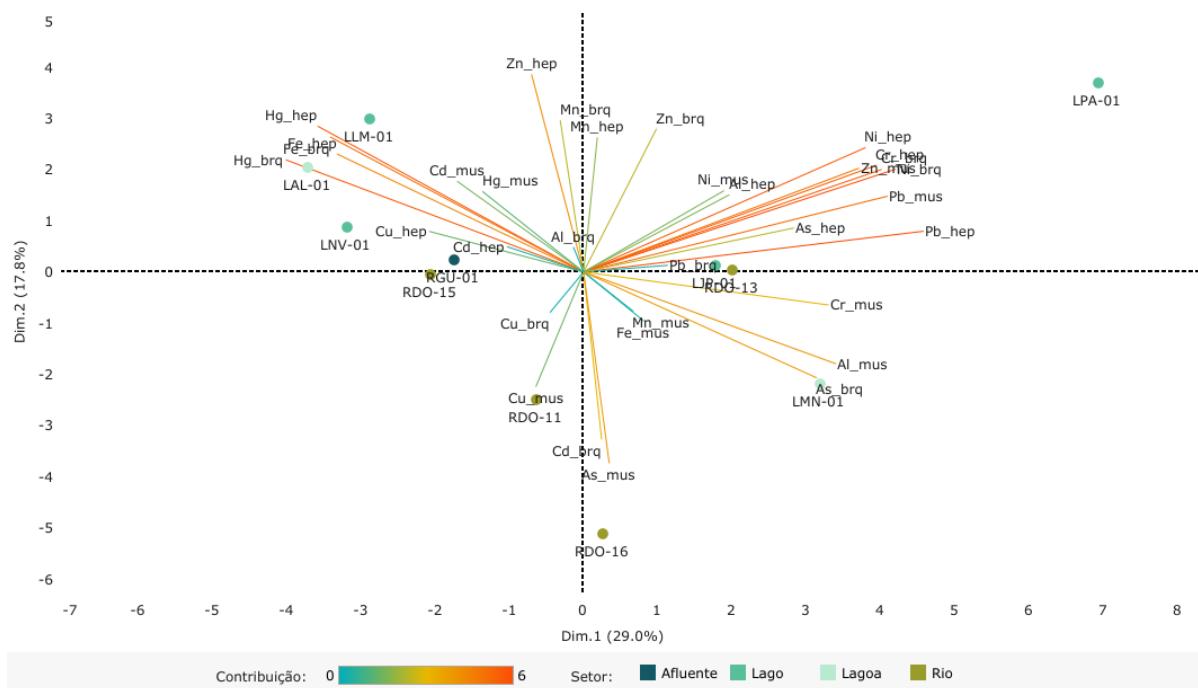
Tabela 1: Dados PMBA/Fest/ (Ecotoxicologia) da concentração média de metais (mg.Kg⁻¹) em amostras de zooplâncton coletadas nos diferentes setores do ambiente dulcícola (Afluente, Lago, Lagoa e Rio) durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].

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 (Ecotoxicologia)	Campanha 1 (set/out 2018)	Afluente (RGU-01)	Zooplâncton	0,194	0,107	5,148	2,284	123,562	124,649	0,073
		Rio Doce		0,123	0,159	0,025	0,099	306,195	0,460	0,046
		Lagos		0,020	0,019	0,032	0,191	14,191	0,918	0,089
		Lagoas		0,144	0,026	0,076	1,113	229,427	1,115	0,096
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Afluente (RGU-01)	Zooplâncton	0,022	0,030	0,272	3,277	107,327	20,289	0,014
		Rio Doce		0,520	0,020	0,035	55,546	198,532	41,192	0,023
		Lagos		0,033	0,049	0,049	0,197	14,786	2,485	0,016
		Lagoas		0,479	0,043	0,008	10,356	265,668	8,793	0,170
	Campanha 3 (set/out 2019)	Afluente (RGU-01)	Zooplâncton	0,020	0,069	0,016	0,384	27,284	4,658	0,014
		Rio Doce		0,133	0,218	0,053	0,567	50,055	3,117	0,009
		Lagos		0,142	0,045	0,021	0,269	12,993	1,288	0,022
		Lagoas		0,137	0,064	0,252	6,993	48,200	12,341	0,012
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Afluente (RGU-01)	Zooplâncton	0,041	0,146	0,035	0,816	224,513	42,860	0,082
		Rio Doce		0,164	0,041	0,601	0,517	143,136	52,050	0,106

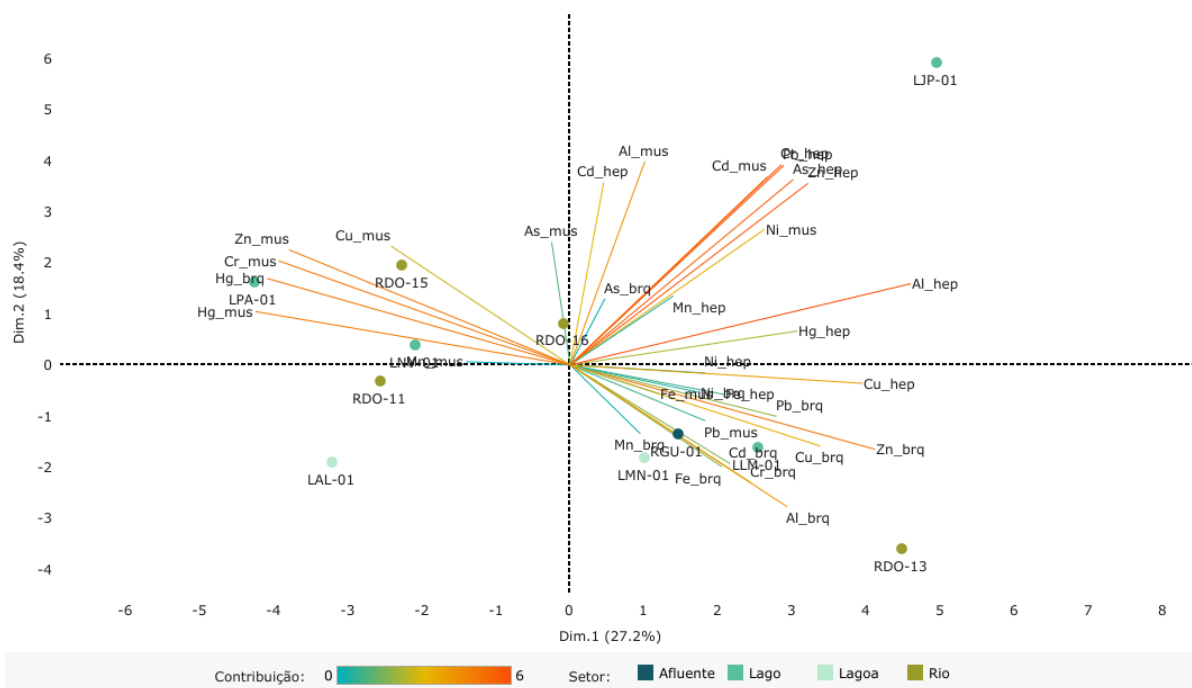
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
		Lagos		0,082	0,135	0,049	0,545	40,604	10,311	0,024
		Lagoas		0,026	0,168	0,292	1,492	17,771	2,354	0,005
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Afluente (RGU-01)	Zooplâncton	0,230	0,014	0,050	0,227	75,204	1,980	0,086
		Rio Doce		0,288	0,144	0,497	2,251	87,002	14,810	0,021
		Lagos		0,129	0,021	0,036	0,634	20,448	7,037	0,057
		Lagoas		0,085	0,029	0,031	1,576	9,863	1,045	0,026
	Campanha 6 (jan/fev 2021)	Afluente (RGU-01)	Zooplâncton	0,184	0,116	0,046	0,050	1,480	0,118	0,178
		Rio Doce		0,153	0,154	0,251	0,284	1,216	0,277	0,221
		Lagos		0,072	0,021	0,141	0,344	22,619	12,689	1,295
		Lagoas		0,246	0,251	0,239	0,513	11,939	0,265	0,380
	Campanha 7 (mar/ 2022)	Afluente (RGU-01)	Zooplâncton	0,005	0,014	3,906	0,909	31,649	61,235	0,545
		Rio Doce		0,566	0,011	5,050	1,696	85,250	40,616	11,696
		Lagos		0,150	0,015	1,397	0,429	147,943	13,495	11,335
		Lagoas		0,436	0,016	1,221	0,955	148,509	12,559	13,498
	Campanha 8 (set/out 2022)	Afluente (RGU-01)	Zooplâncton	0,059	0,079	0,387	55,586	294,582	12,760	1,547
		Rio Doce		0,278	0,116	0,394	41,656	348,661	11,090	1,328
		Lagos		0,297	0,063	0,355	30,853	396,785	10,358	2,605
		Lagoas		0,206	0,058	0,336	33,351	403,025	9,039	2,374
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Afluente (RMH-01)	Zooplâncton	0,012	0,012	0,757	0,250	441,190	8,466	3,485
		Rio Doce		0,161	0,010	3,492	0,932	766,820	23,527	4,527
		Lagos		0,076	0,007	0,457	0,368	313,467	9,375	4,717
		Lagoas		0,095	0,007	0,563	0,523	459,375	22,828	4,206
		Reservatório		0,128	0,007	2,140	1,051	622,457	44,558	1,554

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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



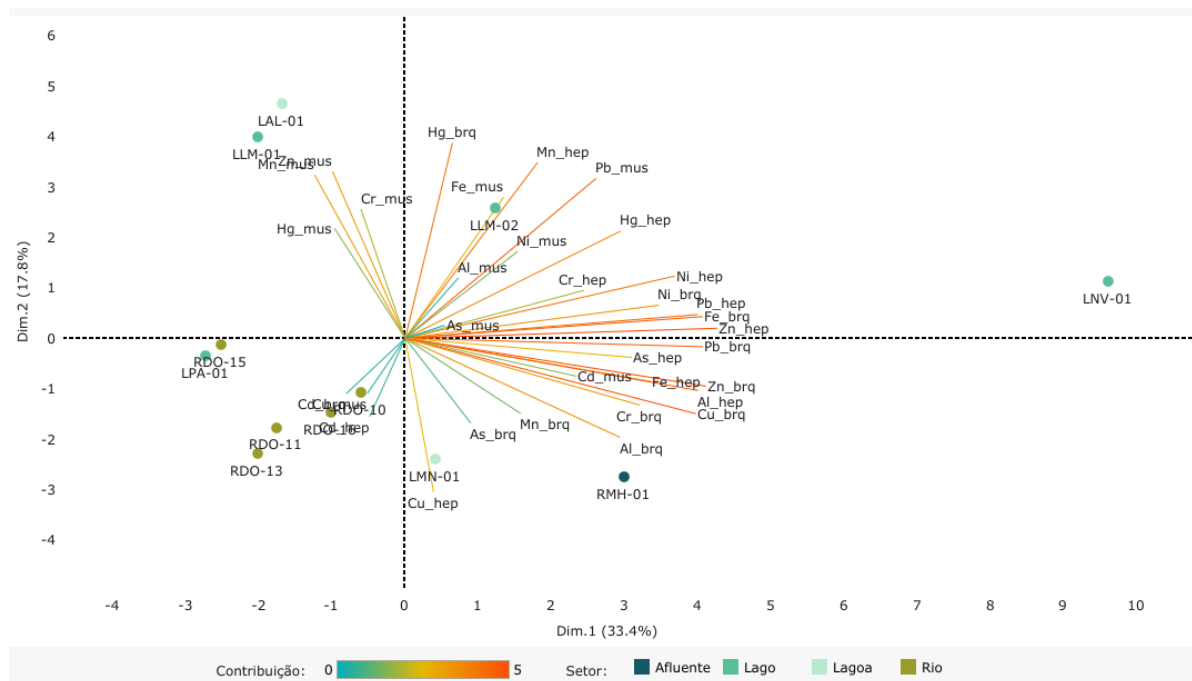
. Na Figura 12, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 29,0% e por 17,8%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos camarões do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 46,8% 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 Dulcícola. Observa-se que o Setor Lago (LPA-01, LLM-01 e LNV-01) apresenta uma associação com a ocorrência dos metais: Ni -nos três tecidos analisados; Cr – no hepatopâncreas e nas brânquias; Pb no hepatopâncreas e no músculo; Zn – no hepatopâncreas e nas brânquias; Hg- nos três tecidos analisados; Fe – no hepatopâncreas e nas brânquias; As – no hepatopâncreas; Al – no hepatopâncreas; Cd – no músculo; e Cu – no hepatopâncreas. Dando destaque aos metais, Ni, Pb, Cr, Zn, Fe e Hg, os quais estiveram presentes em dois ou nos três tecidos analisados dos camarões. O Setor Lagoa (LAL-01 e LMN-01) demonstra uma maior concentração dos metais Hg e Fe tanto no hepatopâncreas como nas brânquias, de As nas brânquias, e de Cr e Al no músculo. No Setor Rio (RDO-16 e RDO-11) há uma associação de Cd nas brânquias, de As e Cu nos músculos dos camarões.

Figura 13: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmiio (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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 13, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 27,2% e por 18,4%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos camarões do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 45,6% da variabilidade total dos dados. Nota-se que há um padrão de agrupamento dos metais que mais contribuem para a PCA em função dos tecidos analisados. Os metais nos músculos encontram-se agrupados no quadrante superior à esquerda e estão mais associados às estações LPA-01 e RDO-15. Os metais no hepatopâncreas estão concentrados no quadrante superior à direita e estão associados a estação LJP-01. Por fim, os metais concentrados nas brânquias estão aglomerados no quadrante inferior à direita associados as estações RDO-13, LLM-01 e RGU-01.

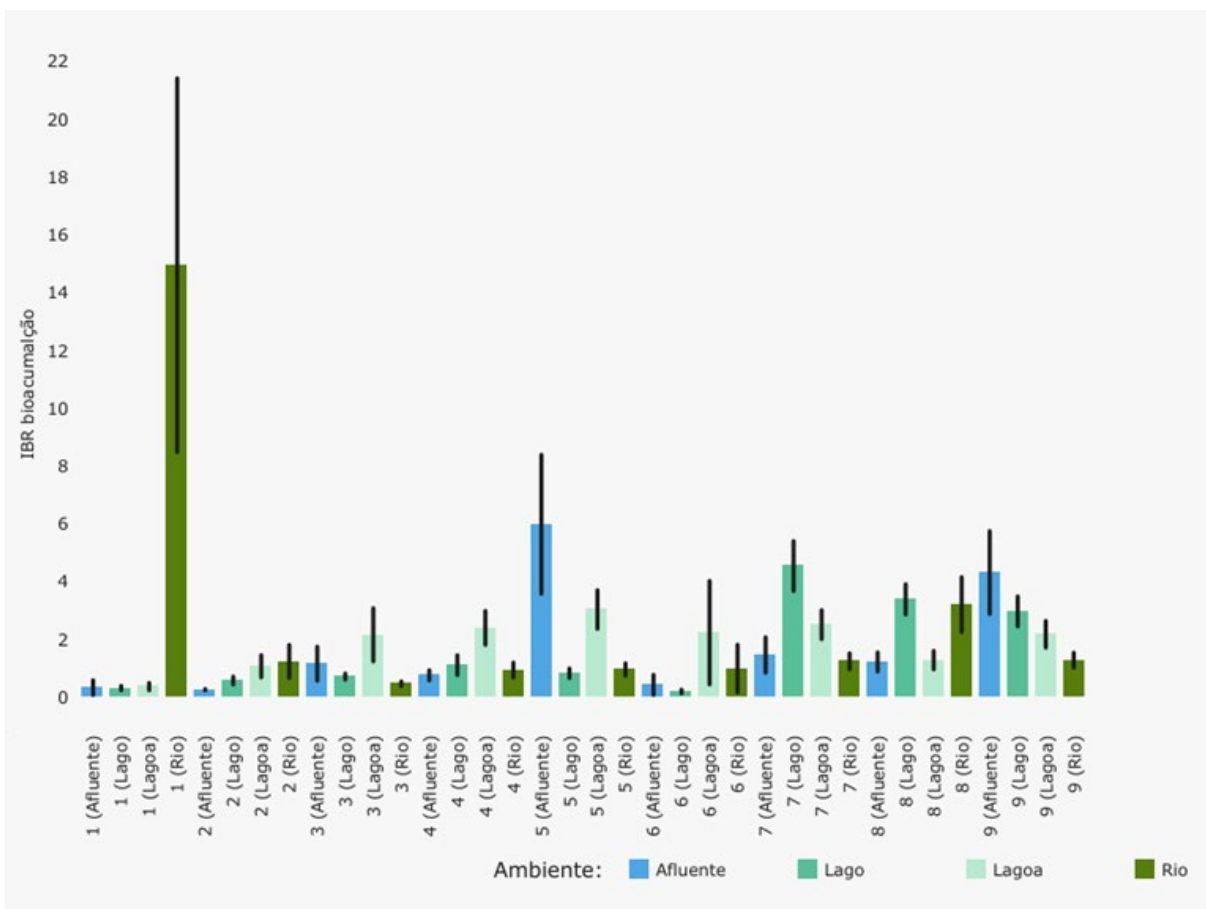
Figura 14: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_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: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 14, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 33,4% e por 17,8%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos camarões do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 51,2% da variabilidade total dos dados. É possível observar que os metais que mais contribuem para a PCA estão concentrados nos quadrantes à direita (superior e inferior) e estão bioacumulados nos tecidos do hepatopâncreas e brânquias. Estes metais estão associados as estações LNV-01 e LLM-02 do Setor Lago. Além disso, as estações LLM-01 do Setor Lago e LAL-01 do Setor Lagoa estão relacionados aos metais Hg, Mn, Zn e Cr bioacumulados no músculo (quadrante superior à esquerda). Embora com uma menor contribuição a PCA, os metais Cd no hepatopâncreas e músculo e Cu no músculo denotam uma associação ao Setor Rio (quadrante inferior à esquerda). O Setor Afluente demonstra estar associado com alguns metais bioacumulados nas brânquias dos camarões (Cu, Cr, Mn e As). Vale ressaltar que o Setor Lago é o qual mais se mostra relacionado com a bioacumulação dos metais em camarões nesta Campanha 9.

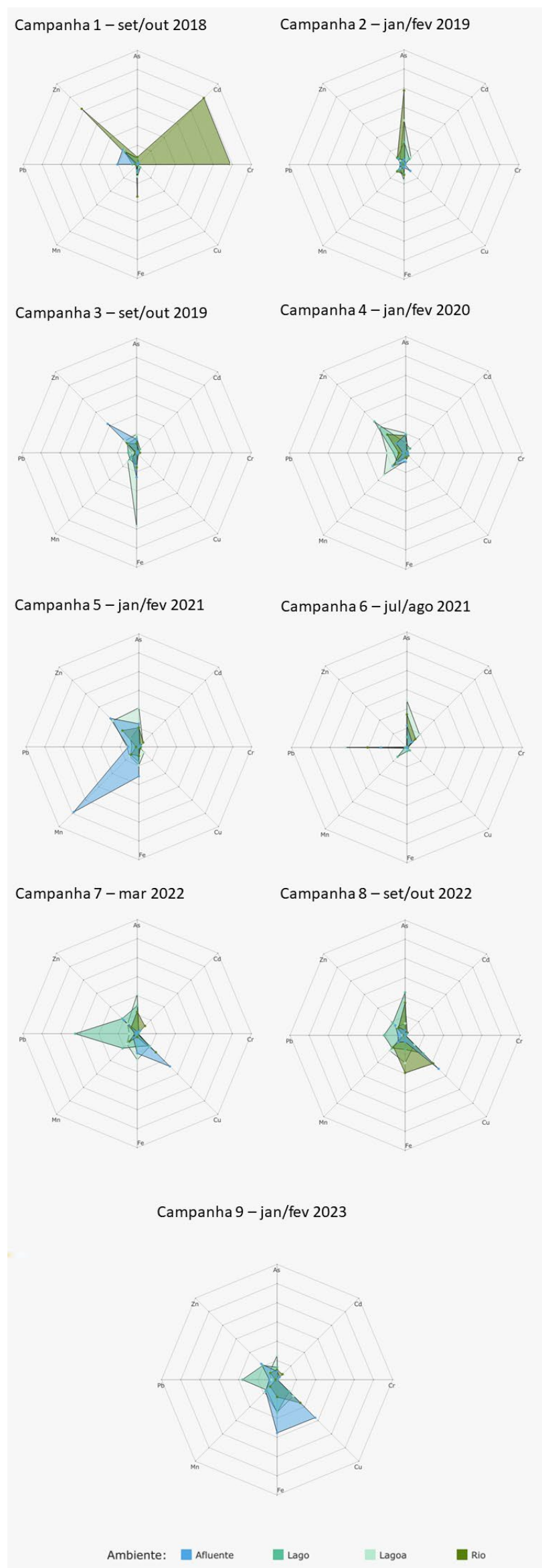
Figura 15: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de camarões coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – 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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



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 Dulcícola, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR bioacumulação para os camarões do Ambiente Dulcícola, na Figura 15, nota-se que há uma tendência do aumento dos valores do IBR bioacumulação nos Setor Lago, ao longo do monitoramento.

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); e Zinco (Zn). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluentes [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



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 Dulcícola e a contribuição destes para a composição do índice.

Em relação a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o Setor Lago é o que apresenta os maiores valores do IBR bioacumulação, sendo os metais Mn, Fe, Zn, Cu, As e Pb, com destaque a este último, os que mais contribuem para o resultado do índice neste setor. Os metais As, Fe e Cu também são os que mais caracterizam os valores do IBR bioacumulação no Setor Lagoa. O Setor afluente tem como destaque os metais Cu, Fe e Zn. Ainda, o Setor Rio tem como elementos mais relevantes ao valor do índice o Cu e o As. Os metais mais relevantes e comuns a todos os Setores nesta Campanha são o Fe e o Cu.

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os Setores que foram mais relevantes para o índice são o Lago e o Rio. O primeiro, tem como metais mais importantes para a formação dos valores do IBR bioacumulação As, Pb, Mn e Cu. Já o segundo, os metais As, Mn, Fe e Cu são os que mais relevantes. O Setor Afluente apresenta um pico nos valores de Cu e o Setor Lagoa tem seus maiores valores em Mn e Fe. O Cu é o metal de importância para a composição do índice que é comum a três dos Setores (Lago, Rio e Afluente) do Ambiente Dulcícola.

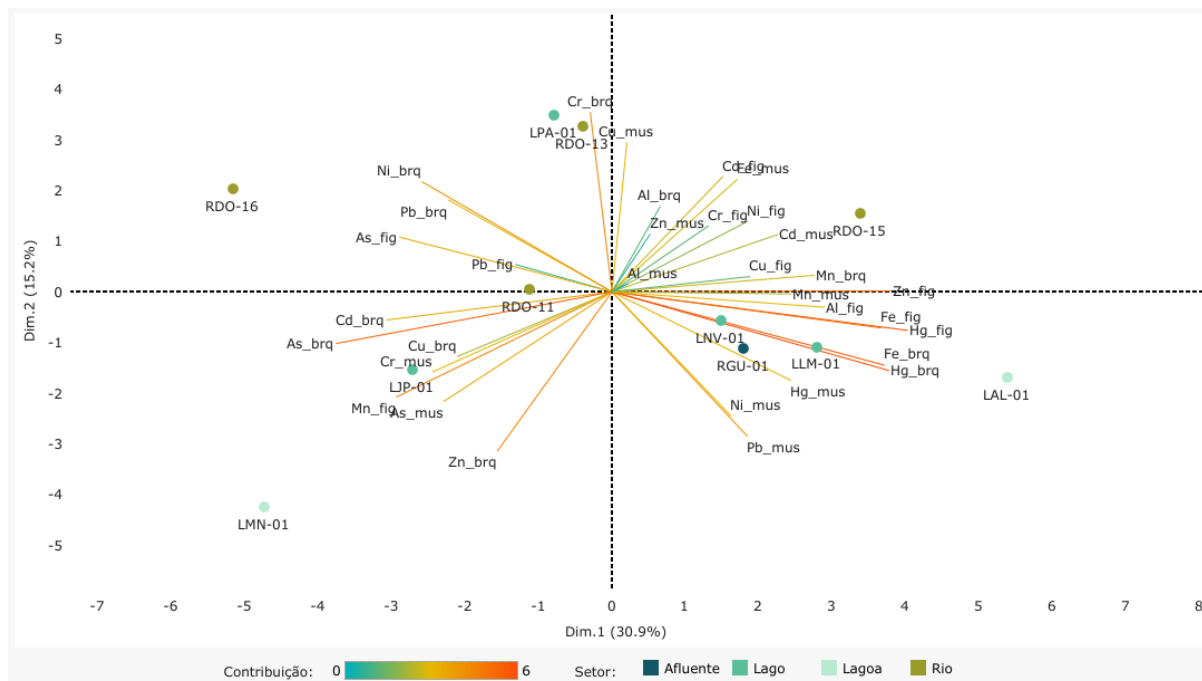
Por último a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) contém os maiores valores do IBR bioacumulação no Setor Afluente, em que dentre os metais de maior relevância para o índice neste Setor o Fe e o Cu são os que apresentam os maiores valores, seguidos pelo Zn e Mn. Os elementos As, Mn, Fe e Cu também são relevantes na formação do índice no Setor Lagoa. Já o Setor Lago apresenta os metais Pb, Fe Zn, As e Cu com os maiores resultados. Para o Setor Rio os maiores valores se concentram nos metais Fe e Cu. Ressalta-se que o Fe e o Cu são os metais relevantes que ocorrem em todos os Setores.

Tabela 2: Dados PMBA/Fest/ (Ecotoxicologia) da concentração média de metais (mg.Kg⁻¹) no músculo de camarões coletados nos diferentes setores do ambiente dulcícola (Afluente, Lago, Lagoa e Rio) durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (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 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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 - a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 - a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 - a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 - a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 - a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 - da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 - a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR - campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 - a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].

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	<i>Camarões</i>	0,7720	0,0010	0,0030	0,8350	26,9000	0,1640	0,2860
Dados PMBA/Fest (Ecotoxicologia)	Campanha 1 (set/out 2018)	Afluente (RGU-01)	<i>Camarões</i>	0,0371	0,0361	0,1397	0,4843	6,2662	0,1494	0,2240
		Rio Doce		0,0318	0,0827	0,0557	0,1136	17,6685	0,1914	0,0564
		Lagos		0,0601	0,0421	0,0216	0,8182	4,1530	0,2377	0,0309
		Lagoas		0,0605	0,0293	0,0305	1,6644	6,7484	0,4462	0,0231
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Afluente (RGU-01)	<i>Camarões</i>	0,0314	0,0378	1,4655	2,6000	4,8969	1,5006	0,0454
		Rio Doce		1,2740	0,0273	0,6114	0,3411	59,0219	2,4008	0,0398
		Lagos		0,1236	0,1061	0,2177	1,6554	8,4426	1,3728	0,0218
		Lagoas		0,5508	0,0896	0,0551	2,8199	52,2980	2,9142	0,0449
	Campanha 3 (set/out 2019)	Afluente (RGU-01)	<i>Camarões</i>	0,2745	0,0233	0,5234	1,7616	9,9427	1,2208	0,0047
		Rio Doce		0,1970	0,0700	0,2421	4,7483	50,3542	1,6465	0,0168
		Lagos		0,1299	0,0741	0,0385	0,1588	28,1492	1,8533	0,0611
		Lagoas		0,2868	0,0495	0,1326	1,1481	30,7090	3,0565	0,0087

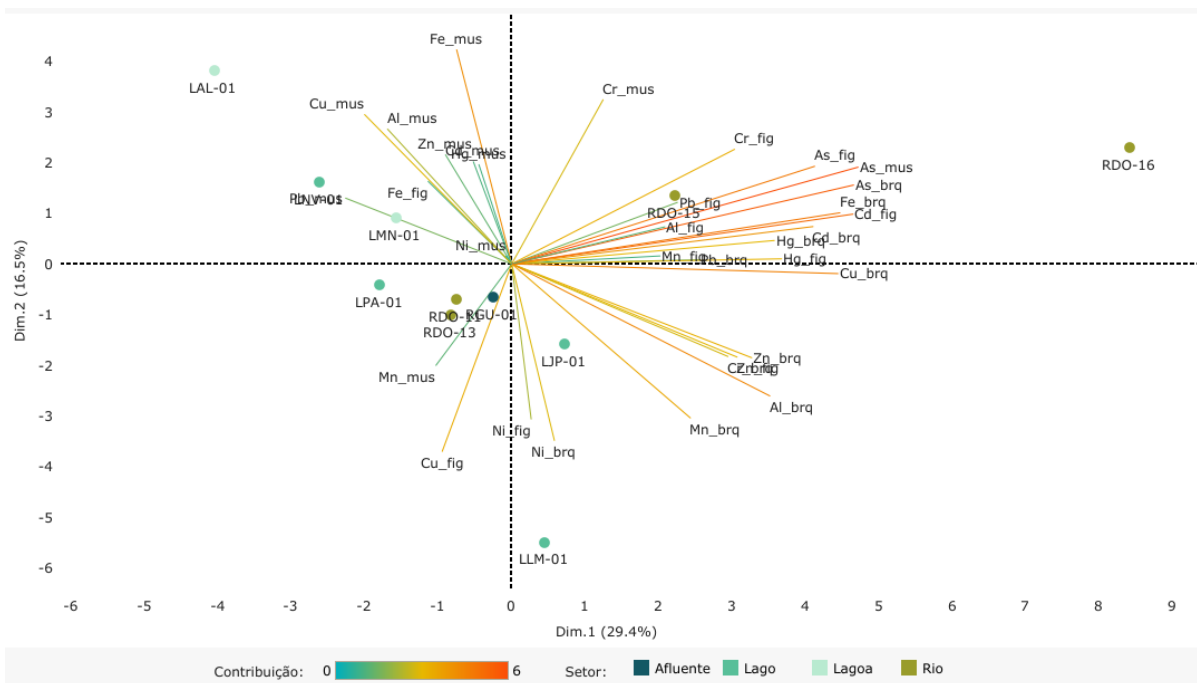
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Afluente (RGU-01)	Camarões	0,0192	0,0324	1,1598	2,2677	5,0574	1,4213	0,0602
		Rio Doce		0,3141	0,0396	0,3548	2,2770	3,2271	2,5185	0,0764
		Lagos		0,0475	0,1828	0,1134	0,2741	4,7008	2,4130	0,0904
		Lagoas		0,2738	0,2132	0,1774	14,4481	24,2823	2,2055	0,0272
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Afluente (RGU-01)	Camarões	0,1686	0,0239	0,0466	0,2795	128,1383	74,6369	0,1264
		Rio Doce		0,0888	0,1030	0,3510	3,3497	9,8579	3,7124	0,0662
		Lagos		0,1923	0,0494	0,2020	1,3781	44,7589	10,4155	0,1573
		Lagoas		0,1523	0,1644	0,0612	0,4817	15,7895	2,1400	0,0553
	Campanha 6 (jan/fev 2021)	Afluente (RGU-01)	Camarões	0,1351	0,0802	0,0419	0,5005	0,5982	0,1948	0,1240
		Rio Doce		0,2504	0,2335	0,3092	0,7161	0,7425	0,3873	0,3450
		Lagos		0,0875	0,0224	0,1554	1,9369	2,2600	0,8464	0,0145
		Lagoas		0,1991	0,1896	0,3727	0,8725	1,8505	0,5439	0,3101
	Campanha 7 (mar 2022)	Afluente (RGU-01)	Camarões	0,0788	0,1224	0,1121	6,2620	9,1294	0,6623	0,1605
		Rio Doce		0,4903	0,6821	0,5982	94,9291	30,8546	12,6090	0,1225
		Lagos		0,6722	0,1493	1,5507	54,3798	50,5994	12,7923	0,3070
		Lagoas		0,7213	0,1724	0,4287	55,2438	75,2772	18,3853	1,2169
	Campanha 8 (set/out 2022)	Afluente (RGU-01)	Camarões	0,0450	0,0243	0,1296	1,9583	3,7867	0,2342	0,0243
		Rio Doce		0,7267	0,2243	0,4936	142,0471	240,3798	16,7859	0,0885
		Lagos		0,4148	0,0574	0,2138	53,4625	113,4153	21,0732	0,1173
		Lagoas		0,9219	0,1244	0,7979	81,1242	153,8429	21,2444	0,6737
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Afluente (RMH-01)	Camarões	0,0316	0,0242	0,2278	3,8200	17,7500	0,5505	0,0242
		Rio Doce		0,2184	0,4269	0,2518	84,1561	95,1592	8,7373	0,0849
		Lagos		0,4063	0,0756	0,3629	55,4281	254,2124	10,2034	0,4869
		Lagoas		0,3978	0,0734	0,2812	50,6924	222,5509	11,1548	0,1295
		Reservatório		0,1081	0,1420	0,2625	50,9502	139,6465	2,2778	0,0281

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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



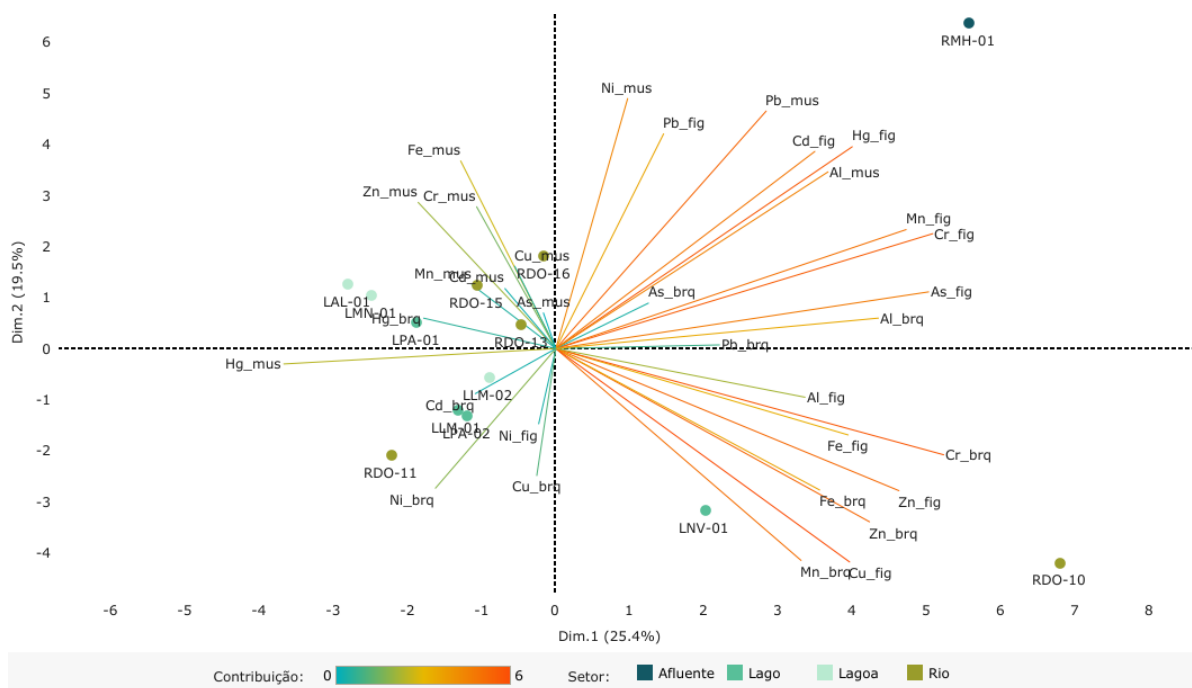
Na Figura 17, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 30,9% e por 15,2%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes onívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 46,1% da variabilidade total dos dados. Os metais que mais contribuem para a formação da PCA estão relacionados com a bioacumulação nas brânquias e músculo. Estes metais demonstram estarem relacionados com todos os Setores do Ambiente Dulcícola. Os metais bioacumulados no fígado dos peixes onívoros, de maior relevância para a PCA, estão agrupados nos quadrantes inferiores e aparentam estar mais associados aos Setores Lagoa e Lago, com exceção do Cd e As que estão mais relacionados ao Setor Rio.

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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



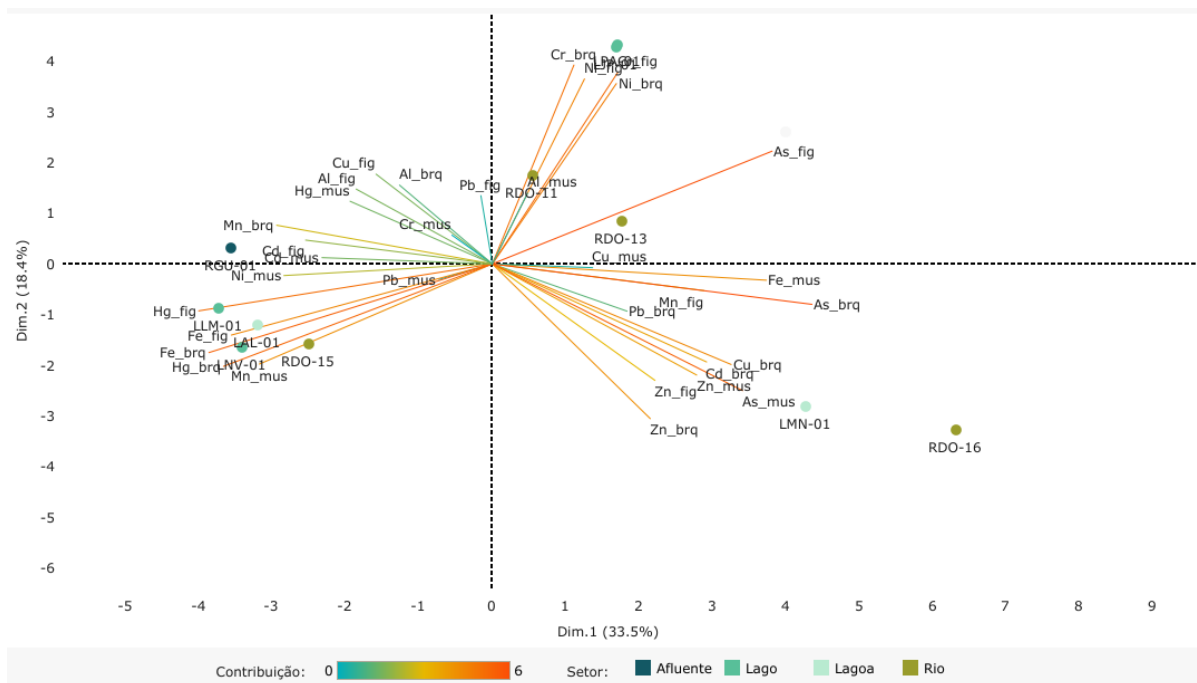
Na Figura 18, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 29,4% e por 16,5%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes onívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 45,9% da variabilidade total dos dados. Observa-se que os metais mais importantes para a PCA estão concentrados nos quadrantes à direita e bioacumulados majoritariamente no fígado e nas brânquias dos peixes. Ainda, estes metais associam-se com o Setor Rio e o Setor Lago. Em contrapartida, os metais bioacumulados no músculo não contribuem tanto para a PCA, porém os mesmos estão agrupados nos quadrantes esquerdo e relacionam-se com os Setores Lagoa e Lago.

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: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



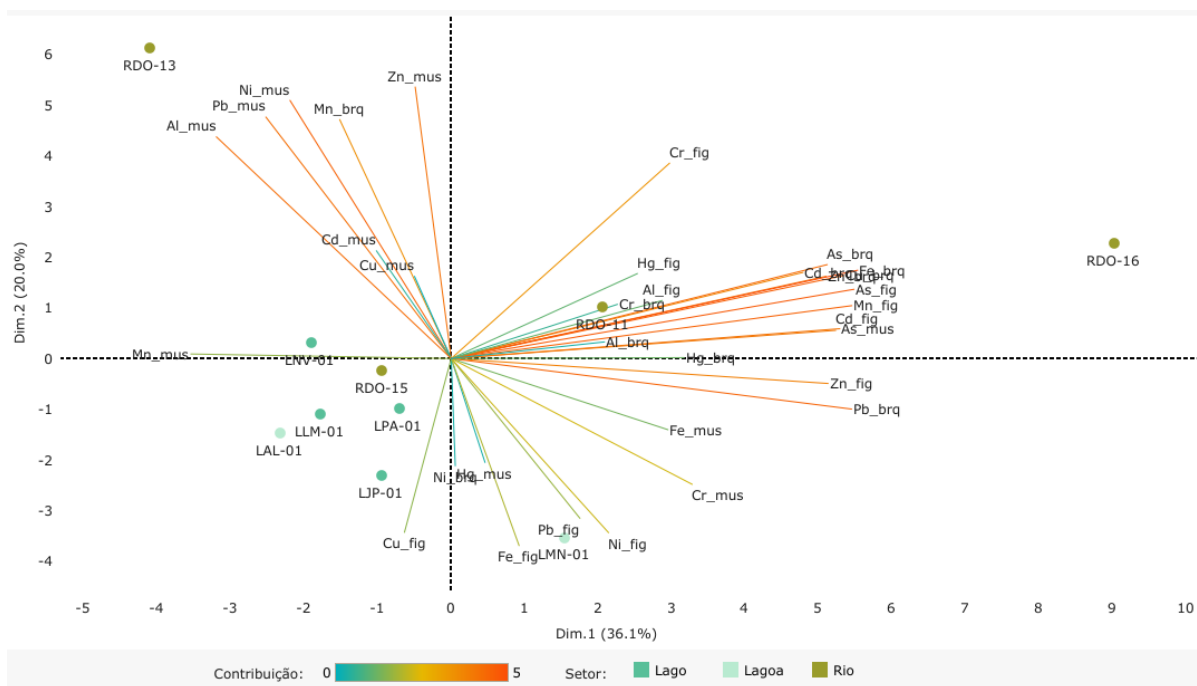
Na Figura 19, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 25,4% e por 19,5%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes onívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 44,9% da variabilidade total dos dados. Nota-se que os metais mais representativos da PCA estão agrupados nos quadrantes à direita. No quadrante superior à direita os metais estão mais presentes no fígado e no músculo dos peixes e estes estão associados ao Setor Afluente (RMH-01). No quadrante inferior à direita estão agrupados os metais bioacumulados no fígado e nas brânquias dos animais, os quais estão associados aos Setores Rio e Lago. Vale ressaltar que os metais acumulados no tecido fígado são os que mais contribuem para a PCA, por outro lado os metais bioacumulados no músculo (agrupados majoritariamente nos quadrantes à esquerda) são os que menos contribuem para esta análise.

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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



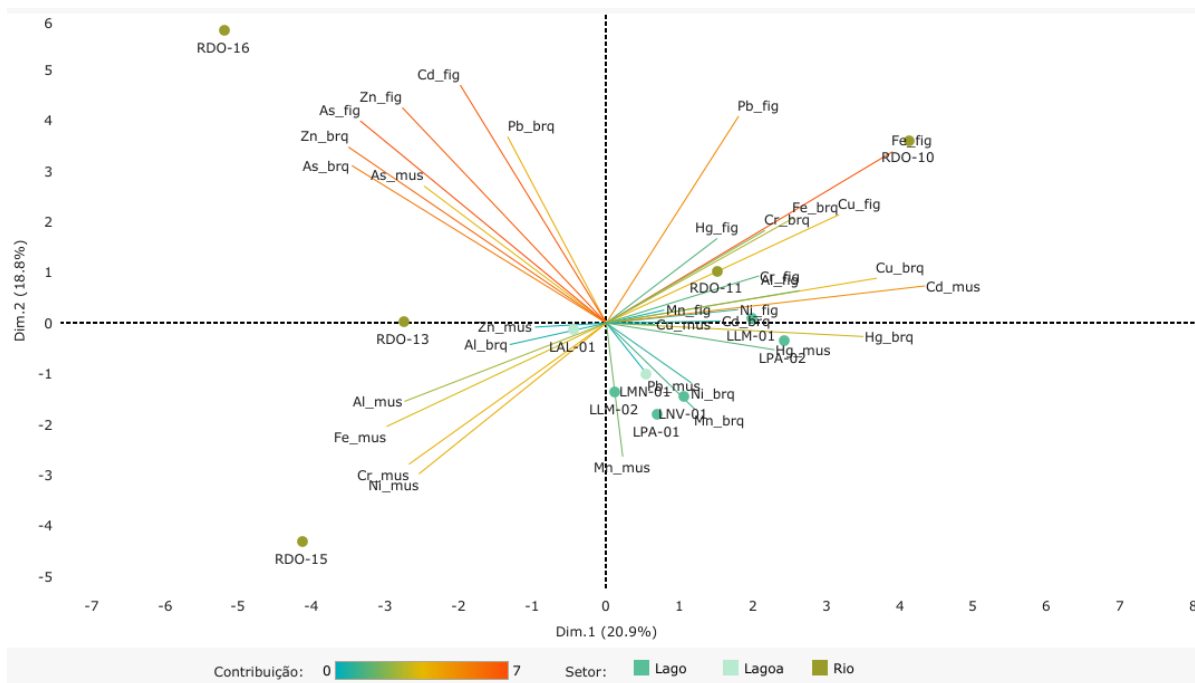
Na Figura 20, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 33,5% e por 18,4%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes carnívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 51,9% da variabilidade total dos dados. Observa-se, que os metais que mais contribuem para a PCA concentram-se, principalmente, em três quadrantes, nos quadrantes superior e inferior à direita e no quadrante inferior à esquerda. Além disso, os metais com maior contribuição para a PCA bioacumularam majoritariamente nas brânquias e no fígado e apresentam uma forte associação aos Setores Rio, Lago e Lagoa. Em relação aos metais bioacumulados no músculo, o Mn, o Zn, o Fe e o As são os que apresentam uma contribuição relevante a análise e também estão associados aos Setores Rio, Lago e Lagoa. O Setor Afluente denota uma associação com os metais Mn nas brânquias, Cd no fígado e no músculo e Ni 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: Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 21, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 36,1% e por 20,0%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes carnívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 56,1% da variabilidade total dos dados. Nota-se que os metais que apresentaram uma contribuição forte para a PCA, estão agrupados, em sua maioria, nos dois quadrantes superiores. Estes metais apresentam uma forte associação ao Setor Rio, sendo que no quadrante à esquerda grupam-se os metais biocumulados no músculo (RDO-13) e no quadrante à direita agrupam-se os metais bioacumulados tanto nas brânquias e quanto no fígado (RDO-11 e RDO-16). A estação LMN-01 (Setor Lagoa) demonstra uma relação com os metais Fe, Pb e Ni bioacumulados no fígado.

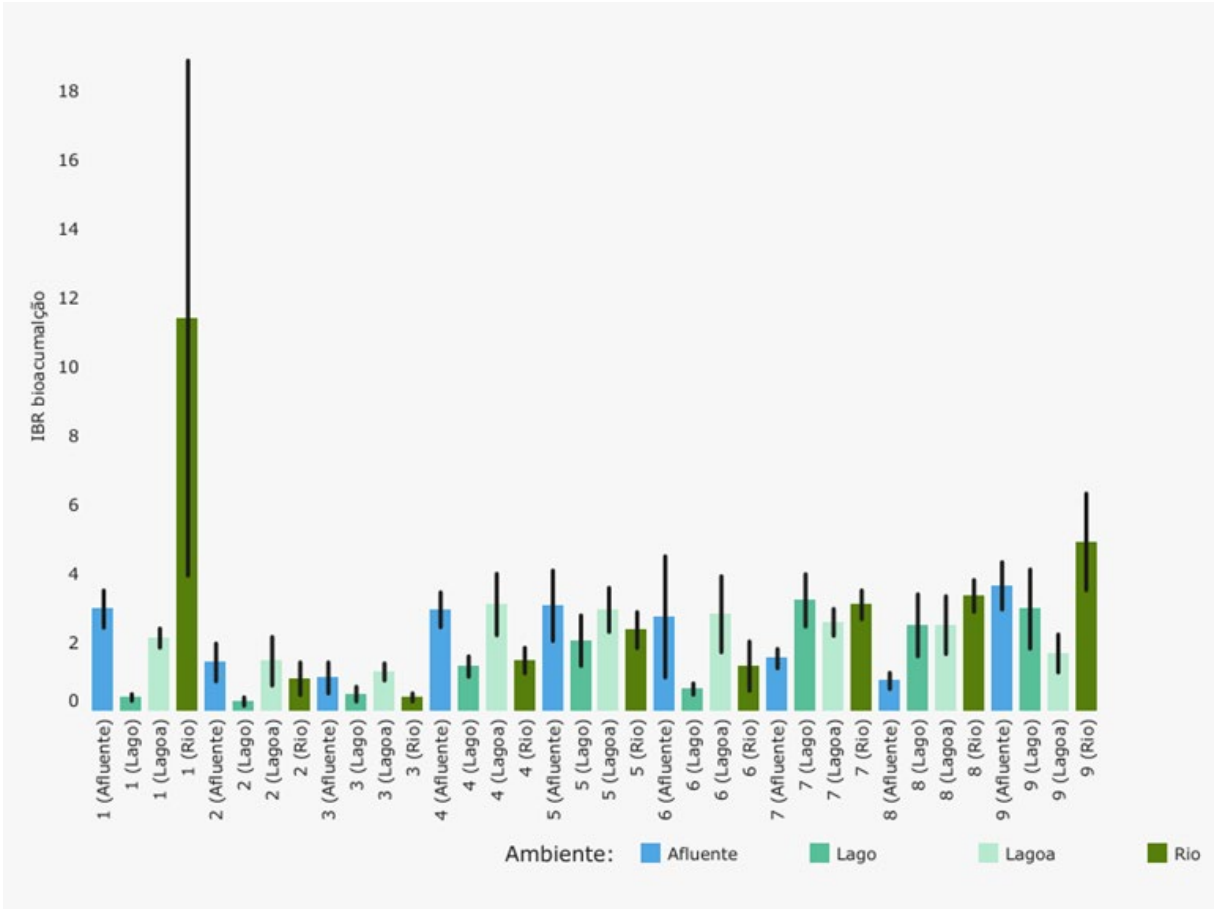
Figura 22: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de brânquias (_brq), de fígado (_fig) 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: Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 22, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 20,9% e por 18,8%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos peixes carnívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 39,7% da variabilidade total dos dados. Os metais que mais contribuem para a PCA estão agrupados principalmente nos dois quadrantes superiores e apresentam uma forte associação com o Setor Rio. O fígado demonstra ser o principal tecido de bioacumulação dos metais, seguido pelas brânquias. Nesta Campanha, também há uma contribuição relevante para a análises dos metais Cd, Al, Fe, Cr, Ni e As nos músculos dos peixes, os quais também estão bastante relacionados ao Setor Rio. Já os Setores Lago e Lagoa, tem suas estações agrupadas no quadrante inferior à direita, associando-se com os metais que apresentam uma pequena contribuição para a PCA (Mn, Pb, Hg e Cu no músculo; e Mn, Ni e Hg nas brânquias).

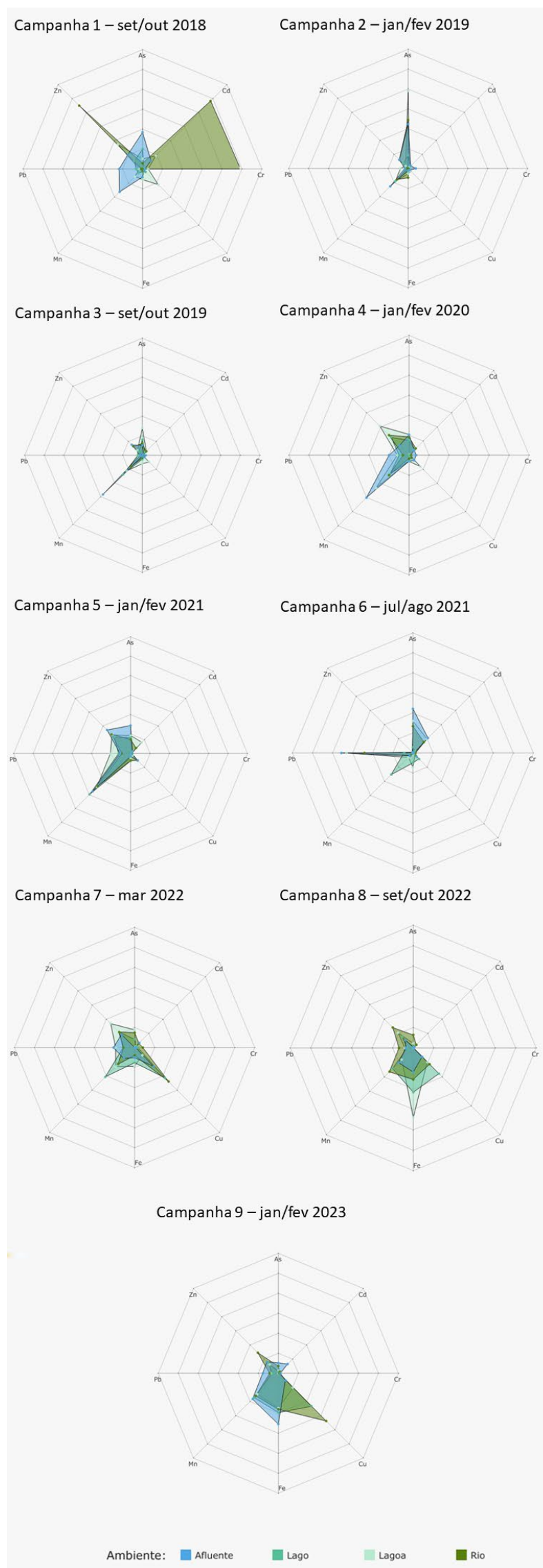
Figura 23: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, fígado e músculo) de peixes (onívoros e carnívoros) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



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 Dulcícola, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR bioacumulação para os peixes do Ambiente Dulcícola, na Figura 23, nota-se que há uma diminuição dos valores do índice para todos os Setores na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso). A partir da Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso) há um aumento sutil dos resultados do IBR bioacumulação nos setores Afluente, Lago e Lagoa, que apresentaram uma tendência a se estabilizarem ao longo do monitoramento. Porém, excetuando-se a primeira amostragem, o IBR bioacumulação no setor Rio apresentou aumentou gradualmente ao longo do período monitorado.

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); e Zinco (Zn). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



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 Dulcícola e a contribuição destes para a composição do índice.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), os maiores valores do índice estão encontrados nos Setores Lago, Lagoa e Rio. Para o Setor Lago, os metais Zn, Mn e Cu são os mais representativos para o índice. Em relação ao Setor Lagoa, os metais que mais contribuem para a análise são o Zn, As, Mn, Fe e Pb. O Setor Rio apresenta os metais Cu, Zn, Mn e As como os mais relevantes para o índice. E por fim, os metais que mais contribuem para o IBR bioacumulação no Setor Afluente são o Zn, o Pb, o Mn e o Cu.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os maiores valores do IBR bioacumulação seguem concentrados nos Setores Lago, Lagoa e Rio. O Setor Rio, Lago e Lagoa apresentam os maiores valores dos metais Zn, Mn, Fe e Cu. Em relação aos outros Setores, o Setor Afluente é o com o menor valor do IBR bioacumulação, entretanto, os metais que mais contribuem para a formação do seu índice são os mesmos, isto é, Zn, Mn, Fe e Cu.

Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) os Setor Rio em conjunto com o Setor Afluente e Lago são os que mais contribuem para o valor do IBR bioacumulação. No Setor Rio estão presentes como metais com maior relevância o Zn, Mn, Fe e Cu. No Setor Afluente os valores mais proeminentes encontram-se nos metais Zn, Pb, Mn, Fe e Cd. Em relação ao Setor Lago os metais que mais contribuem para o resultado são o Mn, Fe e Cu. Já o Setor Lago tem os maiores valores nos metais Mn e Fe.

Tabela 3: Dados PMBA/Fest/ (Ecotoxicologia) da concentração média de metais (mg.Kg⁻¹) no músculo de peixes (onívoros e carnívoros) coletados nos diferentes setores do ambiente dulcícola (Afluente, Lago, Lagoa e Rio) durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (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 em diferentes pontos da calha do Rio Doce no estado do Espírito Santo (ES), antes da chegada dos rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão (ACQUA, 2016). Concentrações dos metais abaixo dos dados pretéritos estão destacadas em verde, enquanto concentrações acima dos valores pretéritos estão destacadas em vermelho. "NA" significa que não há informação sobre a concentração do metal. A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)]. Fonte: ACQUA (2016). Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana, MG. Trecho do Rio Doce. ACQUA Consultoria e Recuperação de Ambientes Aquáticos Ltda. Belo Horizonte – MG.

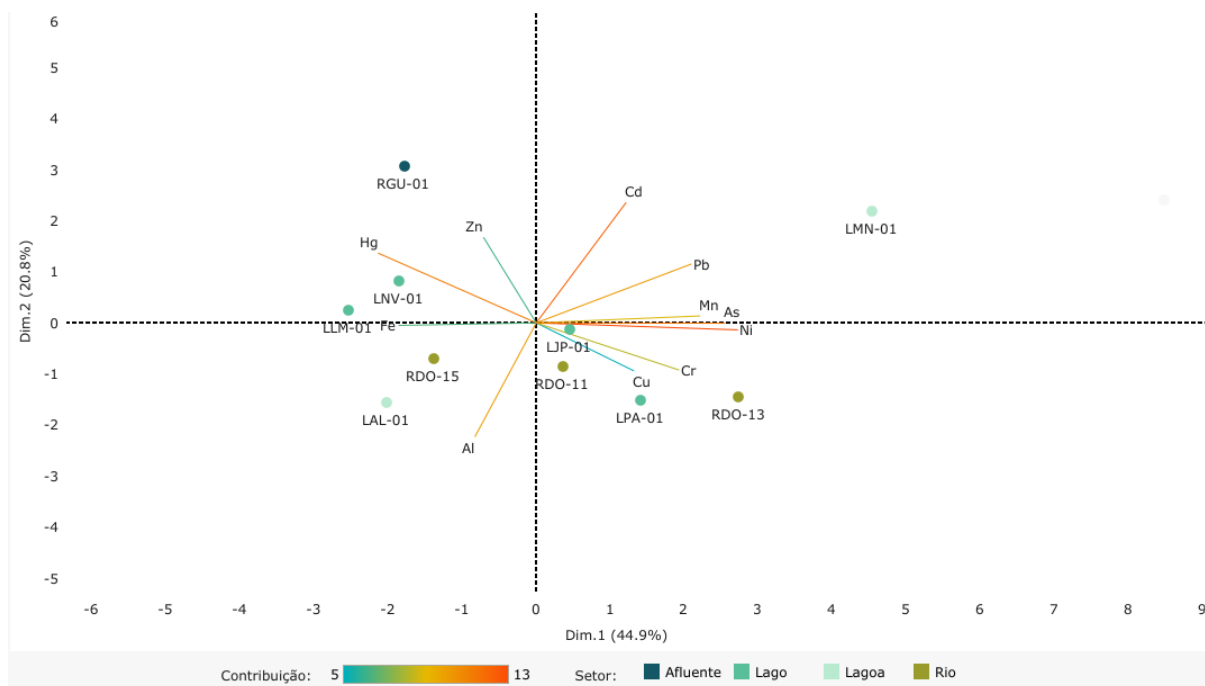
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
Dados pretéritos à passagem da pluma (ACQUA, 2016)	(nov 2015)	Rio Doce (UHE Mascarenhas; jusante da UHE Mascarenhas; Colatina; Marilândia e Regência)	<i>Centropomus undecimalis</i> ; <i>Cichla monoculus</i> ; <i>Genidens genidens</i> ; <i>Geophagus brasiliensis</i> ; <i>Hypomasticus mormyrops</i> ; <i>Mugil sp.</i> ; <i>Pimelodus maculatus</i> ; <i>Polydactylus sp.</i> ; <i>Pochiclodus argenteus</i> ; <i>Pygocentrus nattereri</i> ; <i>Serrasalmus rhombeus</i>	0,703	0,020	0,111	0,200	9,300	0,460	0,020
Dados PMBA/Fest/ (Ecotoxicologia)	Campanha 1 (set/out 2018)	Afluente (RGU-01) Rio Doce Lagos	Peixes onívoros	0,261 0,062 0,066	0,106 0,104 0,047	0,902 17,698 0,048	0,683 0,179 0,212	49,030 7,252 4,382	1,615 0,144 0,406	0,068 0,019 0,047

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Lagoas		0,049	0,215	0,957	2,078	40,878	0,192	0,039
		Afluente (RGU-01)		0,390	0,041	0,300	1,814	10,769	2,452	0,012
		Rio Doce		0,360	0,039	0,033	1,226	37,882	2,761	0,052
		Lagos		0,118	0,065	0,249	0,741	17,170	1,183	0,019
	Campanha 3 (set/out 2019)	Lagoas		0,569	0,031	0,077	2,582	42,234	4,377	0,044
		Afluente (RGU-01)		0,086	0,048	0,627	1,095	10,169	3,841	0,025
		Rio Doce		0,228	0,111	0,209	0,972	31,412	2,861	0,010
		Lagos		0,155	0,059	0,025	0,131	16,251	2,653	0,033
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Lagoas		1,041	0,111	0,511	1,941	80,821	3,725	0,144
		Afluente (RGU-01)		0,173	0,106	0,100	1,956	48,416	10,396	0,070
		Rio Doce		0,159	0,157	0,605	5,197	33,697	6,205	0,056
		Lagos		0,209	0,189	0,254	0,468	47,769	3,138	0,091
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Lagoas		0,405	0,071	0,704	14,286	59,408	3,258	0,174
		Afluente (RGU-01)		0,201	0,097	0,580	4,272	5,464	3,636	0,054
		Rio Doce		0,120	0,128	0,211	1,442	29,729	4,456	0,041
		Lagos		0,196	0,088	0,254	1,833	30,677	4,307	0,071
	Campanha 6 (jan/fev 2021)	Lagoas		0,156	0,149	0,102	1,378	33,823	3,489	0,123
		Afluente (RGU-01)		0,268	0,251	0,527	0,497	2,484	0,588	0,371
		Rio Doce		0,332	0,207	0,145	0,139	2,025	0,454	0,328
		Lagos		0,064	0,044	0,251	0,330	10,632	0,881	0,034
	Campanha 7 (mar 2022)	Lagoas		0,243	0,238	0,519	0,576	11,490	0,630	0,374
		Afluente (RGU-01)		0,019	0,111	0,131	0,295	6,115	0,179	0,183
		Rio Doce		0,178	0,192	2,576	31,137	98,605	4,029	0,155
		Lagos		0,161	0,070	0,528	50,307	114,860	5,405	0,122
		Lagoas		0,208	0,053	0,349	48,221	72,289	6,582	0,120

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
	Campanha 8 (set/out 2022)	Afluente (RGU-01)		0,025	0,025	0,118	0,128	3,774	0,210	0,031
		Rio Doce		0,182	0,126	0,182	10,508	276,863	4,845	0,168
		Lagos		0,036	0,054	0,136	36,629	419,000	4,476	0,050
		Lagoas		0,037	0,068	0,148	43,776	398,119	5,182	0,073
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Afluente (RMH-01)		0,025	0,025	0,216	0,431	16,600	0,545	0,080
		Rio Doce		0,082	0,069	0,172	26,778	203,049	4,216	0,072
		Lagos		0,048	0,061	0,167	38,340	305,018	4,992	0,082
		Lagoas		0,048	0,041	0,177	29,153	255,996	5,261	0,073
		Reservatório		0,027	0,024	0,115	36,256	129,064	1,922	0,041
	Campanha 1 (set/out 2018)	Afluente (RGU-01)	Peixes carnívoros	0,023	0,004	0,079	1,814	7,741	0,060	0,005
		Rio Doce		0,031	0,047	0,020	0,076	7,002	0,295	0,022
		Lagos		0,114	0,032	0,039	0,296	9,568	0,303	0,037
		Lagoas		0,063	0,036	0,038	0,622	14,241	0,244	0,050
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Afluente (RGU-01)		0,217	0,029	2,171	2,110	7,688	1,656	0,007
		Rio Doce		0,643	0,018	0,021	0,706	60,806	2,820	0,022
		Lagos		0,251	0,064	0,085	0,447	20,211	0,860	0,009
		Lagoas		0,641	0,035	0,056	1,879	44,810	4,207	0,023
	Campanha 3 (set/out 2019)	Afluente (RGU-01)		0,019	0,023	0,081	0,843	10,533	1,600	0,072
		Rio Doce		0,109	0,065	0,230	1,362	23,920	2,120	0,015
		Lagos		0,103	0,096	0,025	0,548	55,797	7,557	0,033
		Lagoas		0,097	0,074	0,029	0,518	55,646	6,426	0,046
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Afluente (RGU-01)		0,046	0,060	1,257	2,644	21,728	3,343	0,264
		Rio Doce		0,197	0,116	0,239	2,581	3,455	1,610	0,058
		Lagos		0,131	0,196	0,095	1,615	4,929	1,627	0,103
		Lagoas		0,759	0,028	0,896	4,410	4,088	1,962	0,036

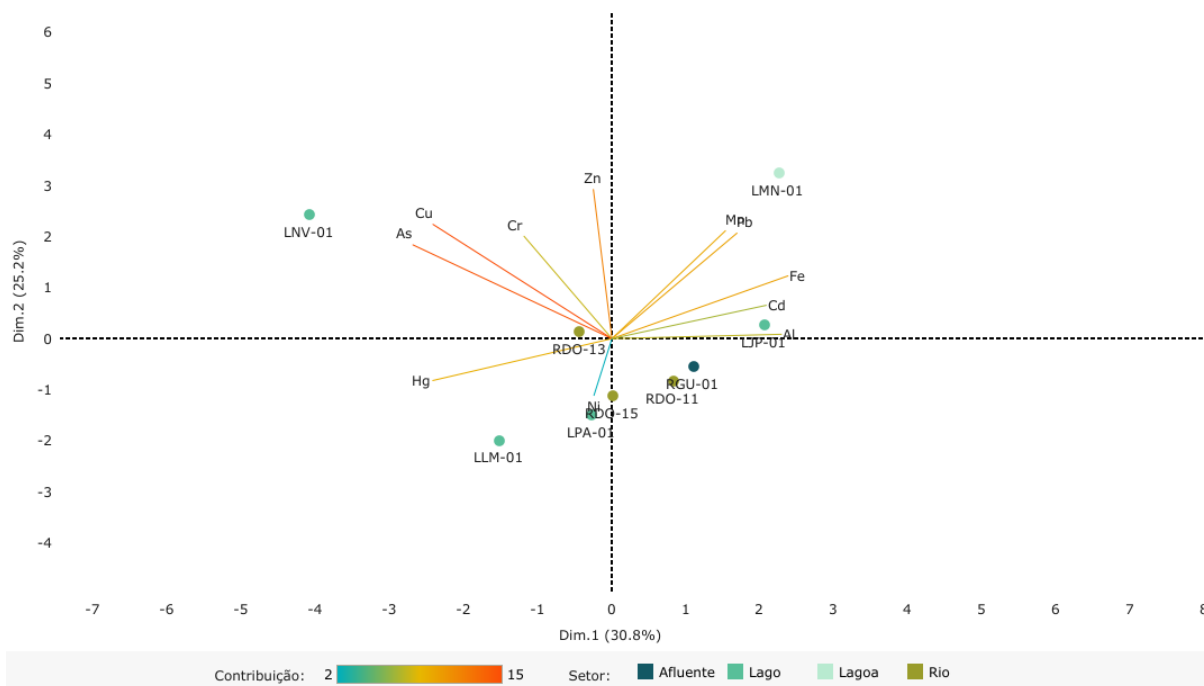
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Afluente (RGU-01)		0,325	0,025	0,138	5,062	54,442	2,585	0,045
		Rio Doce		0,326	0,183	0,571	14,775	88,531	7,116	0,127
		Lagos		0,096	0,024	0,147	0,641	66,868	6,689	0,055
		Lagoas		0,137	0,116	0,136	1,876	11,998	7,878	0,036
	Campanha 6 (jan/fev 2021)	Afluente (RGU-01)		0,123	0,099	0,392	0,073	1,045	0,473	0,133
		Rio Doce		0,440	0,362	0,488	0,729	2,808	0,660	0,538
		Lagos		0,058	0,038	0,219	0,268	7,527	0,650	0,030
		Lagoas		0,259	0,257	0,451	0,584	5,189	0,797	0,397
	Campanha 7 (mar 2022)	Afluente (RGU-01)		0,029	0,130	0,159	0,388	5,129	0,511	0,075
		Rio Doce		0,172	0,088	0,352	12,267	38,718	3,361	0,073
		Lagos		0,145	0,056	0,529	8,401	129,731	7,030	0,153
		Lagoas		0,179	0,057	0,704	7,919	104,087	7,327	0,196
	Campanha 8 (set/out 2022)	Afluente (RGU-01)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Rio Doce		0,184	0,065	0,147	4,702	199,820	7,775	0,065
		Lagos		0,047	0,043	0,118	7,624	463,073	4,579	0,089
		Lagoas		0,055	0,041	0,132	11,448	497,344	4,208	0,116
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Afluente (RMH-01)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Rio Doce		0,085	0,054	0,338	4,538	222,524	3,921	0,094
		Lagos		0,021	0,024	0,134	8,647	261,618	4,503	0,059
		Lagoas		0,032	0,023	0,151	5,992	296,625	5,582	0,080
		Reservatório		0,023	0,025	0,134	7,704	141,888	1,988	0,037

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 larvas de quironomídeos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce em Linhares (RDO-15)].



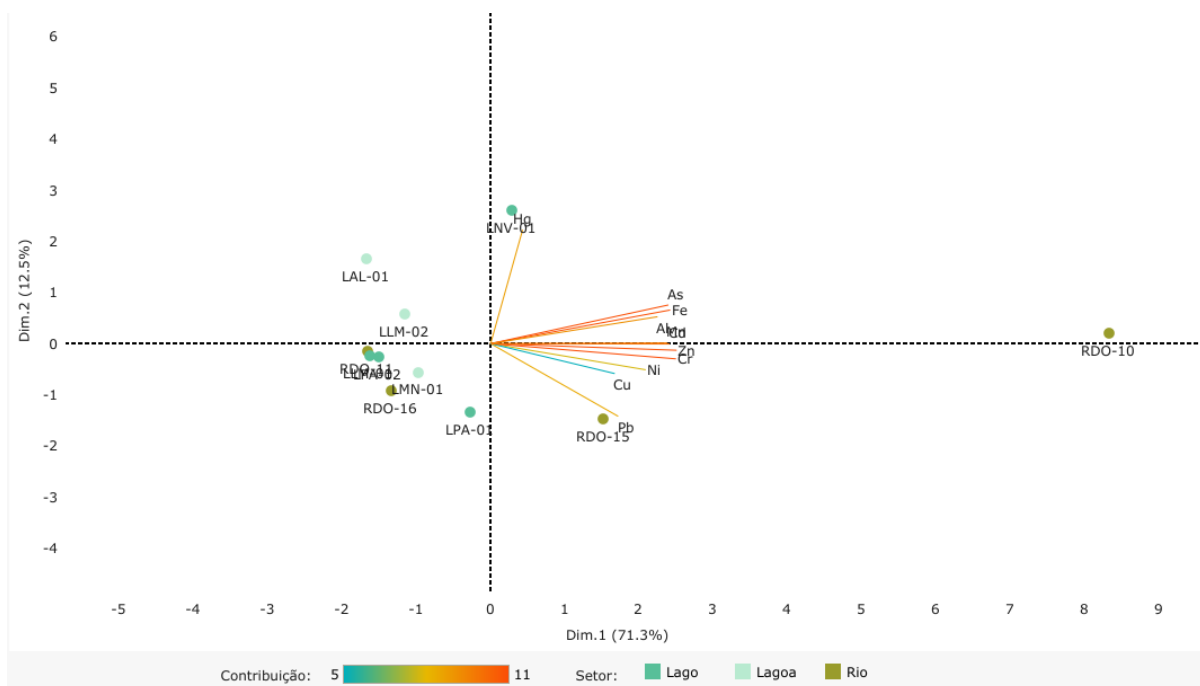
Na Figura 25, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 44,9% e por 20,8%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nas larvas de quironomídeos do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 65,7% da variabilidade total dos dados. Observa-se que o Setor Lagoa demonstra estar associado aos metais que mais contribuem para a PCA, sendo eles os metais Cd, Pb, Mn, As, Ni (LMN-01) e Al (LAL-01). O Setor Rio apresenta uma relação com os metais Cr, Cu (RDO-13), Fe e Al (RDO-15). Já o Setor Lago associa-se com os metais Hg, Fe (LLM-01, LNV-01), Cu e Cr (LPA-01). Por fim, o Setor Afluente (RGU-01) correlaciona-se aos metais Hg e Zn (RGU-01).

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 larvas de quironomídeos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce em Linhares (RDO-15)].



Na Figura 26, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 30,8% e por 25,2%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nas larvas de quironomídeos do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 56,0% da variabilidade total dos dados. Grande parte dos metais analisados e que apresentam uma forte contribuição para a PCA estão concentrados nos quadrantes superiores (esquerda e direita). O Setor Lago se destaca por associar-se a maior parte dos metais analisados, isto é, As, Cu, Cr (LNV-01), Fe, Cd, Al (LJP-01), Hg (LLM-01) e Ni (LLM-01 e LPA-01). A estação LMN-01 do Setor Lagoa está relacionada com a presença dos metais Mn e Pb.

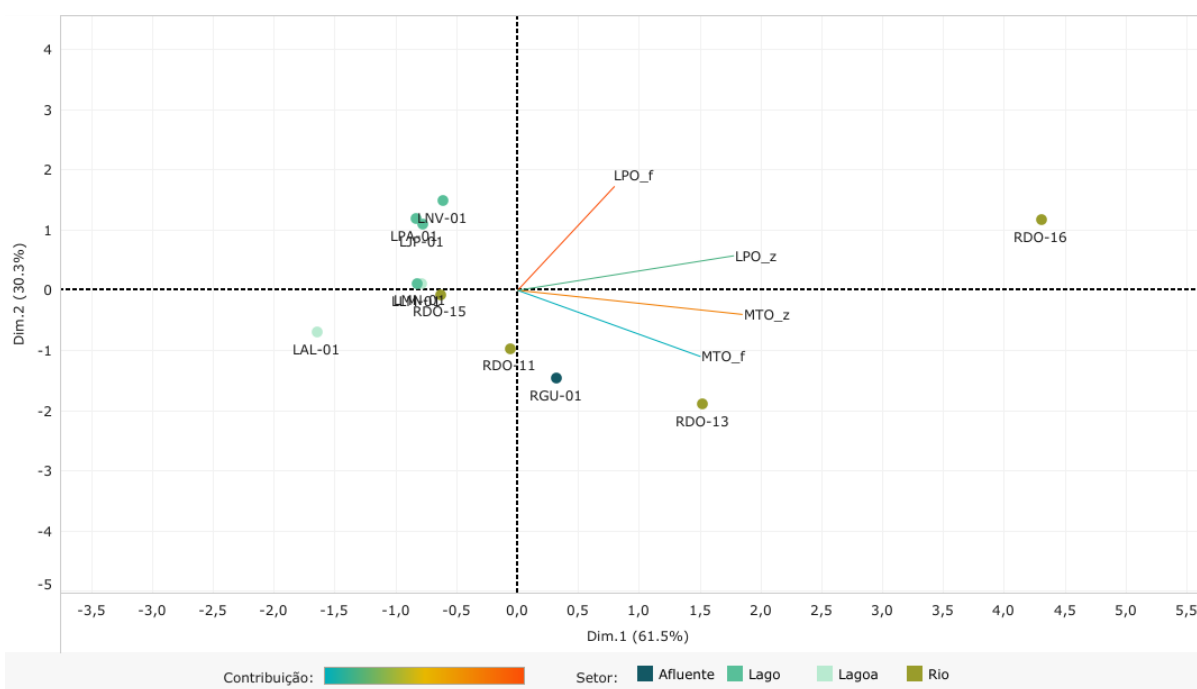
Figura 27: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de larvas de quironomídeos coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 27, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 71,3% e por 12,5%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nas larvas de quironomídeos do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 83,8% da variabilidade total dos dados. Observa-se que todos os metais analisados na Campanha 9 estão agrupados nos quadrantes à direita (superior e inferior). Estes metais demonstram uma grande contribuição para a PCA (com exceção do Cu) e também estão associados com o Setor Rio (RDO-10 e RDO-15), salvo o metal Hg que está relacionado a estação LNV-01 (Setor Lago)

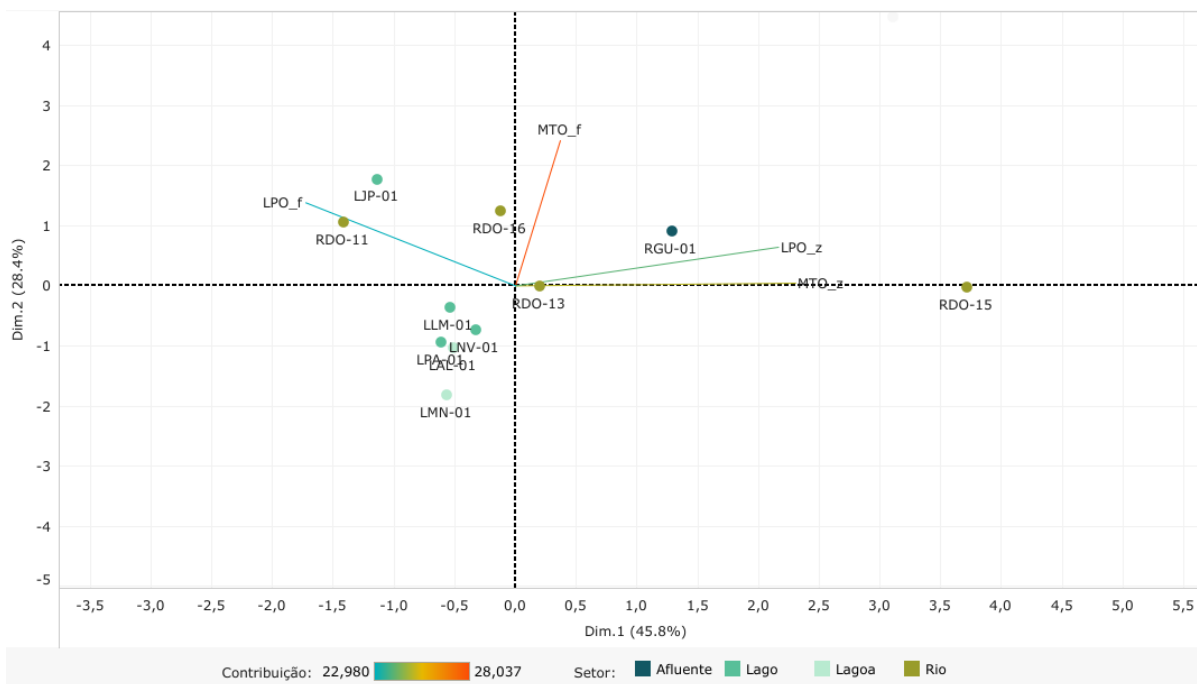
2.3 ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA (IBR BIOMARCADOR)

Figura 28: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de plâncton [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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



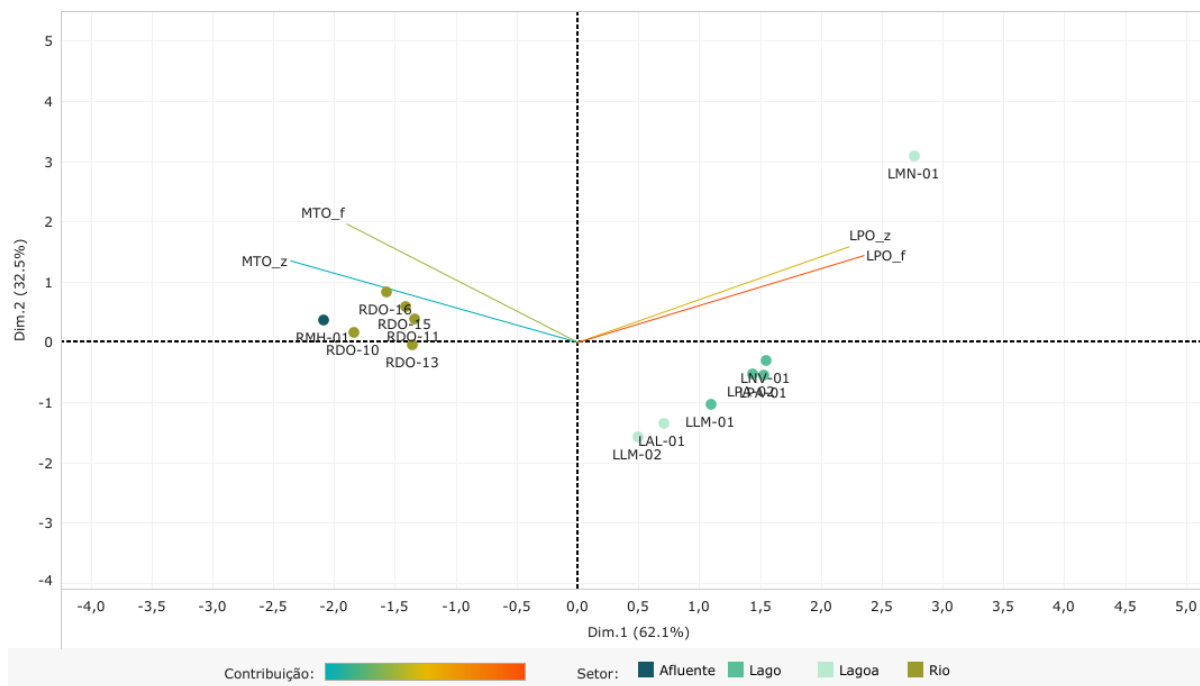
Na Figura 28, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 61,5% e por 30,3%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 91,8% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 28 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 Dulcícola. Todos os biomarcadores analisados estão posicionados nos quadrantes à direita (inferior e superior). Os biomarcadores que mais contribuíram para a PCA foram o LPO no fitoplâncton e o MTO no zooplâncton. Todos os biomarcadores analisados demonstram estar associados ao Setor Rio (RDO-13 e RDO16).

Figura 29: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de plâncton [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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



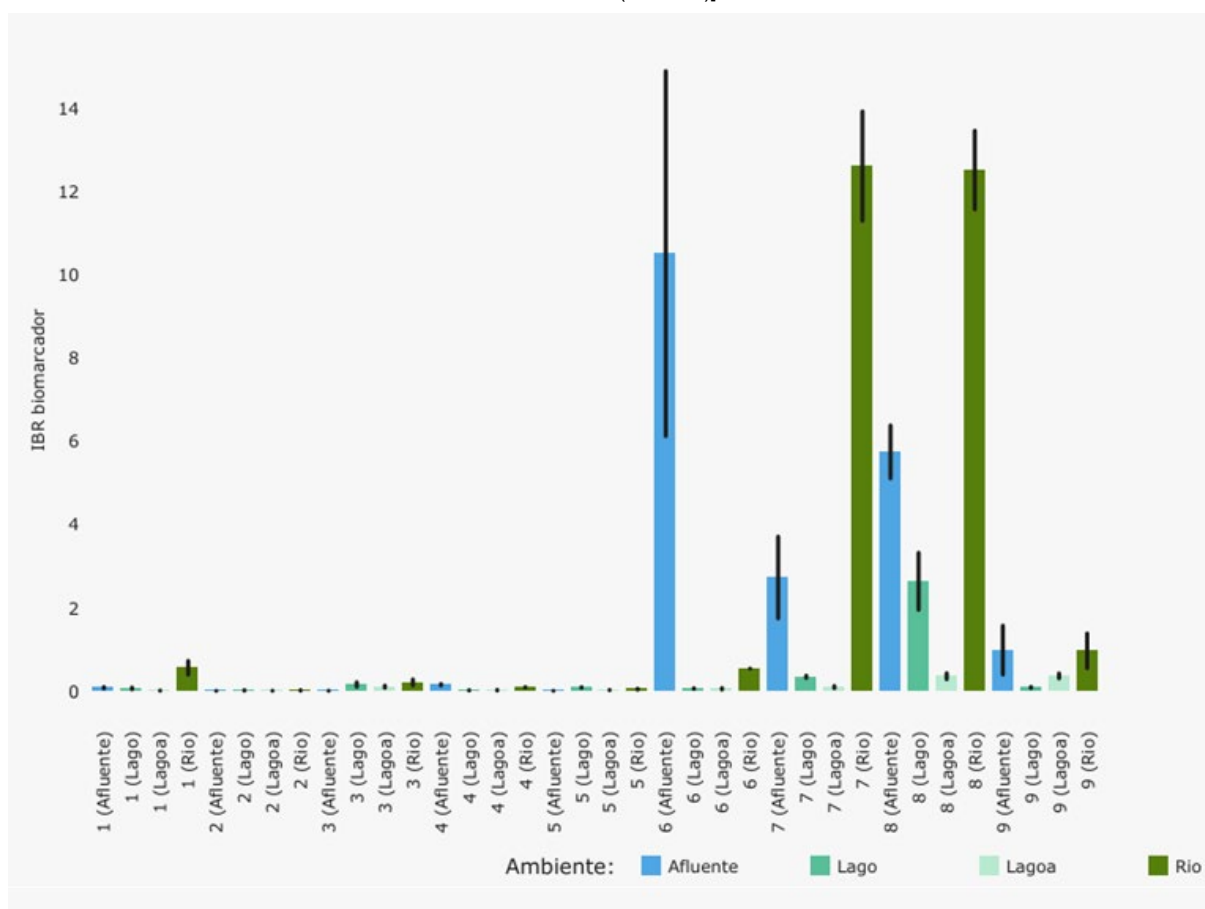
Na Figura 29, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 45,8% e por 28,4%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 74,2% da variabilidade total dos dados. Observa-se que todos os biomarcadores analisados estão agrupados nos quadrantes superiores (esquerdo e direito). O biomarcador MTO no fitoplâncton é o que mais contribui para a PCA e o mesmo está associado a estação RDO-16 do Setor Rio. O biomarcador LPO no fitoplâncton relaciona-se as estações RDO-11 (Setor Rio) e LJP-01 (Setor Lago). Os biomarcadores LPO e MTO no zooplâncton estão associados as estações RGU-01 (Setor Afluente) e RDO-15 (Setor Rio). Vale ressaltar que o Setor Rio apresenta uma correlação com todos os biomarcadores analisados.

Figura 30: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de plâncton [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: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



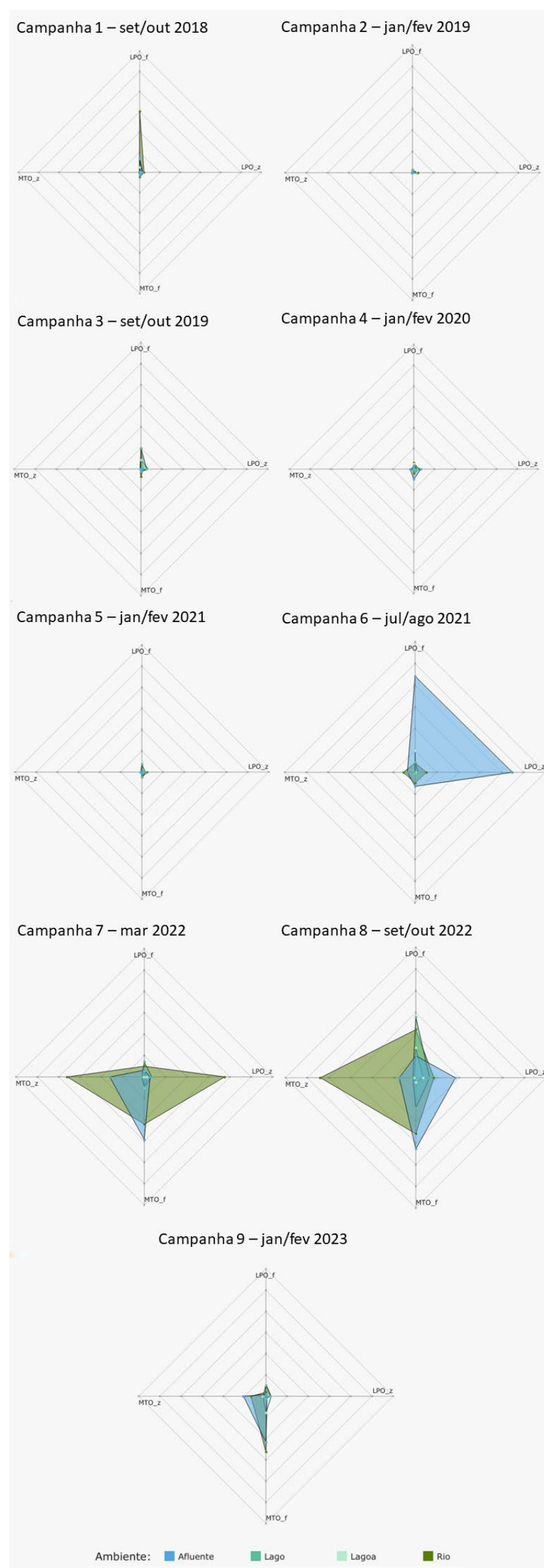
Na Figura 30, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 62,1% e por 32,5%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 94,6% da variabilidade total dos dados. Nota-se dois agrupamentos dos biomarcadores: o primeiro, no quadrante superior à direita, estão os LPO no fitoplâncton e no zooplâncton; e o segundo, no quadrante superior à esquerda, encontram-se, os MTO no fitoplâncton e no zooplâncton. Os biomarcadores LPO são os que mais contribuem para a PCA e estão relacionados a estação LMN-01 (Setor Lagoa). Já os MTO, com uma menor contribuição para a PCA, estão relacionados com o Setor Rio (RDO-10, RDO-11, RDO-13, RDO-15 e RDO-16) e Setor Afluente (RMH-01).

Figura 31: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (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: Afluentes [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



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 Dulcícola, 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 Dulcícola, na Figura 31, nota-se que na Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco) o valor do IBR biomarcador no Setor Afluentes há um aumento significativo em relação as demais campanhas e Setores. Porém na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) o Setor Rio apresenta um pico em seus valores em relação as Campanhas antecedentes e demais Setores. Ainda, o Setor Afluentes apresenta altos valores do índice nessas duas Campanhas e o Setor Lago tem um aumento no valor do IBR biomarcador na Campanha 8. Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) os resultados do IBR biomarcador demonstram uma queda nos Setores Afluentes, Lago e Rio. Destaca-se que o Setor Lagoa manteve valores baixos do índice ao longo do monitoramento, não denotando alterações neste período.

Figura 32: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de plâncton [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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



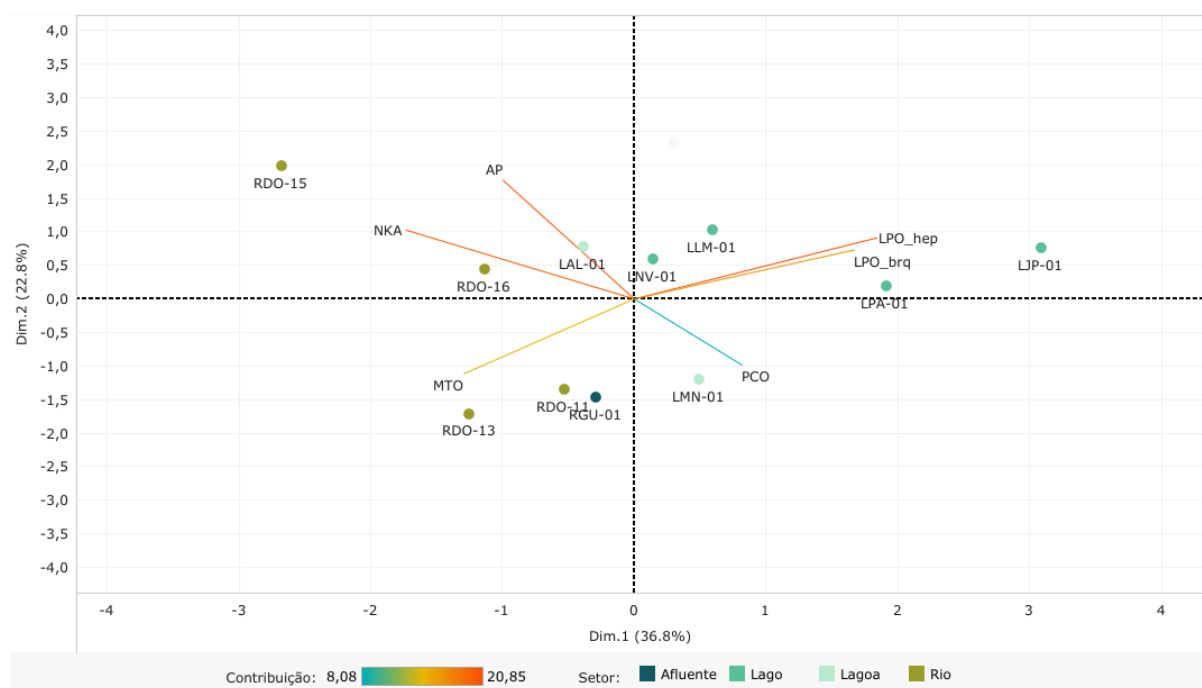
Os gráficos de radar, na Figura 32, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Dulcícola e a contribuição destes para a composição do índice.

Observa-se na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), que os maiores valores do IBR biomarcador estão concentrados nos Setores Rio e Afluente. Em relação ao primeiro Setor, os maiores valores do índice encontram-se nos biomarcadores MTO em zooplâncton e fitoplâncton, como também no LPO em zooplâncton. Já para o segundo Setor, as análises de biomarcador que mais contribuem para o índice são a MTO tanto em zooplâncton como em fitoplâncton.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), no Setor Rio as análises MTO em zooplâncton e em fitoplâncton, além da análise LPO em fitoplâncton são as que mais se destacaram para a formação do IBR biomarcador. No Setor Afluente, os biomarcadores que mais contribuem para a composição do índice são o MTO em fitoplâncton, LPO em fitoplâncton e em zooplâncton. O Setor Lago apresentou o estresse fisiológico concentrado no fitoplâncton, demonstrando os maiores resultados nos biomarcadores LPO em fitoplâncton e MTO em fitoplâncton.

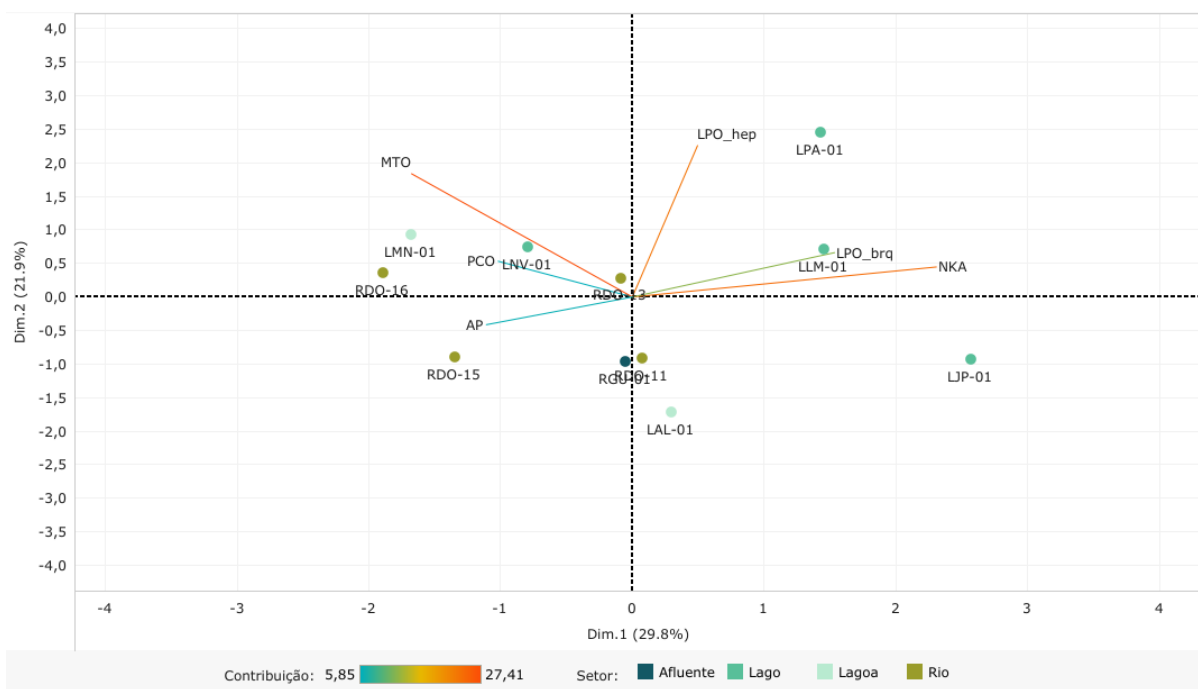
O biomarcador MTO é o que se destaca como mais relevante na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Este biomarcador tanto em fitoplâncton quanto em zooplâncton é o que mais contribui para a composição do índice nos Setores Afluente e Rio. Já no Setor Lagoa, o MTO em fitoplâncton é a análise mais importante.

Figura 33: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de camarão coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). 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); atividade da Na⁺, K⁺-ATPase nas brânquias (NKA); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) na hemolinfa (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



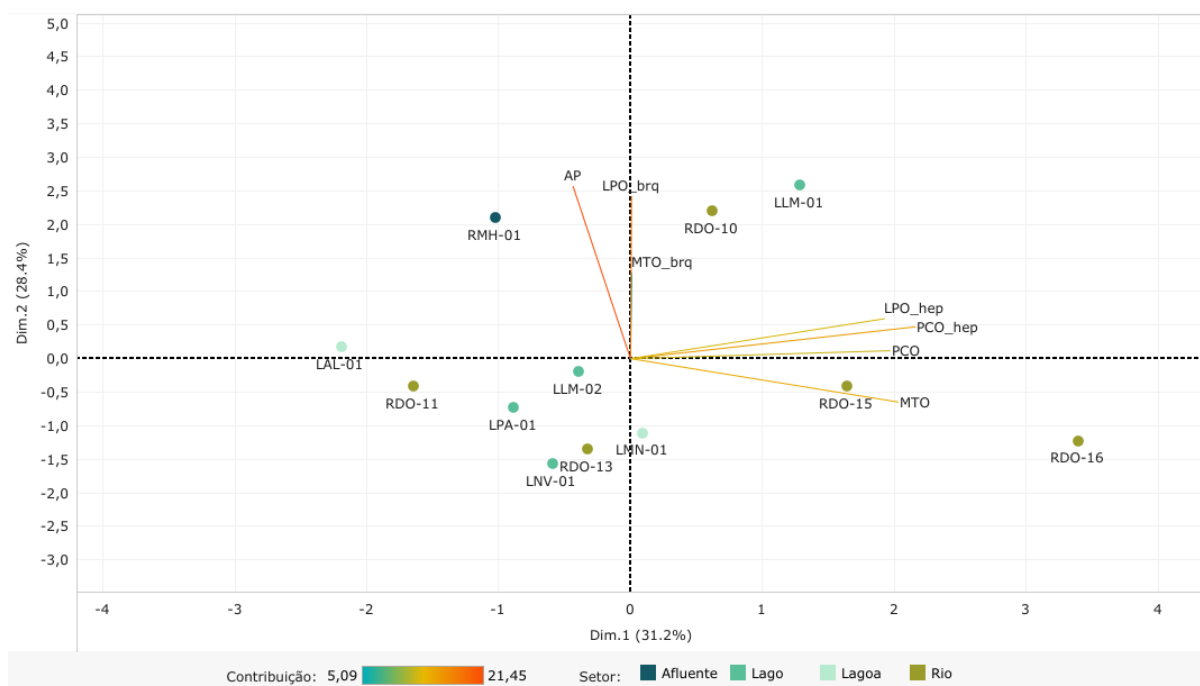
Na Figura 33, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 36,8% e por 22,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 59,6% da variabilidade total dos dados. Verifica-se que a maior parte dos biomarcadores, e os que apresentam a maior contribuição para a PCA, estão posicionados nos quadrantes superiores (direita e esquerda). Os biomarcadores sítios AP, NKA e MTO estão fortemente associados ao Setor Rio (RDO-11, RDO-13 e RDO-15). Além disso, os biomarcadores LPO nas brânquias e no hepatopâncreas dos camarões estão bastante relacionados com o Setor Lago (LJP-01, LNV-01, LLM-01, LAL-01 e LPA-01). Os biomarcadores sítios AP e PCO denotam uma correlação com o Setor Lagoa (LAL-01 e LMN-01). E por fim, o Setor Afluente (RGU-01) associa-se ao biomarcador MTO.

Figura 34: 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); atividade da Na⁺, K⁺-ATPase nas brânquias (NKA); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) na hemolinfa (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 34, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 29,8% e por 21,9%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 51,7% da variabilidade total dos dados. Verifica-se que todos os biomarcadores avaliados se encontram posicionados nos dois quadrantes superiores (direito e esquerdo), exceto os sítios AP que está no quadrante inferior à esquerda. Os biomarcadores que mais contribuem para a PCA são o MTO, LPO no hepatopâncreas e NKA. O Setor Lago apresenta uma forte associação com grande parte dos biomarcadores (LPO no hepatopâncreas, LPO nas brânquias, NKA, MTO e PCO), o mesmo tem todas as suas estações (LPA-01, LLM-01, LJP-01 e LNV-01) relacionada com pelo menos um dos biomarcadores avaliados. O Setor Rio (RDO-15 e RDO-16) está correlacionado com os biomarcadores MTO, PCO e sítios AP. A estação LMN-01 do Setor Lagoa tem associação com os biomarcadores MTO e PCO.

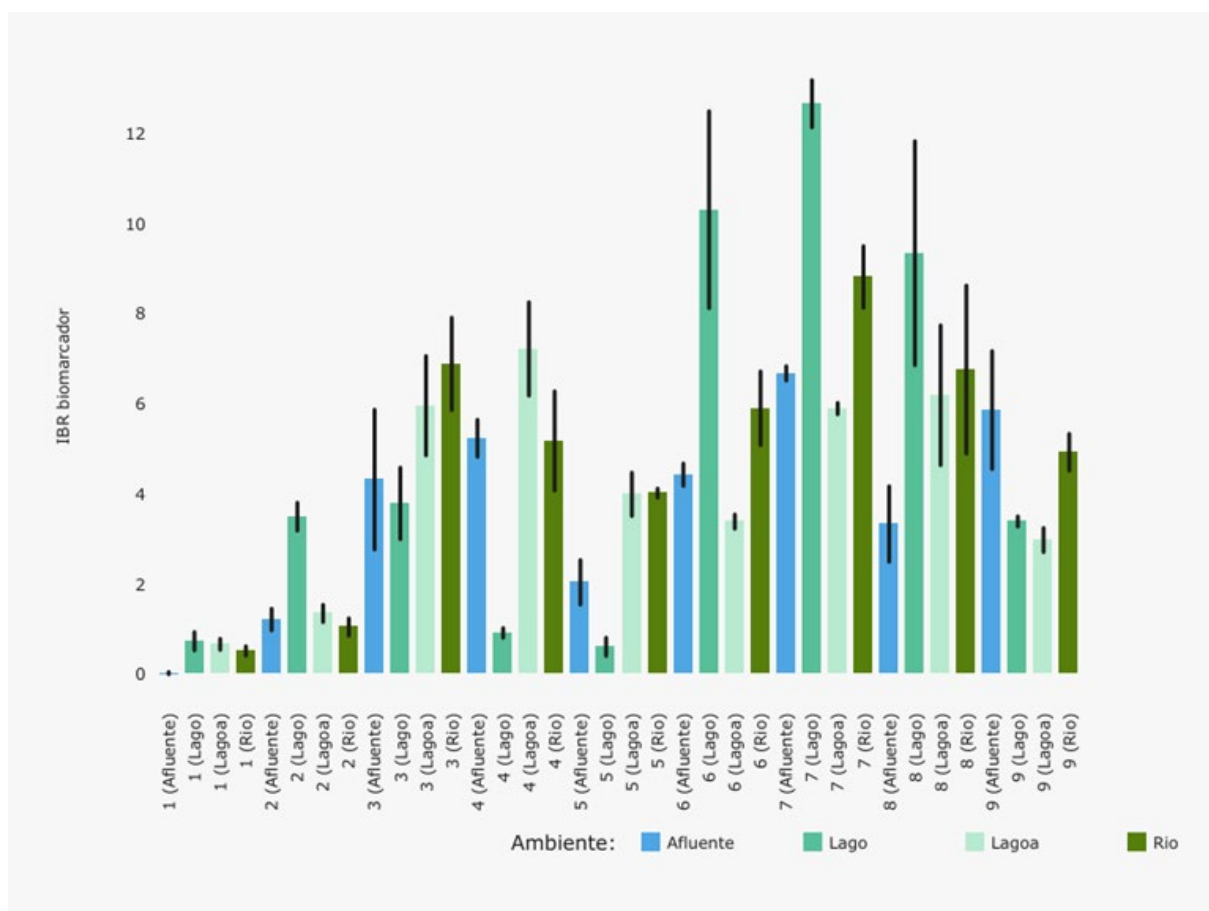
Figura 35: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de camarão coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); 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: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 35, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 31,2% e por 28,4%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 59,6% da variabilidade total dos dados. Nota-se que todos os biomarcadores (exceto o MTO nas brânquias) são relevantes para a análise de PCA e estão concentrados nos quadrantes à direita (superior e inferior), salvo o sítios AP que está no quadrante superior à esquerda. O Setor Rio (RDO-10, RDO-15 e RDO-16) demonstra uma associação com os biomarcadores LPO nas brânquias, MTO nas brânquias, LPO no hepatopâncreas, PCO no hepatopâncreas, PCO no músculo e MTO no hepatopâncreas. O Setor Afluente (RMH-01) associa-se ao biomarcador sítios AP. E por fim, o biomarcador LPO nas brânquias associa-se, também, a estação LLM-01 do Setor Lago. Vale ressaltar que, o Setor Rio é o qual se mostra mais impactado, devido a forte e ampla relação com grande parte das respostas dos biomarcadores.

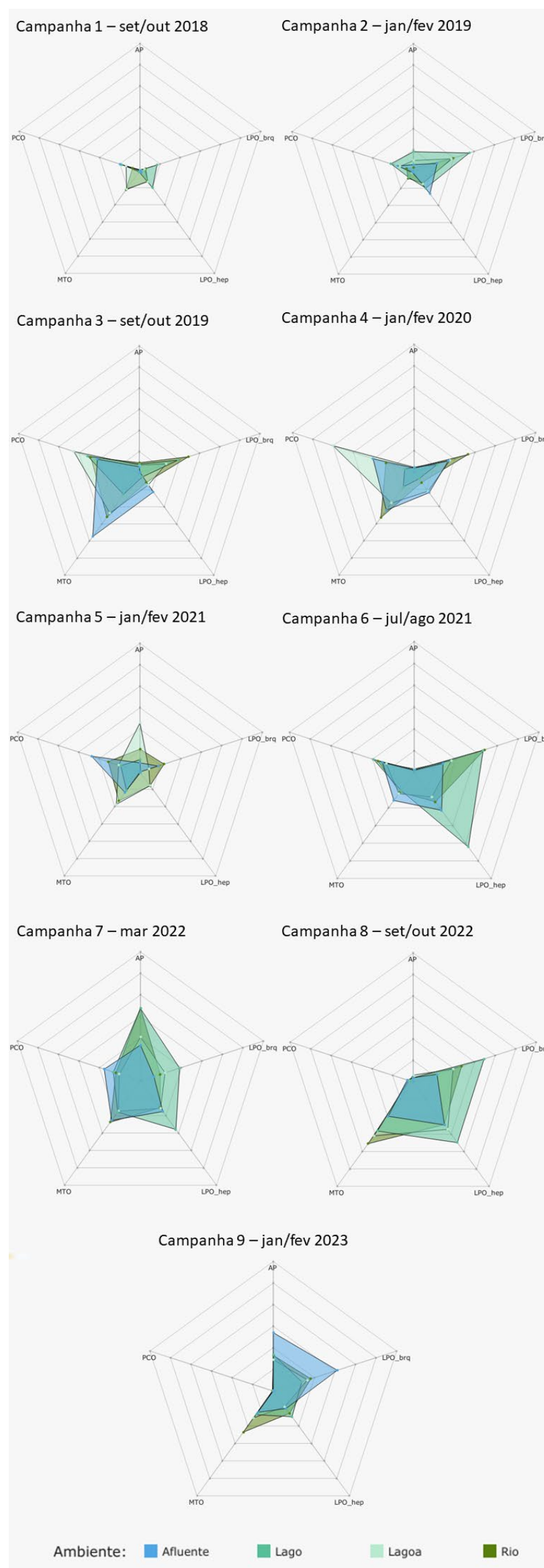
Figura 36: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) de camarões coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – 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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



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 Dulcícola, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR biomarcador para os camarões do Ambiente Dulcícola, na Figura 36, pode-se observar que os valores do IBR biomarcador tendem a se manterem altos a partir da Campanha 3 (set/out 2019 – período seco) em todos os Setores, ao longo do período de monitoramento.

Figura 37: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos de camarões coletadas durante Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



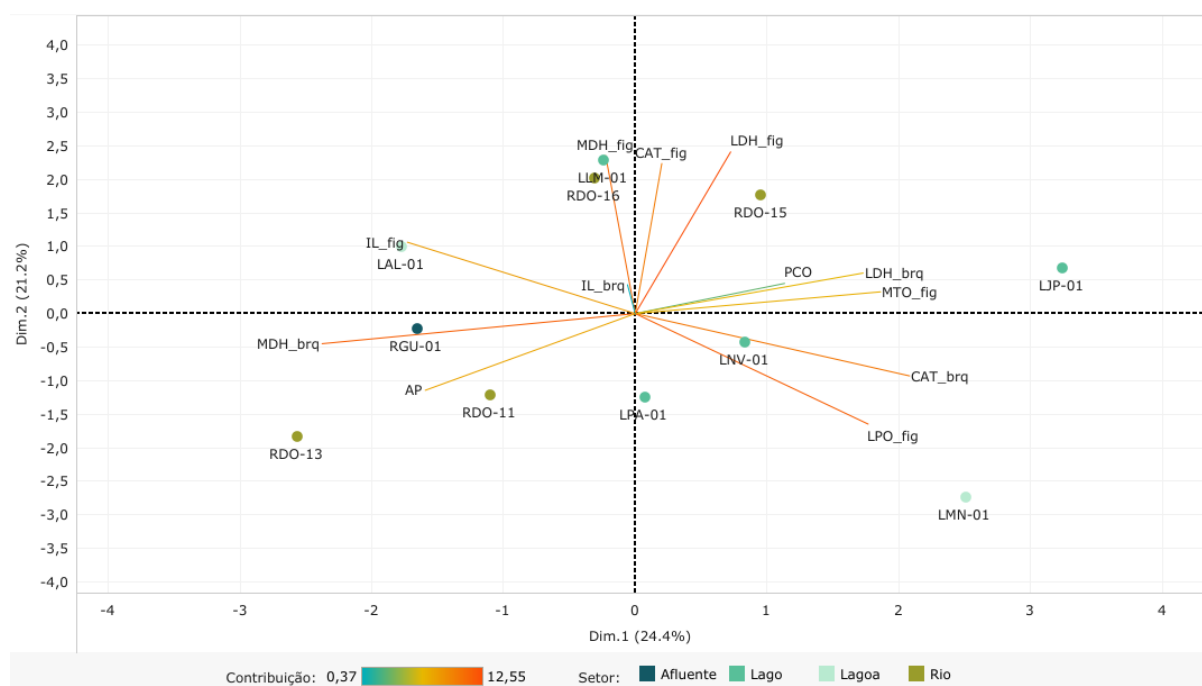
Os gráficos de radar, na Figura 37, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Dulcícola e a contribuição destes para a composição do índice.

Pode-se observar que na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), em todos os Setores, com exceção do Setor Afluentes, todos os biomarcadores contribuem para a composição do IBR biomarcador. Em relação ao Setor Afluentes, os biomarcadores que mais se destacam são o PCO, os sítios AP, o MTO e o LPO no hepatopâncreas.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) as análises de biomarcadores que apresentam relevância na formação do índice são as mesmas para todos os Setores, sendo elas: MTO; LPO no hepatopâncreas; e LPO nas brânquias.

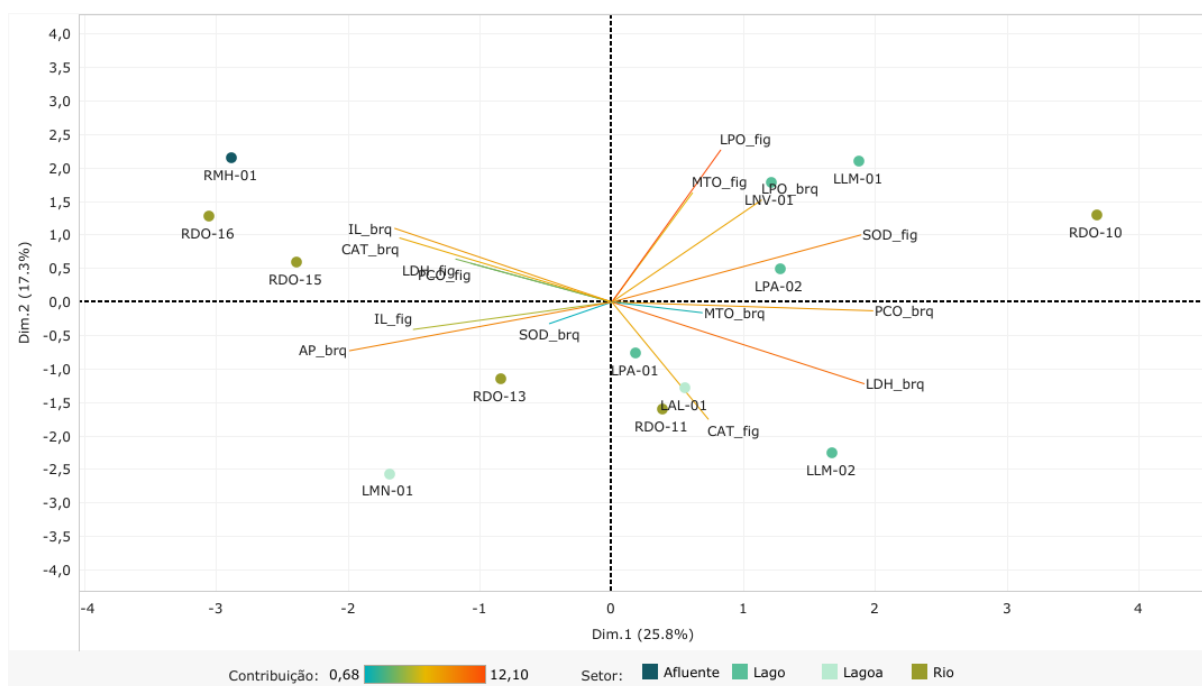
Da mesma forma, na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), os biomarcadores mais importantes para a composição do IBR biomarcador, em todos os Setores, são o MTO, os sítios AP, o LPO nas brânquias e o LPO no hepatopâncreas.

Figura 38: 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_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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



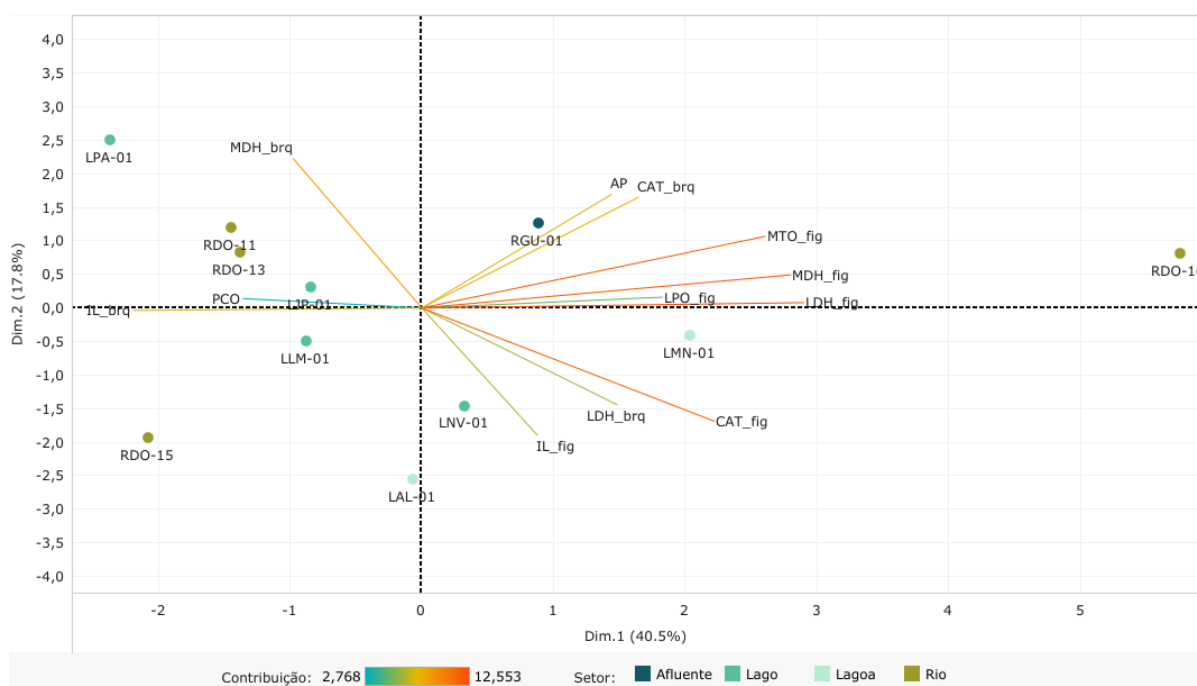
Na Figura 38, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 24,4% e por 21,2%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes onívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 45,6% da variabilidade total dos dados. Ainda, as duas variações dos biomarcadores CAT e LDH (fígado e brânquias) estão nos quadrantes à direita, enquanto as duas variações de MDH e IL (fígado e brânquias) estão nos quadrantes à esquerda. O Setor Lago está associado aos biomarcadores CAT no fígado e nas brânquias, MTO e MDH no fígado, e LDH nas brânquias. O Setor Rio está associado a sítios AP, MDH no fígado e nas brânquias, e CAT e LDH no fígado. O Setor Lagoa está relacionado a IL e LPO no fígado, e CAT e MDH nas brânquias. Já o Setor Afluente está relacionado a MDH nas brânquias, sítios AP e IL no fígado.

Figura 40: 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_fig); 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: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



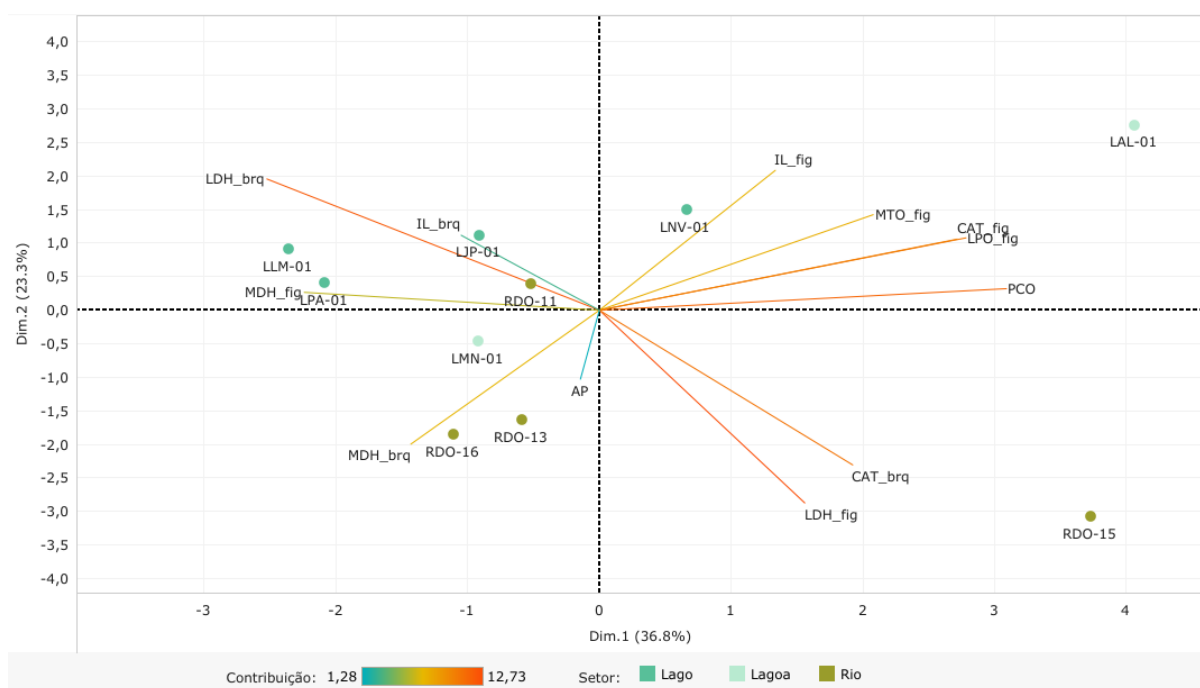
Na Figura 40, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 25,8% e por 17,3%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes onívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 43,1% da variabilidade total dos dados. Nota-se que as estações do Setor Lago se concentram nos quadrantes à direita, assim associando-se aos oito biomarcadores que aí estão posicionados. As estações do Setor Rio estão nos quatro quadrantes e se relacionam com os seis biomarcadores dos quadrantes à esquerda, bem como os biomarcadores CAT e SOD no fígado, e PCO e LPO nas brânquias. A estação LAL-01 do Setor Lagoa associa-se ao CAT no fígado. O Setor Afluente relaciona-se aos quatro biomarcadores do quadrante superior à direita.

Figura 41: 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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



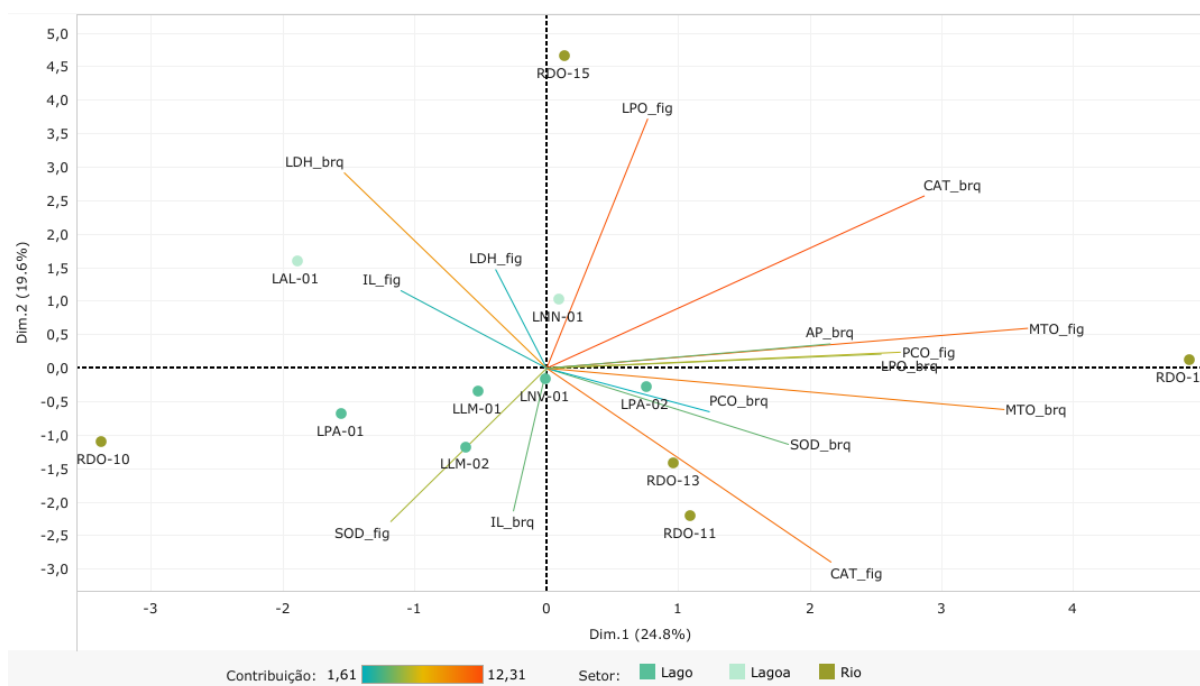
Na Figura 41, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 40,5% e por 17,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes carnívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 58,3% da variabilidade total dos dados. Observa-se que a maior parte dos biomarcadores estão nos quadrantes à direita. Vale destacar que os biomarcadores mais importantes para a PCA foram avaliados no fígado. O Setor Rio se associa aos biomarcadores MDH no fígado e nas brânquias, PCO, MTO no fígado, IL nas brânquias, e LPO e LDH no fígado. A estação LMN-01 do Setor Lagoa se relaciona com o LDH no fígado, e ambos LPO e CAT no fígado. O Setor Afluente se correlaciona com sítios AP e CAT nas brânquias. O Setor Lago se associa a IL no fígado, PCO, e MDH e IL nas brânquias.

Figura 42: 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: Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 42, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 36,8% e por 23,3%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes carnívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 60,1% da variabilidade total dos dados. Nota-se que o quadrante superior à esquerda concentra apenas biomarcadores avaliados no fígado e a PCO no músculo, os mesmos estão associados à estação LAL-01 (Setor Lagoa). A outra estação do Setor Lagoa (LMN-01) está associada ao biomarcador MDH no fígado. As estações do Setor Lago estão concentradas no quadrante superior à esquerda, com exceção da LNV-01 (quadrante superior à direita). Este Setor está associado ao MDH e IL no fígado, e LDH e IL nas brânquias. O Setor Rio tem três de suas estações (RDO-13, RDO-15 e RDO-16) concentradas nos quadrantes inferiores, as quais estão associadas aos quatro biomarcadores que aí se encontram posicionados.

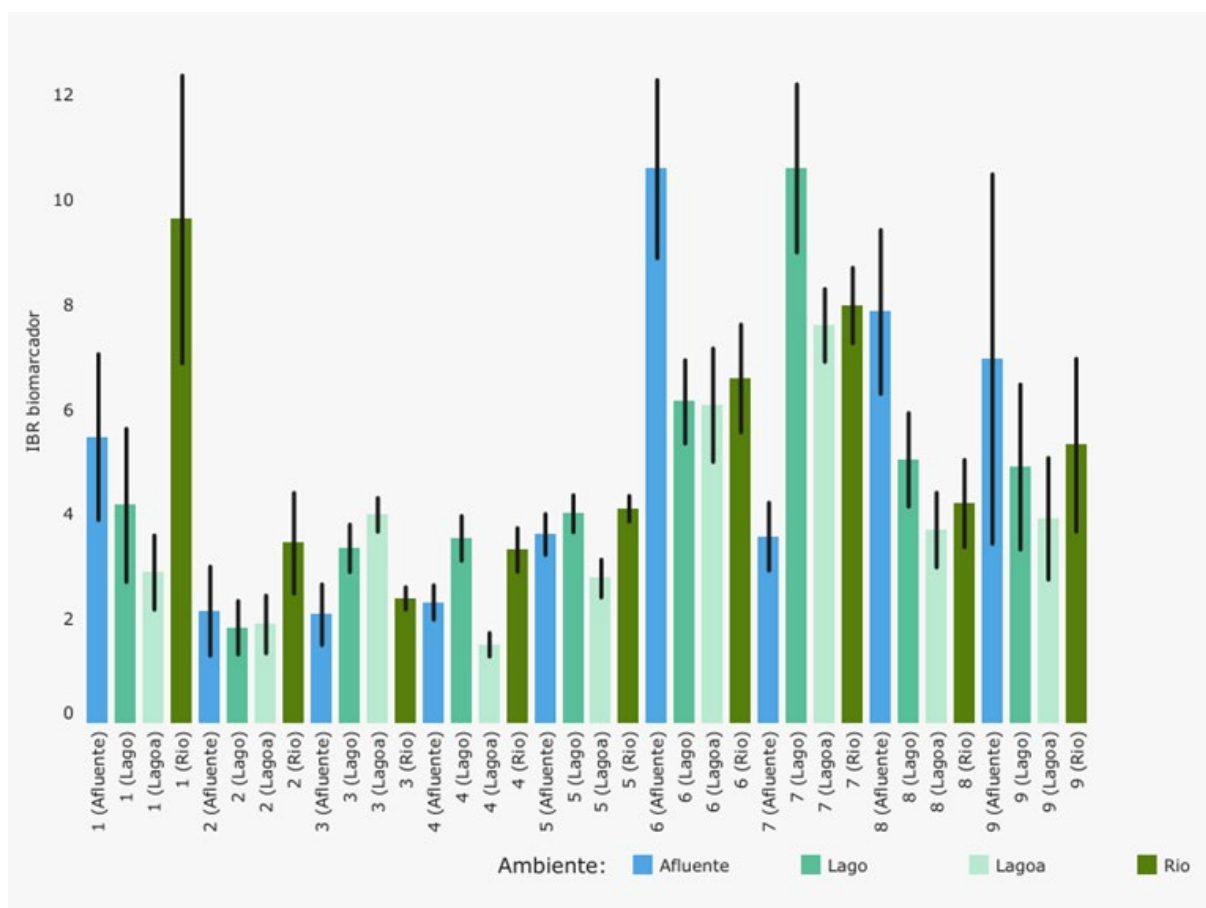
Figura 43: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecidos de peixes carnívoros coletados durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação no fígado (LPO_fig) e nas brânquias (LPO_brq); concentração de metalotioneína nas brânquias (MTO_brq) e no fígado (MTO_fig); 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: Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 43, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 24,8% e por 19,6%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos peixes carnívoros do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 44,4% da variabilidade total dos dados. Observa-se que grande parte dos biomarcadores avaliados se encontram agrupados nos quadrantes à direita (superior e inferior), bem como os biomarcadores mais importantes para a PCA. Além disso, os biomarcadores concentrados nos quadrantes à direita se relacionam com o Setor Rio (RDO-11, RDO-13, RDO-15 e RDO-16). As estações LPA-01 e LLM-02 do Setor Lago se associam com os biomarcadores SOD no fígado e IL nas brânquias. A estação LAL-01 do Setor Lagoa se correlaciona com os biomarcadores IL no fígado e LDH nas brânquias. Vale ressaltar que, o Setor Rio se mostrou o mais impactado estando associado a maior parte das respostas dos biomarcadores avaliados.

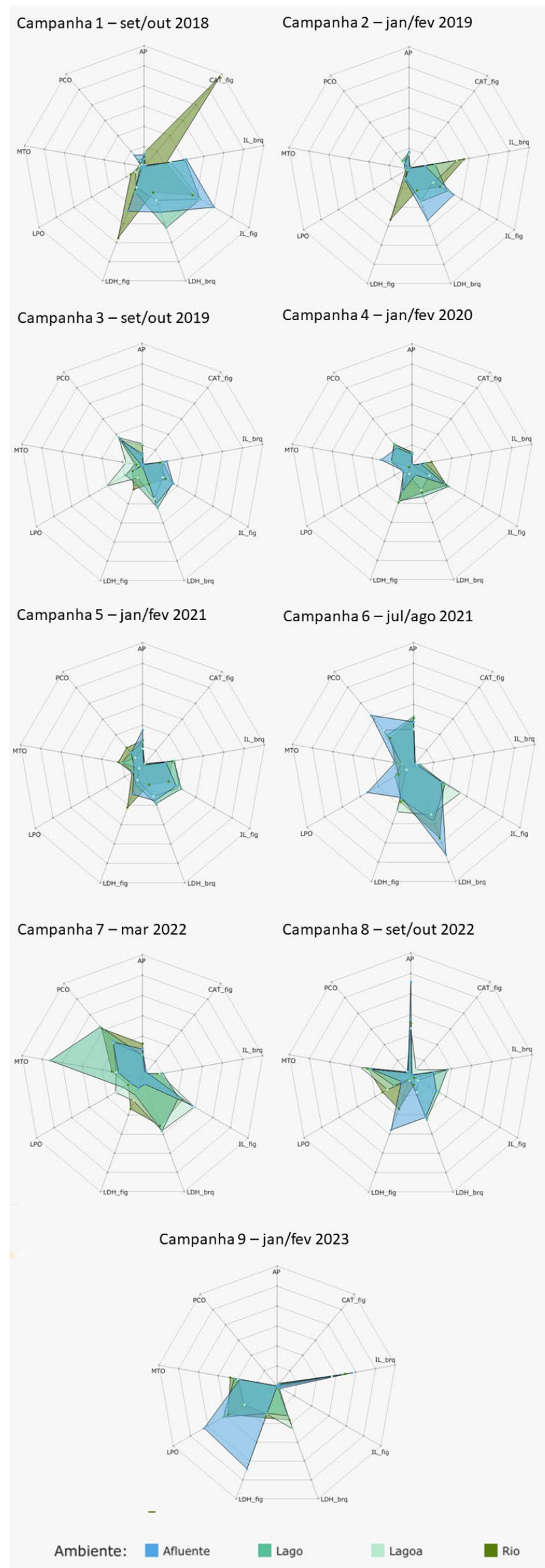
Figura 44: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, fígado, músculo e sangue) de peixes (onívoros e carnívoros) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



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 Dulcícola, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR biomarcador para os peixes do Ambiente Dulcícola, na Figura 44, em geral, os valores de IBR em todos os Setores são altos em todas as Campanhas. Ainda, na Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco) e na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) os valores do índice sofrem um aumento em todos os setores em relação as campanhas anteriores. Em seguida, na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) os resultados do índice tendem a diminuir em todos os Setores.

Figura 45: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos de peixes (onívoros e carnívoros) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (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: Afluentes [Rio Guandu (RGU-01 - da campanha 1 à 8) e Rio Manhuaçu (RMH-01 – a partir da campanha 9)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01 - da campanha 1 à 8), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02 – a partir da campanha 9), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02 – a partir da campanha 9), Lago Palmas 1 (LPA-01 – a partir da campanha 3) e Lago Palmas 2 (LPA-02 – a partir da campanha 9)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Areão (LAO-02 – da campanha 1 à 3), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02 – a partir da campanha 9)]; e Rio [Rio Doce em Regência (RDR – campanhas 1 e 2), Rio Doce em Resplendor (RDO-10 – a partir da campanha 9), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11 – a partir da campanha 3), Rio Doce em Colatina (RDO-13 - a partir da campanha 3), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



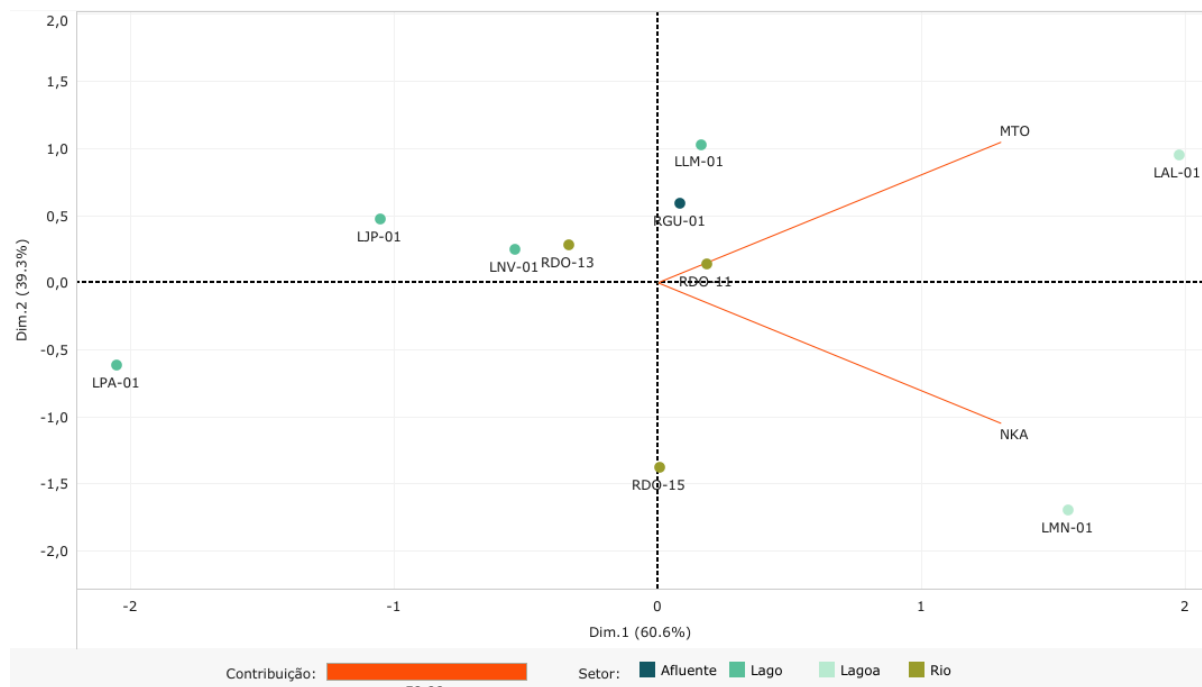
Os gráficos de radar, na Figura 45, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Dulcícola e a contribuição destes para a composição do índice.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), no Setor Lago apenas o biomarcador CAT no fígado não contribui de forma significativa para o valor do índice. Além disso, há picos de valores para os biomarcadores MTO e PCO neste Setor. Já o Setor Rio tem como biomarcadores de maior destaque o PCO, o LDH no fígado e nas brânquias, o IL no fígado, os sítios AP e o MTO. Ainda, as análises dos biomarcadores PCO, MTO, IL no fígado e sítios AP são os valores mais relevantes na composição do IBR biomarcador. O Setor Lagoa contém valores importantes para a formação do índice de todos os biomarcadores, com exceção dos biomarcadores CAT no fígado e IL nas brânquias.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), os biomarcadores sítios AP, MTO, LDH no fígado e nas brânquias e IL no fígado e nas brânquias contribuem para a composição do IBR biomarcador no Setor Afluente. O IBR biomarcador no Setor Lago é formado pela contribuição dos biomarcadores MTO, LPO, IL nas brânquias e sítios AP. O Setor Afluente tem como biomarcadores mais relevantes para o índice os sítios AP, MTO, LDH no fígado e nas brânquias, e IL no fígado e nas brânquias. Por último o Setor Lagoa tem seu valor de IBR biomarcador formado majoritariamente pelos biomarcadores MTO, LPO, IL nas brânquias e sítios AP.

Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) a composição dos índices em todos os Setores segue um padrão muito similar em que a contribuição dos biomarcadores MTO, LPO, LDH no fígado e nas brânquias e IL nas brânquias são os mais relevantes em todos eles. Entretanto, no Setor Afluente há a contribuição de todos os biomarcadores que foram citados anteriormente, com exceção do LDH nas brânquias, o qual não contribui para o índice neste Setor.

Figura 46: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de larvas de quironomídeos coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: concentração de metalotioneína (MTO); e atividade da Na^+ , K^+ -ATPase (NKA). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce em Linhares (RDO-15)].



Na Figura 46, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 60,6% e por 39,3%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nas larvas de quironomídeos do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 99,9% da variabilidade total dos dados. É possível notar que os dois biomarcadores avaliados contribuem para a PCA e estão concentrados nos quadrantes à direita. Ainda, os mesmos estão associados ao Setor Lagoa (LAL-01 e LMN-01).

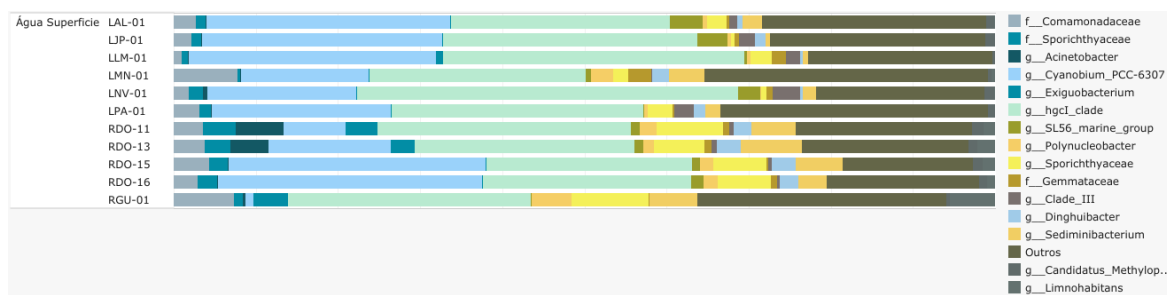
Figura 47: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de larvas de quironomídeos coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram: concentração de metalotioneína (MTO); e atividade da Na^+ , K^+ -ATPase (NKA). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce em Linhares (RDO-15)].



Na Figura 47, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 51,5% e por 48,4%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nas larvas de quironomídeos do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 99,9% da variabilidade total dos dados. Verifica-se que os dois biomarcadores avaliados estão concentrados nos quadrantes superiores (esquerdo e direito), os quais apresentam uma contribuição relevante para a PCA. O biomarcador NKA demonstra estar associado ao Setor Afluente (RGU-01) e a estação RDO-13 do Setor Rio. Já o biomarcador MTO está associado as estações RDO-11 e LMN-01, dos Setores Rio e Lagoa, respectivamente.

2.4 DIVERSIDADE MICROBIANA

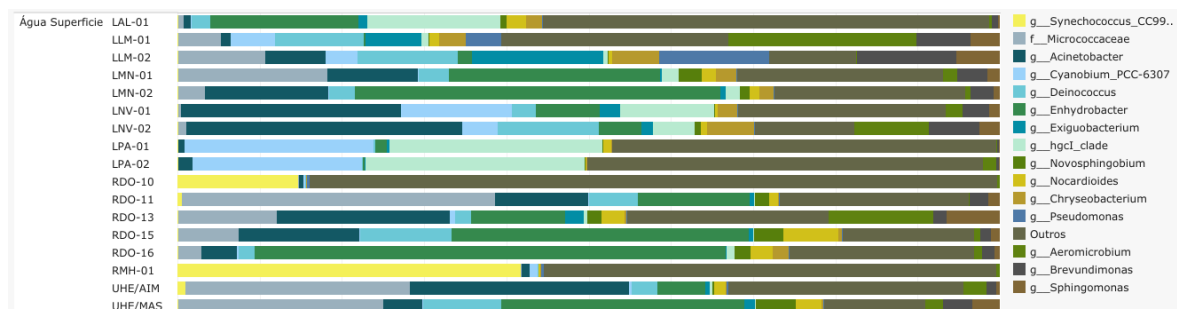
Figura 48: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de superfície coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário 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: Lago Juparanã (LJP-01); Lago do Limão 1 (LLM-01); Lago Nova 1 (LNV-01); Lago Palmas 1 (LPA-01); Lagoa do Areal (LAL-01); Lagoa Monsarás 1 (LMN-01); Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11); Rio Doce em Colatina (RDO-13); Rio Doce em Linhares (RDO-15); Rio Doce no Estuário (RDO-16); e Rio Guandu (RGU-01).



A análise da abundância relativa dos gêneros presentes na água de superfície da porção dulcícola revelou uma notável predominância dos gêneros bacterianos pertencentes ao clado hgcl e Cyanobium PCC-6307. Estes foram seguidos pela família Sporichthyaceae e pela família Comamonadaceae (Figura 48).

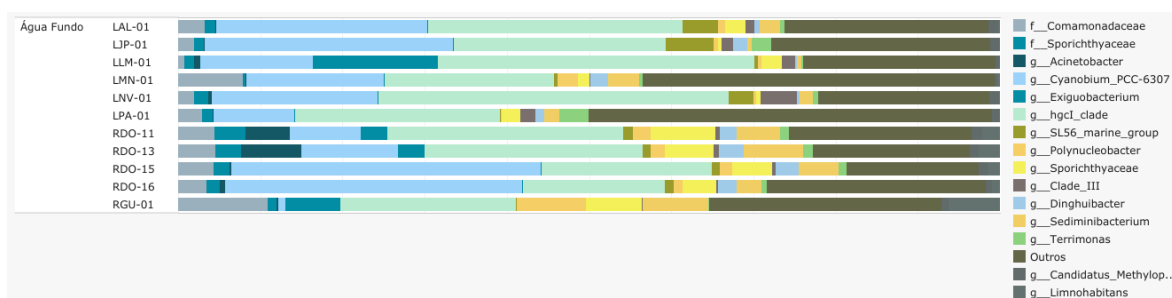
Destaca-se também que a estação RGU-01 apresentou a maior densidade relativa de membros da família Sporichthyaceae (9,42%), em comparação com todas as outras estações de amostragem. Além disso, o gênero *Limnohabitans* se destacou com uma densidade relativa de 5,49% também na estação de amostragem RGU-01, enquanto nas demais estações amostrais, a densidade relativa desse gênero não ultrapassou 2%.

Figura 49: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de superfície 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: Lago do Limão 1 (LLM-01); Lago do Limão 2 (LLM-02); Lago Nova 1 (LNV-01); Lago Nova 2 (LNV-02); Lago Palmas 1 (LPA-01); Lago Palmas 2 (LPA-02); Lagoa do Areal (LAL-01); Lagoa Monsarás 1 (LMN-01); Lagoa Monsarás 2 (LMN-02); Reservatório Aimorés (UHE AIM); Reservatório Mascarenha (UHE MAS); Rio Doce em Resplendor (RDO-10); Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11); Rio Doce em Colatina (RDO-13); Rio Doce em Linhares (RDO-15); Rio Doce no Estuário (RDO-16); e Rio Manhuaçu (RMH-01).



A avaliação da abundância relativa dos gêneros bacterianos presentes em amostras de água superficial coletadas durante a campanha 9 revelou a predominância dos táxons *Enhydrobacter*, *Acinetobacter*, *Micrococcaceae*, *hgcl_clade* e *Deinococcus*, respectivamente. Embora tenha havido alternâncias na predominância relativa entre esses grupos, a dinâmica principal da comunidade permaneceu inalterada. Grupos previamente descritos neste ambiente continuaram a fazer parte do núcleo bacteriano predominante. Notavelmente, o gênero *Enhydrobacter* atrai atenção devido ao seu aumento na campanha 9 em comparação com campanhas anteriores, representando 15% da comunidade bacteriana nas estações coletadas (Figura 49). A presença de *Enhydrobacter* está fortemente associada às estações LAL-01, LMN-01, LMN-02, RDO-15, RDO-16 e UHE/MAS. Por outro lado, *Acinetobacter* manteve uma presença significativa, principalmente nas estações LMN-01, LMN-02, LNV-01, LNV-02, RDO-11, RDO-13, RDO-15 e UHE/MAS. Também merece destaque a presença dos gêneros *Exiguobacterium* e *Sphingomonas*, que, embora em menor proporção, já haviam sido observados em campanhas anteriores em amostras de sedimento.

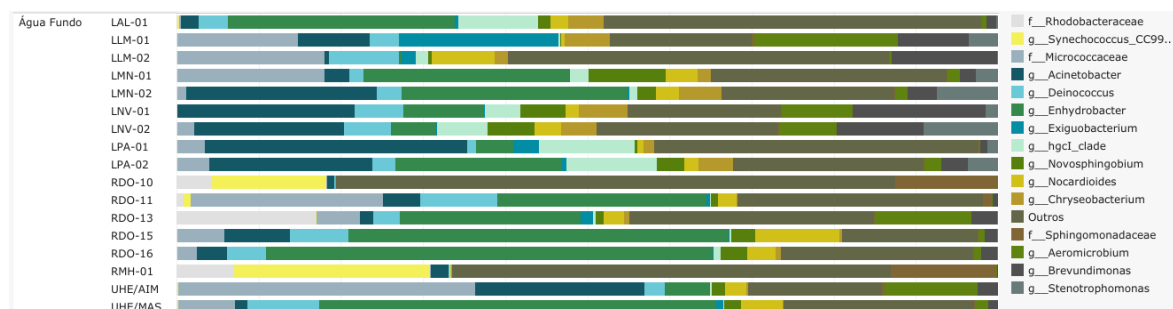
Figura 50: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de fundo coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário 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: Lago Juparanã (LJP-01); Lago do Limão 1 (LLM-01); Lago Nova 1 (LNV-01); Lago Palmas 1 (LPA-01); Lagoa do Areal (LAL-01); Lagoa Monsarás 1 (LMN-01); Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11); Rio Doce em Colatina (RDO-13); Rio Doce em Linhares (RDO-15); Rio Doce no Estuário (RDO-16); e Rio Guandu (RGU-01).



Os padrões observados na água de profundidade se assemelharam aos da água de superfície. Nessas amostras, *Cyanobium PCC-6307* e *hgcl_clade* foram também os táxons dominantes. As estações amostrais RDO-11 e RDO-13 se destacaram, exibindo as maiores densidades relativas de *Acinetobacter*, com valores de 5,4% e 7,3%, respectivamente. Nas demais estações de coleta, a abundância relativa desse gênero não ultrapassou 1%.

Em RGU-01, notamos uma composição única, onde os gêneros *Polynucleobacter* e *Sediminibacterium*, juntamente com a família Sporichthyaceae, somaram 23,43% da abundância relativa, um perfil que não foi observado em nenhuma outra estação amostral. O gênero *Limnochlamydomonas*, assim como na água de superfície, foi detectado em maior quantidade na estação RGU-01 (Figura 50). Estes resultados refletem a complexidade da comunidade bacteriana na água de profundidade, com variações notáveis entre as estações amostrais.

Figura 51: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de água de fundo 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: Lago do Limão 1 (LLM-01); Lago do Limão 2 (LLM-02); Lago Nova 1 (LNV-01); Lago Nova 2 (LNV-02); Lago Palmas 1 (LPA-01); Lago Palmas 2 (LPA-02); Lagoa do Areal (LAL-01); Lagoa Monsarás 1 (LMN-01); Lagoa Monsarás 2 (LMN-02); Reservatório Aimorés (UHE AIM); Reservatório Mascarenha (UHE MAS); Rio Doce em Resplendor (RDO-10); Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11); Rio Doce em Colatina (RDO-13); Rio Doce em Linhares (RDO-15); Rio Doce no Estuário (RDO-16); e Rio Manhuaçu (RMH-01).



Para amostras de água em profundidade, observou-se um perfil bacteriano semelhante ao das amostras de água superficial, tanto em termos de composição quanto de proporções. Os táxons mais abundantes foram *Enhydrobacter*, *Acinetobacter*, Micrococcaceae e *Deinococcus* (Figura 51). A presença de *Enhydrobacter* como o gênero mais abundante em amostras de água em profundidade é uma novidade, não observada anteriormente. Além disso, *Exiguobacterium* e *Sphingobium* aparecem como os mais abundantes, indicando uma característica persistente nas estações do ambiente dulcícola. As estações com maior presença dos táxons em destaque coincidem com as da água de superfície, sugerindo uma provável homogeneidade nas características físico-químicas entre as amostras de superfície e de profundidade.

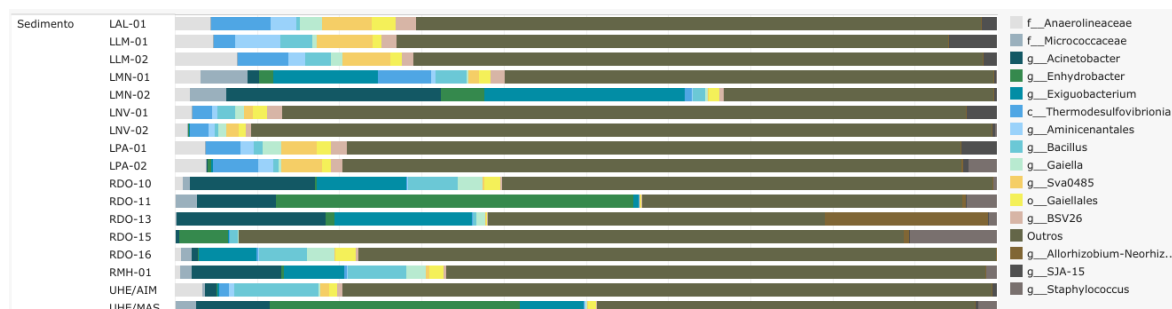
Figura 52: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de sedimento coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os gêneros mais abundantes foram quantificados em gênero, porém a classificação em gênero (g_) foi realizada quando possível, caso o contrário os gêneros 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: Lago Juparanã (LJP-01); Lago do Limão 1 (LLM-01); Lago Nova 1 (LNV-01); Lago Palmas 1 (LPA-01); Lagoa do Areal (LAL-01); Lagoa Monsarás 1 (LMN-01); Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11); Rio Doce em Colatina (RDO-13); Rio Doce em Linhares (RDO-15); Rio Doce no Estuário (RDO-16); e Rio Guandu (RGU-01).



Nas amostras de sedimento coletadas, como observado em campanhas anteriores, foi constatada uma considerável diversidade bacteriana, com uma baixa predominância de grupos bacterianos específicos em comparação com as amostras de água, o que é comum para sedimento. Táxons que estão sendo propostos como possíveis bioindicadores da presença dos rejeitos da barragem de Fundão, como Anaerolineacea e Pirellulaceae, foram encontradas em alta abundância em todas as amostras. Sendo Anaerolineacea mais abundante nos lagos e lagoas e Pirellulaceae no rio. Vale ressaltar ainda, o gênero *Bathyarchaeia*, o táxon mais detectado, o qual foi predominantemente observado na estação LAL-01. Outro grupo taxonômico associado ao rejeito da barragem de Fundão encontrada em grande abundância nas amostras de sedimento foi o gênero Nitrospira.

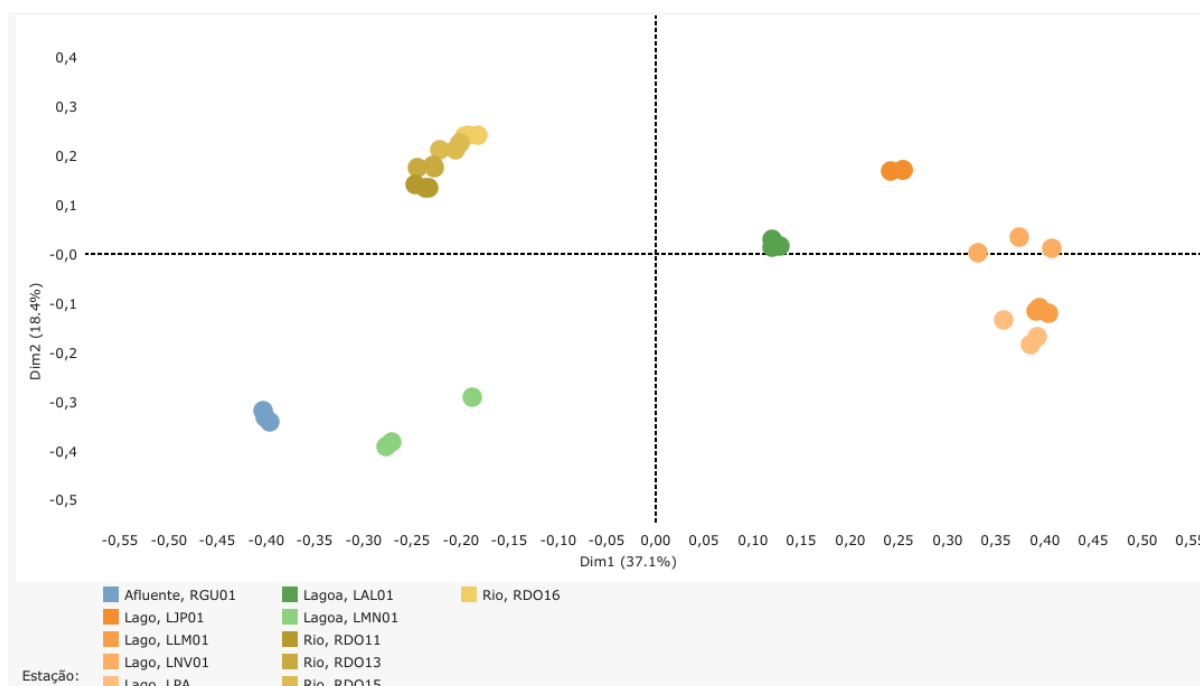
Analisando todas as estações amostrais, é possível identificar um padrão na distribuição dos táxons da Classe *Thermodesulfobionia* e do gênero Sva0485. Notavelmente, as estações amostrais ao longo do Rio Doce (RDO-11, RDO-13, RDO-15 e RDO-16) apresentaram abundâncias relativas significativas do gênero *Gaiella*, variando de 2% a 6% (Figura 52). Esses resultados indicam a complexa dinâmica da comunidade bacteriana nas amostras de sedimento, com algumas tendências notáveis nas estações ao longo do Rio Doce.

Figura 53: Abundância relativa dos gêneros microbianos mensurados nas amostras de sedimento coletadas durante a Campanha 9 (jan/set 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: Lago do Limão 1 (LLM-01); Lago do Limão 2 (LLM-02); Lago Nova 1 (LNV-01); Lago Nova 2 (LNV-02); Lago Palmas 1 (LPA-01); Lago Palmas 2 (LPA-02); Lagoa do Areal (LAL-01); Lagoa Monsarás 1 (LMN-01); Lagoa Monsarás 2 (LMN-02); Reservatório Aimorés (UHE AIM); Reservatório Mascarenha (UHE MAS); Rio Doce em Resplendor (RDO-10); Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11); Rio Doce em Colatina (RDO-13); Rio Doce em Linhares (RDO-15); Rio Doce no Estuário (RDO-16); e Rio Manhuaçu (RMH-01).



Em contraste, as amostras de sedimento apresentaram uma maior diversidade em comparação com as amostras de água. Esse perfil é comum devido às diferenças nas matrizes analisadas. No entanto, houve uma surpreendente similaridade com o perfil encontrado nas amostras de água para os táxons mais representativos. Os grupos *Acinetobacter*, *Enhydrobacter* e *Exiguobacterium* foram os mais abundantes, com a inclusão das famílias Anaerolineaceae e Micrococcaceae, que também haviam sido observadas em campanhas anteriores e estavam presentes em elevada abundância nas amostras de água (Figura 53). Em relação ao grupo *Pirellulaceae*, bioindicador proposto para presença do rejeito da barragem de Fundão, mostrou a sua maior abundância na estação RDO-16. A estação que revelou os piores índices de classificação ecotoxicológica.

Figura 54: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de superfície coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].

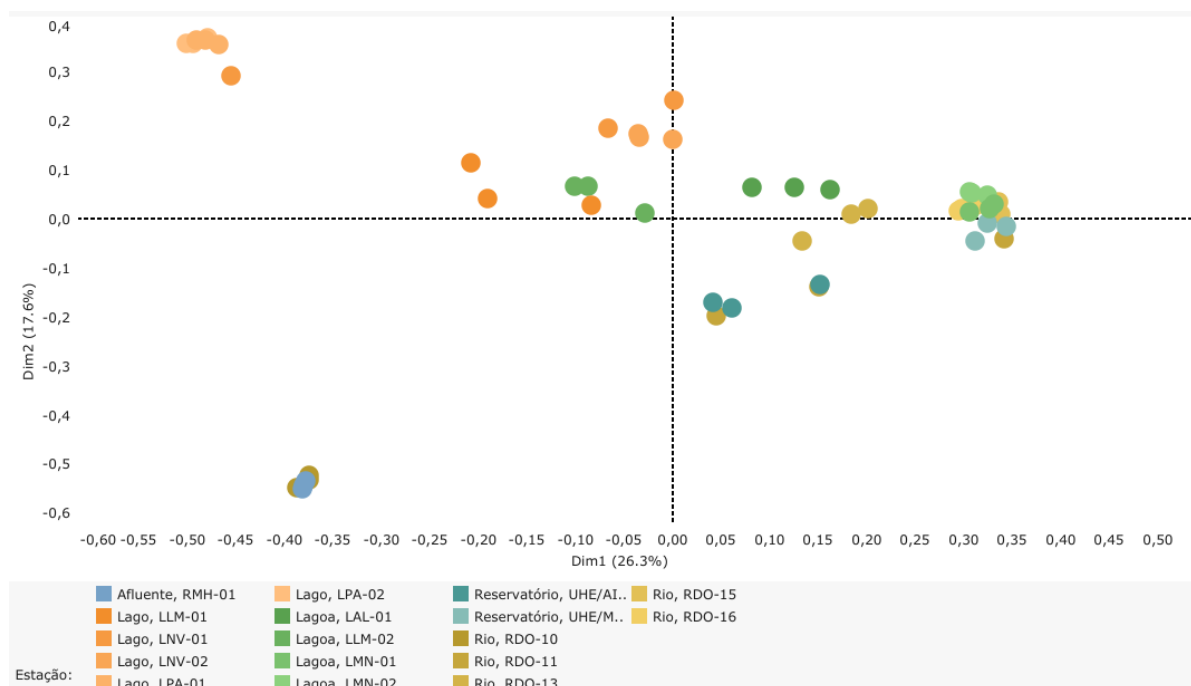


A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para avaliar as similaridades e dissimilaridades entre as amostras com base no sequenciamento bacteriano, juntamente com a quantificação e identificação dos ASVs. Essa abordagem nos permitiu avaliar os perfis mais similares, levando em consideração tanto a abundância quanto a relação filogenética das espécies bacterianas.

Observando as amostras de água de superfície coletadas na campanha 8, notamos uma clara separação em três grupos distintos. O primeiro grupo inclui as amostras do Rio Doce (RDO-11, RDO-13, RDO-15 e RDO-16). O segundo grupo é composto pelas amostras das lagoas (LAL-01, LJP-01, LLM-01, LNV-01 e LPA-01). O terceiro grupo é mais isolado, consistindo das amostras de RGU-01 e LMN-01.

O terceiro grupo reflete padrões semelhantes aos registros observados em campanhas anteriores. Sendo que, RGU-01 e LMN-01, apesar de estarem geograficamente distantes parecem compartilhar condições ambientais similares, como indicado na Figura 54.

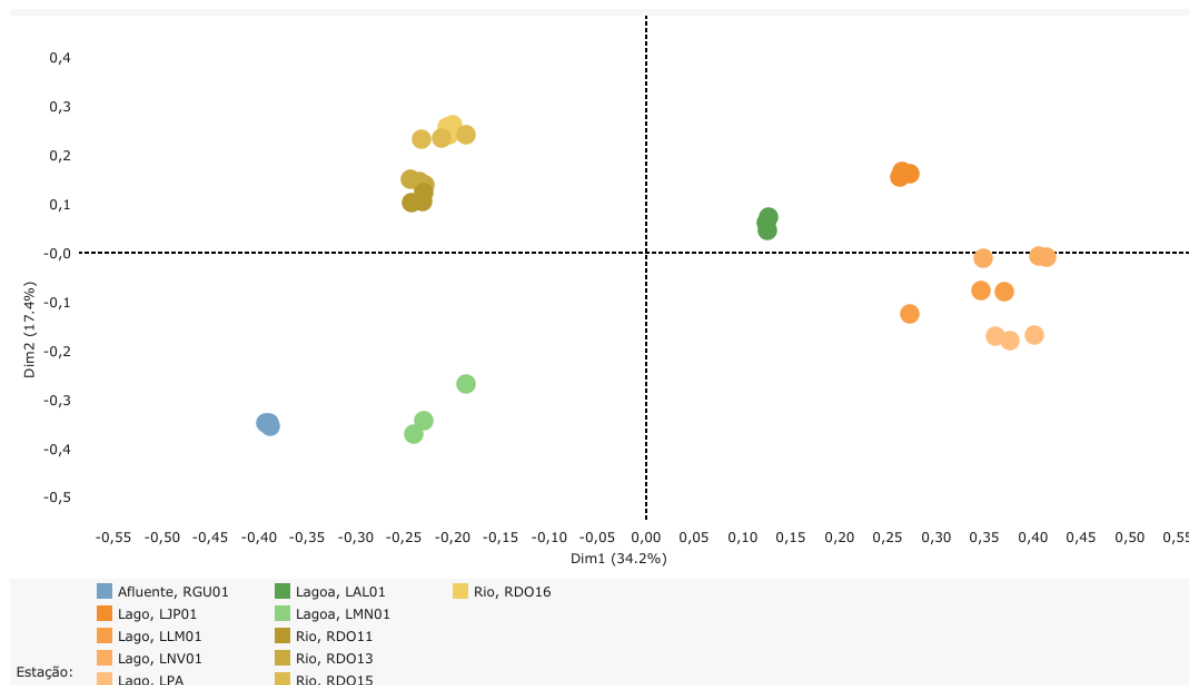
Figura 55: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de superfície coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02)]; Reservatório [Reservatório Aimorés (UHE AIM) e Reservatório Mascarenha (UHE MAS)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



As amostras de água de superfície mostraram uma tendência à formação de grupos compreendendo amostras de lago e lagoa em geral. Essas amostras foram agrupadas no primeiro quadrante, enquanto as outras estações de coleta apresentaram agrupamentos entre amostras de regiões distintas. Especificamente, as amostras da estação afluente (RMH-01) foram agrupadas de com as amostras da estação RDO-10 no quarto quadrante. Essas amostras apresentam um perfil bacteriano de comunidade distinto das demais estações de coleta, sendo as únicas a se posicionar nesse quadrante.

Outro grupo específico foi formado pelas amostras da foz do rio Doce (RDO-15 e RDO-16), que foram agrupadas com amostras de LMN-01, LMN-02 e UHE/MAS. Essas amostras apresentaram um perfil semelhante e específico, demonstrando serem as amostras com perfil oposto quando comparadas às amostras das estações LPA (01 e 02), RMH-01 e RDO-10 (Figura 55).

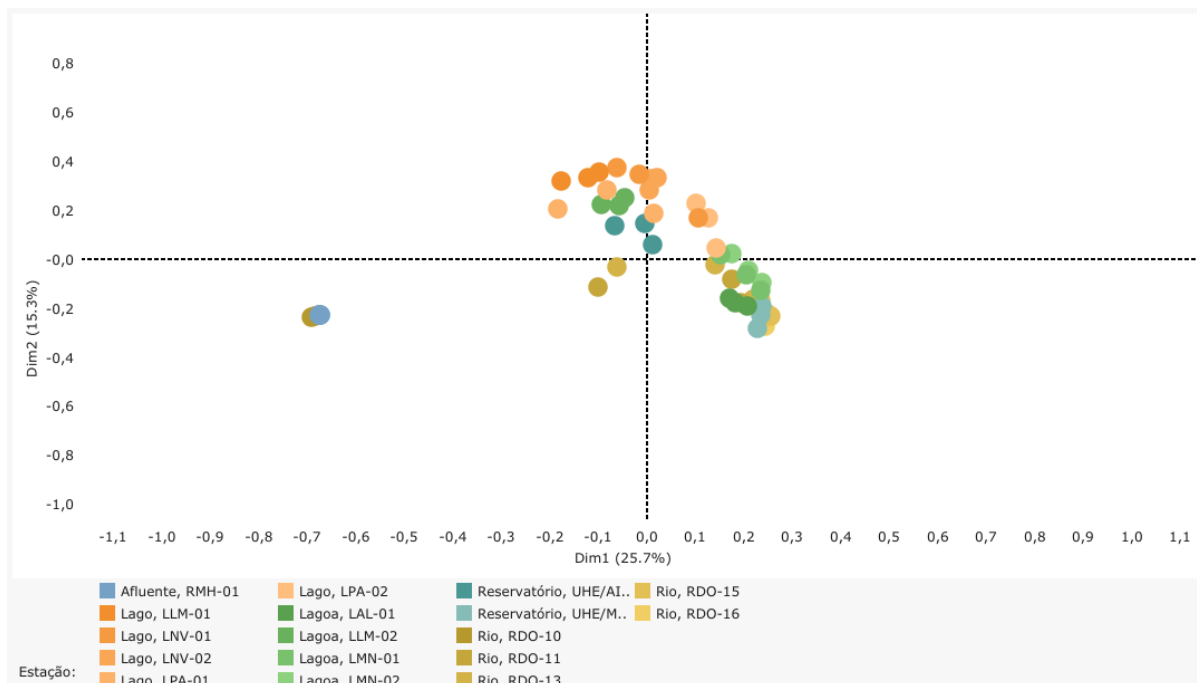
Figura 56: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de fundo coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Considerando as amostras de água de profundidade, é evidente uma distribuição muito similar àquela das amostras de água de superfície, com uma clara separação em três grupos distintos, conforme mencionado anteriormente. Novamente, as amostras da estação LJP-01 estão agrupadas com as lagoas adjacentes ao Rio Doce, mas se destacam dentro desse subgrupo. Além disso, observa-se a formação de um terceiro grupo novamente, com as amostras das estações LAL-01 e LMN-01 em relação às demais amostras de lagoa, conforme ilustrado Figura 56.

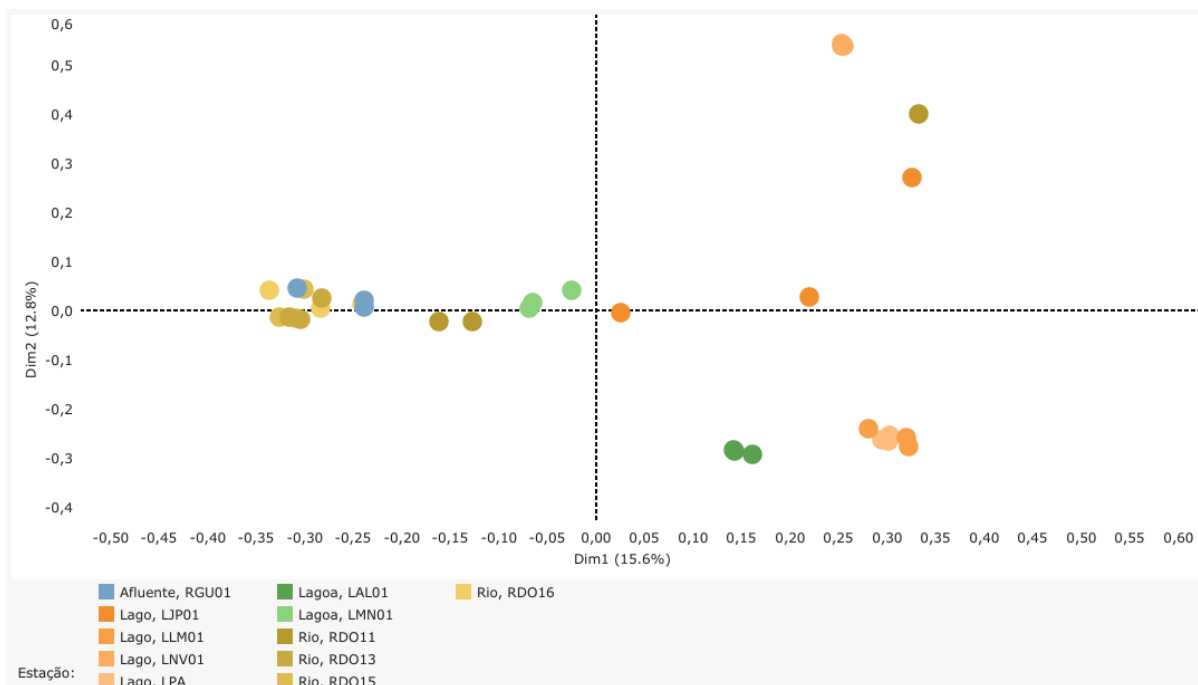
Essa consistência nas separações e agrupamentos entre as amostras de água de superfície e de profundidade sugere que os fatores que influenciam a composição bacteriana são semelhantes em ambas as profundidades. A notável distinção das amostras da estação LJP-01 e o distanciamento de LAL-01 e LMN-01 em relação às outras amostras de lagoa indicam a existência de particularidades ambientais e microbiológicas nessas áreas específicas.

Figura 57: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de água de fundo coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluentes [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02)]; Reservatório [Reservatório Aimorés (UHE AIM) e Reservatório Mascarenha (UHE MAS)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Considerando as amostras de água em profundidade, observou-se um perfil bacteriano bastante semelhante ao encontrado na água superficial. As estações RMH-01 e RDO-10 foram as que apresentaram um perfil diferente das demais amostras e se posicionaram no quarto quadrante. As amostras da foz do rio Roce (RDO-15 e 16) e do reservatório UHE/MAS parecem estar sob influências externas semelhantes, assim como observado na água superficial. As amostras das demais estações apresentaram um perfil de transição entre amostras de lago e amostras da foz do rio Doce. Vale ressaltar que, neste caso, amostras de lagoa das estações LAL-01 e LMN-01 apresentaram maior similaridade com amostras da foz do rio Doce (Figura 57).

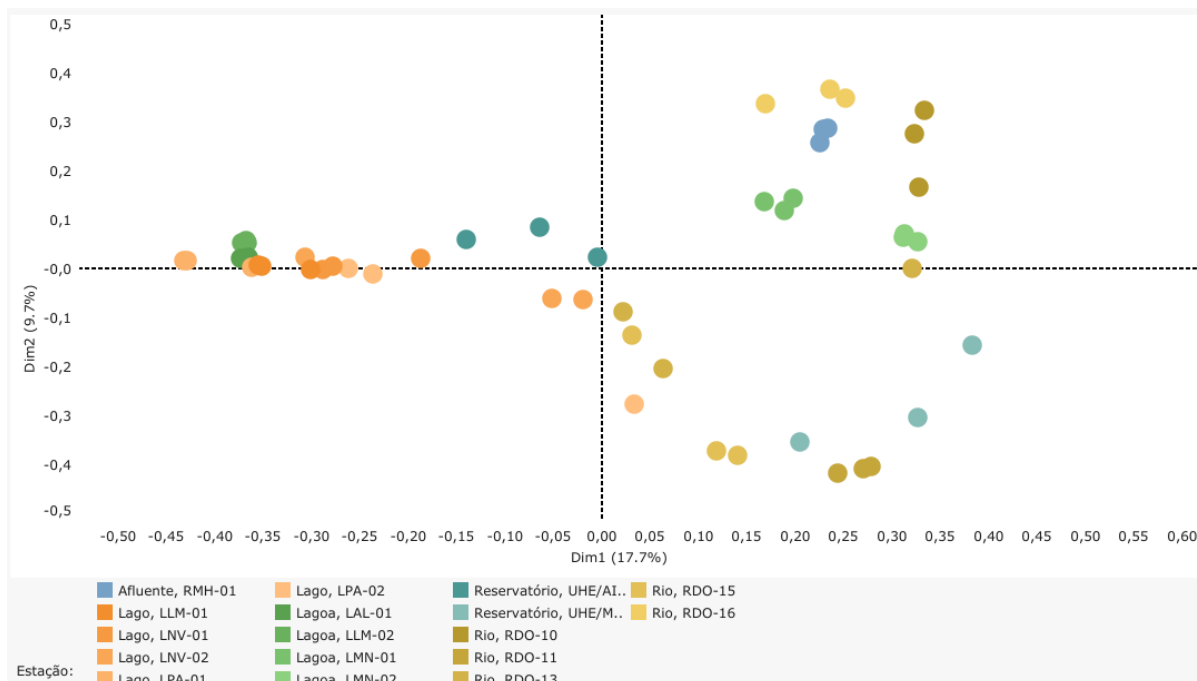
Figura 58: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de sedimento coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluentes [Rio Guandu (RGU-01)]; Lago [Lago Juparanã (LJP-01), Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago Nova 1 (LNV-01) e Lago Palmas 1 (LPA-01)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01) e Lagoa Monsarás 1 (LMN-01)]; e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



A análise de componentes principais das amostras de sedimento da campanha 8 revelou que a estação amostral do afluentes do Rio Guandu (RGU-01) se agrupa com as amostras do Rio Doce (RDO-11, RDO-13, RDO-15 e RDO-16), sugerindo uma similaridade entre essas amostras. Por outro lado, as amostras das lagoas se dispersam pelo gráfico e ocupam o segundo e o terceiro quadrante, sem formar grupos claramente distintos. As amostras mais próximas das estações do Rio Doce, que pertencem às lagoas, são da estação LMN-01 (Figura 58).

Esse resultado sugere uma grande diversidade nas amostras analisadas, com uma maior similaridade entre as amostras do Rio Doce e da estação afluentes RGU-01. A dispersão das amostras das lagoas pelos quadrantes indica uma ampla variabilidade nas comunidades bacterianas dessas áreas, sem uma separação clara em grupos. Essa diversidade reflete a complexidade das comunidades bacterianas no sedimento e a influência de diferentes condições ambientais em cada estação de amostragem.

Figura 59: Ordenação gerada por análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados de diversidade microbiana nas amostras de sedimento coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Afluentes [Rio Manhuaçu (RMH-01)]; Lago [Lago do Limão 1 (LLM-01), Lago do Limão 2 (LLM-02), Lago Nova 1 (LNV-01), Lago Nova 2 (LNV-02), Lago Palmas 1 (LPA-01) e Lago Palmas 2 (LPA-02)]; Lagoa [Lagoa do Areal (LAL-01), Lagoa Monsarás 1 (LMN-01) e Lagoa Monsarás 2 (LMN-02)]; Reservatório [Reservatório Aimorés (UHE AIM) e Reservatório Mascarenha (UHE MAS)]; e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13), Rio Doce em Linhares (RDO-15) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Para amostras de sedimento, o perfil observado foi diferente do encontrado em amostras de água. Houve a formação de um grupo mais específico composto por amostras de lago e da lagoa LMN-01. Também houve agrupamentos opostos divididos entre o segundo e terceiro quadrante, onde amostras das estações RMH-01, RDO-10, RDO-16 e LMN-01 compartilham um perfil bacteriano similar e foram posicionadas no segundo quadrante. Enquanto que amostras das estações UHE/MAS, RDO-11 e RDO-15 apresentaram características distintas de comunidade e foram agrupadas no terceiro quadrante. A menor heterogeneidade entre as amostras de sedimento pode ser atribuída à maior diversidade e menor dominância entre os grupos bacterianos. Apesar disso, o padrão de separação das amostras de lago em oposição às amostras da foz do rio Doce, bem como o reservatório UHE/MAS, continuou sendo mantido (Figura 59).

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)] (Fonte: Anexo 1, TR4). Classificação por estações de coleta: Rio Guandu (RGU-01), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce no Estuário (RDO-16).

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
RGU-01/Chuvoso	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	0	NT	2	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	0	1	3	0	NT				
		<i>D. magna</i> agudo	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	24	LT	4	LT		
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	8	1	3	24	LT				
		<i>D. magna</i> agudo (elutriato)	0	2	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
	Sedimento	<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDO-11/Chuvoso	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	0	NT	0	NT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	0	1	3	0	NT				
		<i>D. magna</i> agudo	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	0	NT	0	NT
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>D. magna</i> agudo (elutriato)	0	2	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
	Sedimento	<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDO-13/Chuvoso	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	0	NT	1	NT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	0	1	3	0	NT				
		<i>D. magna</i> agudo	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	1	NT		
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	2	1	3	6	LT				
		<i>D. magna</i> agudo (elutriato)	0	2	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
	Sedimento	<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDO-16/Chuvoso	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	0	NT	1	NT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	0	1	3	0	NT				
		<i>D. magna</i> agudo	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	1	NT		
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	2	1	3	6	LT				
		<i>D. magna</i> agudo (elutriato)	0	2	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>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
	Sedimento	<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				

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)] (Fonte: Anexo 1, TR4). Classificação por estações de coleta: Rio Guandu (RGU-01), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce no Estuário (RDO-16).

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
RGU-01/Seco	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	1	NT	5	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	2	1	3	6	LT				
		<i>D. similis</i> agudo	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico -larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	8	LT		
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	16	1	3	48	MT				
		<i>D. similis</i> agudo (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	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>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDO-11/Seco	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	1	NT	1	NT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	1	1	3	3	LT				
		<i>D. similis</i> agudo	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
RDO-11/Seco	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	1	NT	1	NT
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	1	1	3	3	LT				
		<i>D. similis</i> agudo (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDO-13/Seco	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	2	LT	2	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	4	1	3	12	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>D. similis</i> agudo	0	2	3	0	NT				
RDO-13/Seco	Água	<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT	2	LT		
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
RDO-13/Seco	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	1	NT	2	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	2	1	3	6	LT				
		<i>D. similis</i> agudo (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDO-16/Seco	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	1	NT	5	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	2	1	3	6	LT				
		<i>D. similis</i> agudo	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	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>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
RDO-16/Seco	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	8	LT	5	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	16	1	3	48	MT				
		<i>D. similis</i> agudo (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				

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)] (Fonte: Anexo 1, TR4). Classificação por estações de coleta: Rio Manhuaçu (RMH-01), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce no Estuário (RDO-16).

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
RDO-10/Chuvoso	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	1	NT	6	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	1	1	3	3	LT				
		<i>D. similis</i> agudo	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	12	LT		
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	16	1	3	48	MT				
		<i>D. similis</i> agudo (elutriato)	4	2	3	24	LT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				

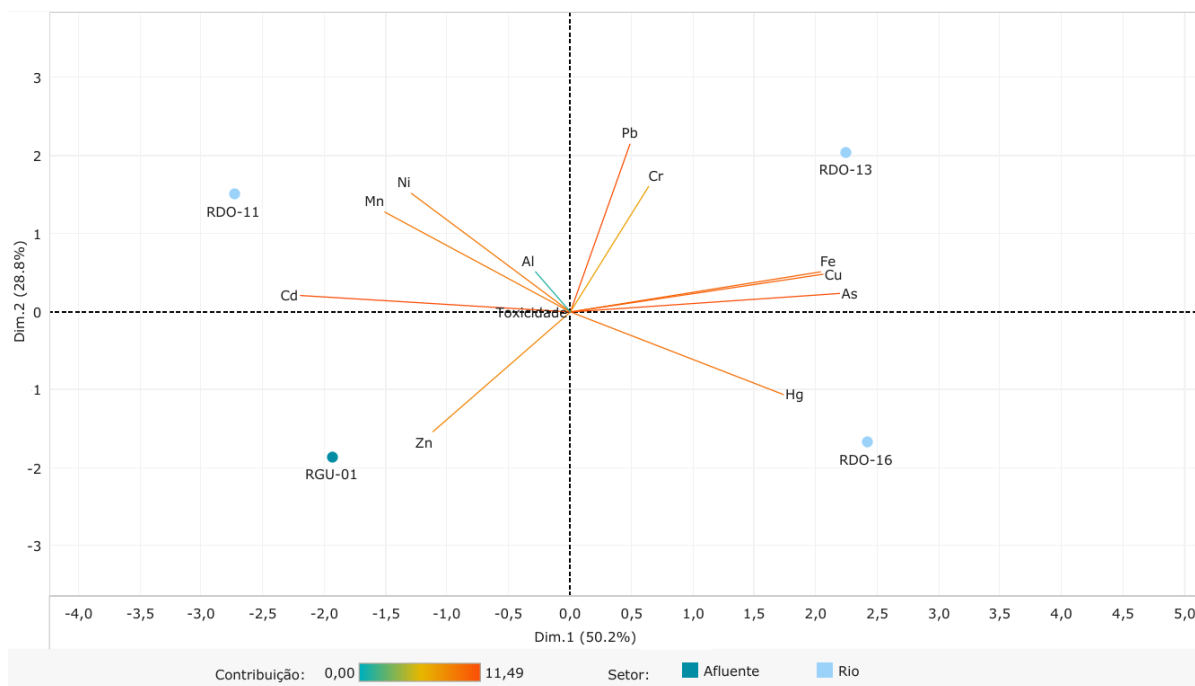
Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
RDO-11/Chuvoso	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	1	NT		
		<i>C. dubia</i> semicrônico	1	1	3	3	LT				
		<i>D. similis</i> agudo	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
RDO-11/Chuvoso	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	9	LT	6	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	16	1	3	48	MT				
		<i>D. similis</i> agudo (elutriato)	1	2	3	6	LT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDO-13/Chuvoso	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	10	LT	6	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	1	1	3	3	LT				
		<i>D. similis</i> agudo	8	2	3	48	MT				

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
RDO-13/Chuvoso	Água	<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT	10	LT		
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
RDO-13/Chuvoso	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	1	NT	6	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	2	1	3	6	LT				
		<i>D. similis</i> agudo (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDO-16/Chuvoso	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	5	LT	15	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	4	1	3	12	LT				
		<i>D. similis</i> agudo	2	2	3	12	LT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	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
RDO-16/Chuvoso	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	25	LT	15	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	16	1	3	48	MT				
		<i>D. similis</i> agudo (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyaella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
RMH-01/Chuvoso	Água	<i>R. subcapitata</i> crônico	0	1	3	0	NT	14	LT	20	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico	16	1	3	48	MT				
		<i>D. similis</i> agudo	4	2	3	24	LT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				

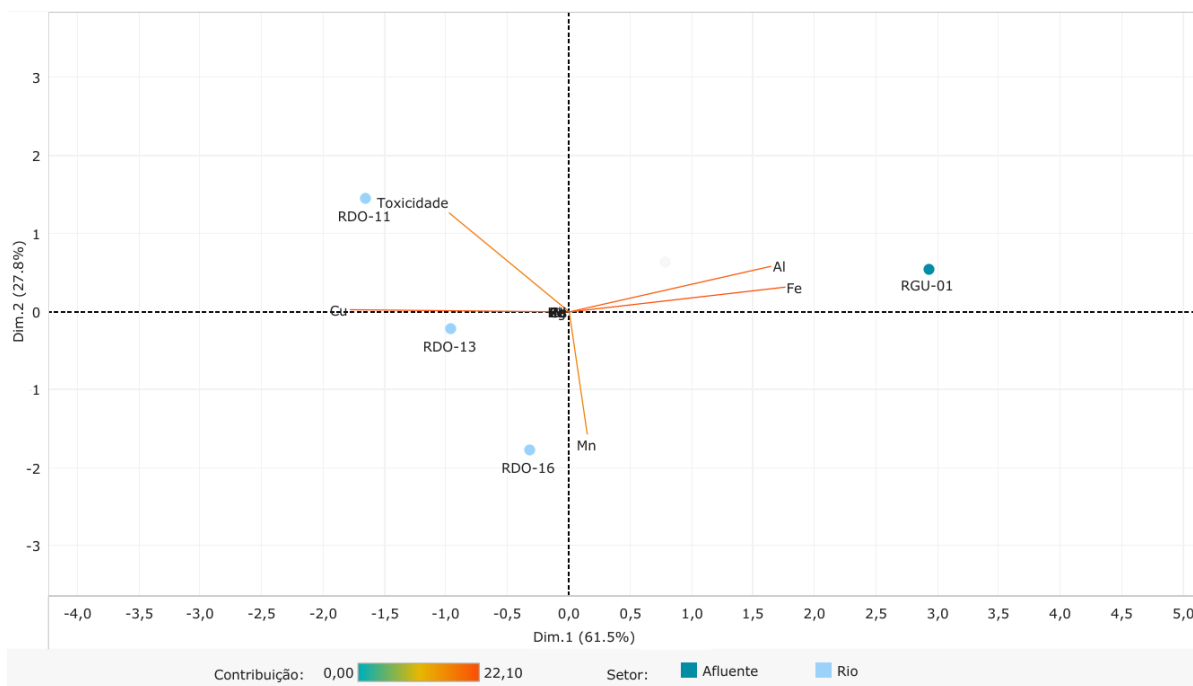
Ponto/Período	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
RMH-01/Chuvoso	Sedimento	<i>R. subcapitata</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT	25	LT	20	LT
		<i>C. dubia</i> semicrônico (elutriato)	16	1	3	48	MT				
		<i>D. similis</i> agudo (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				

Figura 60: 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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)] e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



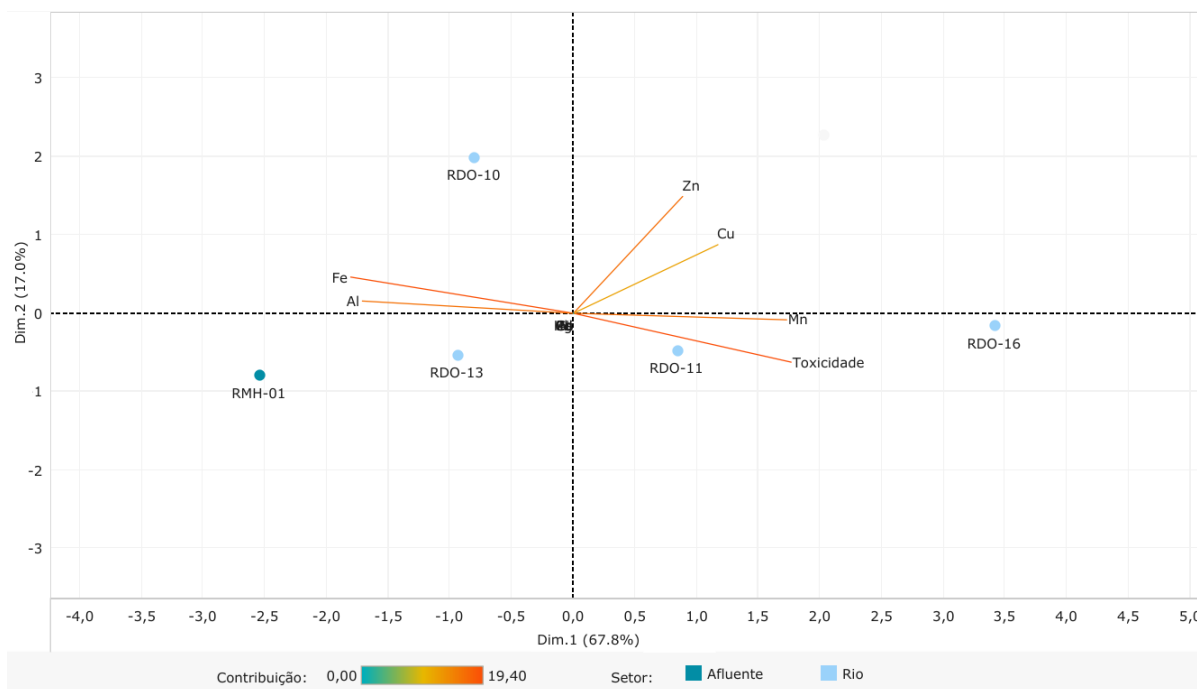
Na Figura 60, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 50,2% e por 28,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais na de água de superfície do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 79,0% da variabilidade total dos dados. As figuras, incluindo a Figura 60, 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 Dulcícola. A ordenação gerada pela PCA mostrou que o índice de toxicidade não apresenta contribuição para as componentes principais, além disso, a toxicidade não está associada a nenhuma das estações de coleta. Entretanto, os metais: Pb, Cr, Fe, Cu e As demonstram uma forte relação com a estação RDO-13; Hg demonstra uma forte associação com a estação RDO-16; Zn uma forte associação com a estação RGU-01; e Cd, Mn e Ni uma forte relação com a estação RDO-11.

Figura 61: 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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)] e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



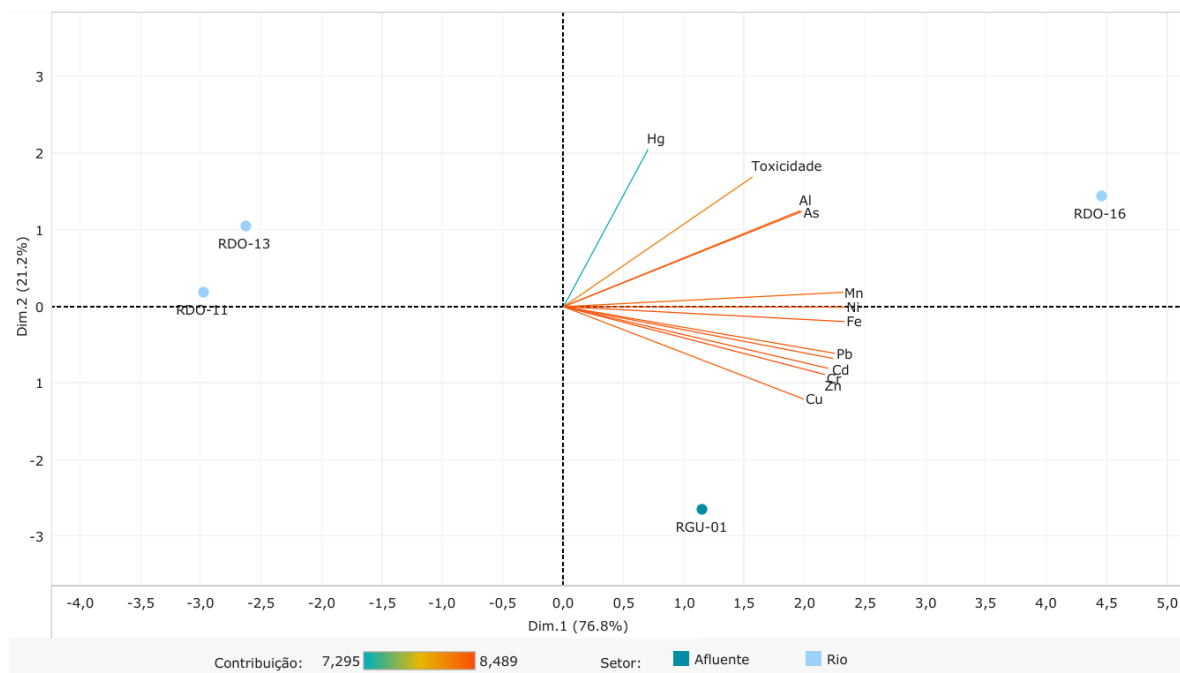
Na Figura 61, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 61,5% e por 27,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais na de água de superfície do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 89,3% da variabilidade total dos dados. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade na água do Ambiente Dulcícola está majoritariamente associada a estação RDO-11 e ao efeito do metal Cu. Os metais Al e Fe estão associados a estação RGU-01. E por fim o metal Mn está associado a estação RDO-16.

Figura 62: 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: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)] e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



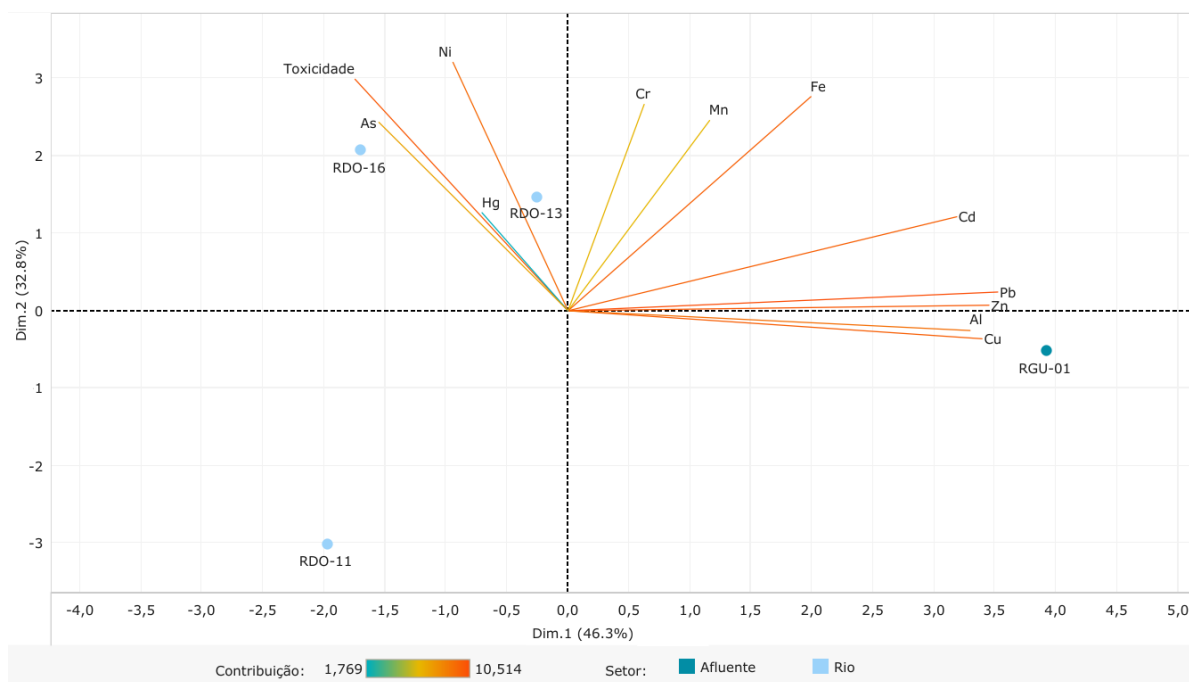
Na Figura 62, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 67,8% e por 17,0%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais na de água de superfície do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 84,8% da variabilidade total dos dados. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade na água do Ambiente Dulcícola está associada as estações RDO-11 e RDO-16 e ao metal Mn.

Figura 63: 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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)] e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



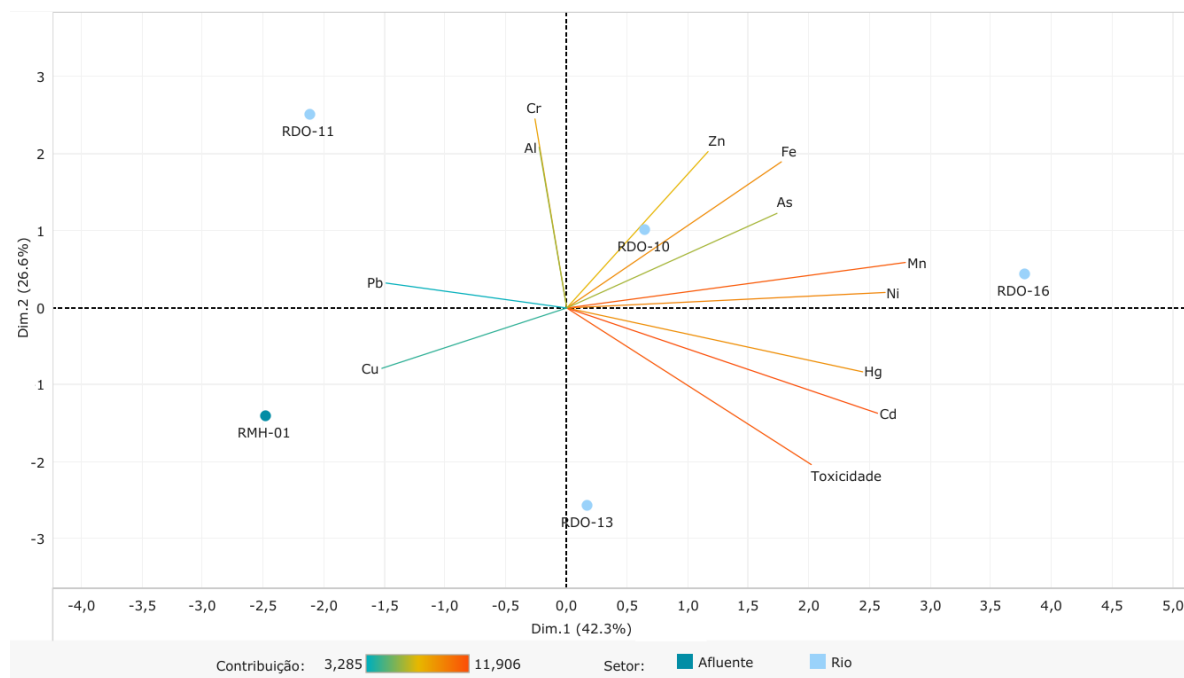
Na Figura 63, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 76,8% e por 21,2%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais no sedimento do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 98,0% da variabilidade total dos dados. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade no sedimento do Ambiente Dulcícola está majoritariamente associada ao ponto amostral RDO-16 e aos metais Al, As e Mn.

Figura 64: 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: Afluente [Rio Guandu (RGU-01)] e Rio [Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 64, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 46,3% e por 32,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais no sedimento do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 79,1% da variabilidade total dos dados. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade no sedimento do Ambiente Dulcícola está associada aos pontos amostrais RDO-13 e RDO-16 e aos metais As, Hg e Ni.

Figura 65: 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: Afluente [Rio Manhuaçu (RMH-01)] e Rio [Rio Doce em Resplendor (RDO-10), Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11), Rio Doce em Colatina (RDO-13) e Rio Doce no Estuário (RDO-16)].



Na Figura 65, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 42,3% e por 26,6%, respectivamente, da variabilidade dos resultados do índice de toxicidade e os dados de concentração de metais no sedimento do Ambiente Dulcícola durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 68,9% da variabilidade total dos dados. A ordenação gerada pela PCA mostrou que a toxicidade no sedimento do Ambiente Dulcícola está associada ao ponto amostral RDO-13 e aos metais Cd e Hg.

Figura 66: 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

RDO-11	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RGU-01	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RDO-13	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RDO-16	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RDO-10	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RMH-01	Água	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sedimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Os ensaios de toxicidade, sumarizados no Índice de Toxicidade, indicam um leve aumento na toxicidade das matrizes amostradas no Rio Doce (RDO-10, RDO-11, RDO-13 e RDO-16). Nas Campanhas 8 (set/out 2022 - período seco) e 9 (jan/fev 2023 - período chuvoso), é possível observar um aumento progressivo na toxicidade das amostras do Rio Doce em comparação com a Campanha 7 e sua predecessora, a Campanha 6, especialmente no que diz respeito às amostras de sedimento, que foram classificadas como "Levemente tóxicas". É importante notar que o afluente avaliado na Campanha 9 (Rio Manhuaçu: RMH-01) também apresentou uma classificação de "levemente tóxica" para ambas as matrizes investigadas. Apesar de algumas amostras de água (RDO-10 e RDO-11) e sedimento (RDO-13) no Rio Doce terem recebido uma classificação de "Não tóxica", o comportamento das demais matrizes e pontos indica um aumento na toxicidade das amostras na malha do Rio Doce.

As PCAs, evidenciaram que a toxicidade observada esteve predominantemente relacionada ao ponto de amostragem na calha do Rio Doce em Baixo Guandu (RDO-11) para a matriz de água nas Campanhas 8 e 9. No que diz respeito ao sedimento, a associação principal ocorreu na porção estuarina do Rio Doce (RDO-16) durante as Campanhas 7 e 8, e na calha do Rio Doce em Colatina (RDO-13) na Campanha 9. É relevante destacar que diferentes metais foram identificados como correlacionados à toxicidade nesses pontos em cada uma das Campanhas, o que sugere uma complexa interação entre os contaminantes e os padrões de toxicidade observados.

3 REFERÊNCIAS

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.