

**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: Limnologia**

**RT- 52/ OUT 25**

**RSE2025 PMBA/FEST-UFES**

Vitória,

Outubro de 2025

## **EQUIPE TÉCNICA**

Gilberto Fonseca Barroso (coordenador)

Eline Nayara Dantas da Costa

Roger Carvalho da Silva

Fernando Henrique Lemos

Júlia de Almeida Leite

Felicidade Porto Lobianco

Debora Gonçalves Barbosa

Emanuele Correa Santos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>6</b>
2.1	COLETA .....	6
2.2	ANÁLISE.....	8
2.3	HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS.....	11
<b>3</b>	<b>RESULTADOS DOS INDICADORES .....</b>	<b>11</b>
3.1	CLARIDADE DA ÁGUA.....	12
3.2	ACIDEZ/ ALCALINIDADE .....	14
3.3	ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA DOS ECOSSISTEMAS LACUSTRES .....	16
3.4	CONDIÇÃO OXIDANTE/REDUTORA DA COLUNA D'ÁGUA.....	17
3.5	FLUXOS DE NUTRIENTES .....	18
3.6	ESTADO TRÓFICO .....	20
3.7	TESTEMUNHO DE SEDIMENTOS EM LAGOS E LAGOAS .....	21
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO .....</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>

## 1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

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

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

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

Quadro 1. Histórico da nomenclatura da malha do dulcícola integrado. As estações em negrito são aquelas vigentes no âmbito da Deliberação 803/2024.

Setores	Nome da estação	Código Original	Código Atual (Deliberação 803/24*)	Abrangência Temporal
Lagoas	<b>Lagoa do Areal</b>	<b>E24</b>	<b>LAL 01</b>	<b>setembro/18 a março/25***</b>
	Lagoa do Areal	E24L **	N/A	agosto/22 a setembro/24
	Laguna Monsarás	E25a	N/A	outubro/18 a julho/22
	<b>Laguna Monsarás</b>	<b>E25</b>	<b>LMN 02R</b>	<b>outubro/18 a março/25***</b>
	Laguna Monsarás	E25L **	N/A	agosto/22 a setembro/24
	<b>Lagoa Cacimbas</b>	<b>E27</b>	<b>E27</b>	<b>agosto/22 a março/25***</b>
	Lagoa Cacimbas	E27L **	N/A	agosto/22 a setembro/24
	Lagoa Areão	E23	N/A	outubro/18 a setembro/19
Lagos	<b>Lago do Limão/ColatinaES</b>	<b>E18</b>	<b>LLM 03R</b>	<b>outubro/18 a julho/22 outubro/24 a março/25***</b>
	<b>Lago Nova</b>	<b>E19</b>	<b>LVN 02R</b>	<b>outubro/18 a março/25***</b>
	Lago Nova	E19L **	N/A	agosto/22 a setembro/24
	Lago Juparanã	E20	N/A	outubro/18 a setembro/24
	Lago Juparanã	E20L **	N/A	agosto/22 a setembro/24
	Lago Palmas	E28	N/A	agosto/22 a setembro/24
	Lago Palmas	E28L **	N/A	agosto/22 a setembro/24
Reservatórios	Calha Rio Doce – Reservatório UHE Aimorés/Aimorés-MG	ERA	N/A	agosto/22 a setembro/24
	<b>Calha Rio Doce – Reservatório UHE Aimorés/Aimorés-MG</b>	<b>N/A</b>	<b>UHE AIM</b>	<b>outubro/24 a março/25***</b>
	<b>Reservatório de Mascarenhas</b>	<b>ERM</b>	<b>UHE MAS</b>	<b>agosto/22 a março/25***</b>
Calha	<b>Calha Rio Doce – Montante do reservatório UHE Mascarenhas/Baixo Guandu-ES</b>	<b>N/A</b>	<b>RDO 11</b>	<b>outubro/24 a março/25***</b>
	<b>Calha Rio Doce/Colatina-ES</b>	<b>N/A</b>	<b>RDO 12</b>	<b>outubro/24 a março/25***</b>
	<b>Calha Rio Doce/Marilândia-ES</b>	<b>N/A</b>	<b>RDO 14</b>	<b>outubro/24 a março/25***</b>
	<b>Calha Rio Doce/Linhares-ES</b>	<b>E21</b>	<b>RDO 15</b>	<b>outubro/18 a março/25***</b>
	Itapina	E0	N/A	outubro/18 a setembro/24
	Resplendor	E0a	N/A	agosto/22 a setembro/24
	Povoação	E22	N/A	outubro/18 a julho/22
Foz	Calha Rio Doce/Foz – Regência-ES	E26f	N/A	agosto/22 a setembro/24
	<b>Calha Rio Doce/Foz – Regência-ES</b>	<b>E26</b>	<b>RDO 16</b>	<b>outubro/18 a março/25***</b>
Tributários	<b>Rio Guandu/Trecho baixo</b>	<b>N/A</b>	<b>RGU 02</b>	<b>outubro/24 a março/25***</b>
	Guandú	E17	N/A	outubro/18 a julho/22
	<b>Rio Manhuaçu/AimorésMG</b>	<b>N/A</b>	<b>RMH 01</b>	<b>outubro/24 a março/25***</b>
	Rio Manhuaçu/AimorésMG	E2	N/A	agosto/22 a setembro/24
* Vigência da Deliberação nº 803: a partir de outubro de 2024 (em curso)				
** Estações litorâneas que foram monitoradas pelos seguintes Temas: Mineralogia, Limnologia e Qualidade de água e do sedimento				
***Março/2025 refere-se ao último período de dados coletados com resultados reportados no presente relatório (RSE2025).				

## 2 METODOLOGIA

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

### 2.1 COLETA

De agosto de 2022 até setembro de 2024 as amostragens foram realizadas na malha amostral com cinco estações na calha fluvial do rio Doce (E0a, E0, E21, E26 e E26f), no rio tributário (rio Manhuaçu, E2), em três lagos, com profundidade média superior a 3,0 m (Lagos Nova – E19, Juparanã – E20 e Palmas E28) e em três lagoas, com profundidade média inferior a 3,0 m (Lagoas Areal - E24, Monsarás – E25 e Cacimbas E27). Também, foram estabelecidas estações amostrais nas represas Aimorés – ERA e Mascarenhas – ERM com localização na região mais próxima das barragens, respeitando a zona de segurança para navegação nos reservatórios. Não há amostragem na zona litorânea das represas.

A estação amostral do rio Guandú (E17) havia sido descontinuada devido aos elevados valores de material particulado em suspensão e turbidez que dificultam o uso dessa estação como ambiente fluvial de referência. Em substituição foi incluído o rio Manhuaçu (E2). Na calha fluvial do rio Doce as estações amostrais haviam sido ampliadas para cinco, sendo implementada uma estação à montante da represa de Aimorés (rio Doce em Resplendor, MG - E0a) para servir como referência ao material carreado pelo rio antes da potencial retenção de materiais pelas represas (Aimorés e Mascarenhas). À jusante das barragens, o monitoramento foi desenvolvido na estação de Itapina, Colatina/ES - E0, que serviu como comparação para as condições da estação de Resplendor. A próxima estação à jusante é Linhares – E21, que é monitorada desde outubro de 2018, servindo como referência para estimativa dos fluxos hidrológicos de sedimentos, nutrientes e metais. A estação E-22, intermediária entre Linhares – E21 e Regência – E26, havia sido descontinuada devido às dificuldades de acessibilidade durante o período de baixa vazão fluvial e os impedimentos de navegação, devido aos extensos bancos de areia na calha do rio Doce. A estação de Regência – E26 continua em monitoramento desde outubro de 2018. Uma nova estação amostral foi estabelecida em área de remanso próximo da desembocadura do rio Doce no mar (E26F). Essa estação está sujeita à intrusão da cunha salina e, portanto, foi considerada um importante sítio para dissolução e precipitação de elementos químicos dissolvidos na água, além de possibilitar a deposição de sedimentos finos.

Em relação aos ecossistemas lacustres, devido a impedimentos para acesso à propriedade, a estação da Lagoa Areão - E23 havia sido descontinuada a partir de setembro de 2019. Em substituição a Lagoa

Areão, foi inserida a Lagoa Cacimbas (E27), localizada a cerca de 5 km a oeste da Vila de Regência. A Lagoa Monsarás é monitorada desde outubro de 2018, porém, a estação E25a no canal de conexão entre as Lagoas do Martins e Monsarás foi descontinuada. Quanto aos lagos, a partir de agosto de 2022 a estação do Lago Limão– E18 foi descontinuada e substituída pela estação E28 no Lago Palmas que, também, foi descontinuada a partir de outubro de 2024. O Lago Palmas, embora também tenha conexão fluvial com o rio Doce por córrego de drenagem, é bastante profundo ( $Z_{\text{máx}} = 50,0\text{m}$  e  $Z_{\text{méd}} = 21,4\text{m}$ ) e, portanto, representa um importante ecossistema de referência, sobretudo pela considerável extensão da coluna d'água e condições favoráveis para deposição de sedimentos no fundo da bacia lacustre (Barroso *et al.*, 2014).

De agosto de 2022 a setembro de 2024 a zona litorânea dos lagos e lagoas vinha sendo amostrada em profundidade de meia água, bem como o compartimento de sedimentos. A amostragem na zona litorânea deve-se as condições de menor profundidade, coluna d'água potencialmente toda iluminada e proximidade do sedimento, promovendo um ambiente físico e químico distinto para as comunidades de macrófitas aquáticas, perifíton e zooplâncton.

A partir de outubro de 2024 as amostragens foram realizadas na malha amostral referente a Deliberação CIF nº 803, de 08 de agosto de 2024, com pontos de coleta distribuídos em seis setores: Tributários - rio Manhuaçu (RMH 01), rio Guandú (RGU 02); Calha do rio Doce – Baixo Guandú (RDO 11), Itapina - Colatina (RDO 12), Marilândia (RDO 14); Linhares (RDO 15); Foz do rio Doce – Regência (RDO 16); Reservatórios - Reservatório de Aimorés (UHE AIM) e Reservatório de Mascarenhas (UHE MAS); Lagos - Lago do Limão (LLM 03R), Lago Nova (LNV 02R); Lagoas - Lagoa do Areal (LAL 01), Laguna Monsarás (LMN 02R) e Lagoa Cacimbas (E27). É importante ressaltar que nessa fase do monitoramento as estações E0a, E26F, E20, E20L, E28, E28L, assim como, a região litorânea (L) dos lagos e lagoas foram descontinuadas. A estação E27 permaneceu com essa nomenclatura por compatibilidade de coordenadas entre as malhas do Novo Ciclo e a malha do período referente a Deliberação CIF nº 803.

As amostras de água foram coletadas com garrafa conversível de Niskin (2,8 L), montada na posição horizontal nas amostragens em sistema fluviais e na vertical em sistemas lacustres. Nos lagos a amostragem é realizada em três profundidades: subsuperfície, 1% da radiação fotossintética ativa – RFA e a um metro do fundo. O sedimento é coletado com draga de Ekman, em ecossistemas lacustres com sedimento lamoso, e draga de Van Veen em sedimentos arenoso nos ambientes fluviais e na Lagoa de Monsarás. Nas amostragens da calha do rio Doce, durante as condições de elevada vazão fluvial, têm sido utilizados amostradores com pesos extras para minimizar a deriva dos equipamentos pela correnteza.

Em cada amostragem foram feitos registros *in situ* de parâmetros físicos (temperatura em °C e turbidez em UNT) e físico-químicos (pH, condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , oxigênio dissolvido em mg/L e potencial de oxidação em mV) da coluna d'água com a sonda YSI Exo-2 previamente calibrada. O registro *in situ* do pH e condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) do sedimento foi feito com sondas portáteis



Hanna Instruments, imediatamente à coleta do sedimento e na camada superficial do sedimento com a menor interferência possível na amostra.

Nos ecossistemas lacustres foi registrada a transparência da coluna d'água (m) com o disco de Secchi e a profundidade de 1% de radiação fotossintética ativa (RFA) determinada pelo produto da transparência pelo coeficiente de 2,7 conforme Cole (1994).

Ao final do dia de amostragem, as amostras, devidamente acondicionadas em frascaria própria e previamente descontaminada e etiquetada, são transportadas em *coolers* com gelo para o Laboratório de Limnologia e Planejamento Amostral – LimnoLab da Universidade Federal do Espírito Santo em Vitória (ES), onde são processadas.

Em agosto de 2019 (entre o período seco e chuvoso), foram feitas coletas de testemunhos de sedimento em cada um dos lagos e lagoas. As amostragens foram feitas com o coletor *hammer corer* Uwitec com tubos de 120 cm de comprimento e 8 cm de diâmetro interno (Figura 1A). Os testemunhos de sedimento foram fatiados ainda em campo com intervalos de 1,0 cm de 0 a 10 cm de profundidade, a cada 2,0 cm entre 10 e 30 cm e a cada 5 cm a partir de 30 cm.

Figura 1: Coleta e processamento dos testemunhos de sedimento nos lagos e lagoas do Baixo rio Doce. A) coleta com o amostrador Uwitec hammer corer; B) fracionamento de testemunho de sedimento do Lago Nova; C e D) fracionamento de testemunho de sedimento do Lago Juparanã.



## 2.2 ANÁLISE

Para as amostras da coluna d'água, foram considerados os seguintes parâmetros: material particulado em suspensão - MPS em mg/L determinado pelo método gravimétrico com filtração da água em



membranas de acetato de celulose com porosidade de 0,45 µm (APHA, 2005); alcalinidade total em mg de CaCO<sub>3</sub>/L por titulação com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluído (APHA, 2005), *Clorofila-a* em µg/L por fluorimetria, após filtração em filtros de fibra de vidro 0,7 µm e extração em acetona 90% (APHA, 2005); fósforo total e nitrogênio total em µg/L após digestão simultânea com persulfato de potássio e determinação de fosfato e nitrito, respectivamente (APHA, 2005); nutrientes inorgânicos dissolvidos silicato (reação silicomolibdico), fosfato (reação fosfomolibdico), nitrato (redução em coluna de cádmio), nitrito (reação diazotização) e íon amônio (reação salicilato) foram determinados em µg/L por espectrofotometria em sistema de análise segmentada em fluxo contínuo SEAL AutoAnalyzer3 High Resolution - AA3HR Seal Analytics (APHA, 2017).

O Índice de Estado Trófico dos rios e ecossistemas lacustres é composto pelo IET para o fósforo – IET(PT) e IET para a *Clorofila-a* – IET(CL), modificados por Lamparelli (2004), sendo estabelecidos para ambientes lóticos, determinados segundo as equações:

- Rios:

$$IET (CL) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{-0,7 - 0,6 \times (in CL)}{\ln 2} \right) \right) - 20 \quad \text{Equação 1}$$

$$IET (PT) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{-0,42 - 0,36 \times (in CL)}{\ln 2} \right) \right) - 20 \quad \text{Equação 2}$$

- Reservatórios:

$$IET (CL) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{-0,92 - 0,34 \times (in CL)}{\ln 2} \right) \right) \quad \text{Equação 3}$$

$$IET (PT) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{-1,77 - 0,42 \times (in PT)}{\ln 2} \right) \right) \quad \text{Equação 4}$$

Onde, PT é a concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L; CL é concentração de *Clorofila-a* medida à superfície da água, em µg/L; ln: logaritmo natural. Nos meses em que estejam disponíveis dados de ambas variáveis, o resultado será a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a *Clorofila-a* (equação 5):

$$IET = \frac{[IET (PT) + IET (CL)]}{2} \quad \text{Equação 5}$$

Na interpretação dos resultados, os pontos serão classificados conforme os resultados obtidos para o IET anual. Assim, para cada ponto, serão utilizadas as médias geométricas das concentrações de fósforo total e *Clorofila-a* para cálculo do IET(PT) e IET(CL) anual, sendo o IET final resultante da média aritmética simples dos índices anuais relativos ao fósforo total e a *clorofila-a*. Desta forma, os ecossistemas lacustres serão posteriormente classificados de acordo com Índice de Carlson (1977)

(modificado) para rios e reservatórios nas classes  $IET \leq 47$  (ultraoligotrófico);  $47 < IET \leq 52$  (oligotrófico);  $52 < IET \leq 59$  (mesotrófico);  $59 < IET \leq 63$  (eutrófico);  $63 < IET \leq 67$  (supereutrófico) e  $IET > 67$  (hipereutrófico).

A Resistência Térmica Relativa Integrada (RTRi) dos lagos e lagoas foi calculada por meio da equação 6 (Song *et al.*, 2013):

$$RTRi = \sum \frac{(d2 - d1) \times 10^6}{8} \quad \text{Equação 6}$$

Onde, d1: densidade da água no estrato 1 (mais superficial); d2: densidade da água no estrato 2 (mais profundo); 8: representa a diferença de densidade da água nas temperaturas de 4°C (i.e., densidade máxima da água) e 5°C, ou seja 0,000008g/cm<sup>3</sup>. Assim, o padrão térmico foi classificado seguindo as categorias: desestratificado (RTRi < 10), moderadamente estratificado (RTRi: 10 a 100) e fortemente estratificado (RTRi > 100). Os dados foram transformados em Log para melhor visualização gráfica entre os ambientes.

Para calcular o fluxo de nutrientes do rio Doce é utilizada a vazão diária (m<sup>3</sup>/s) da estação E21. As medições de vazão foram realizadas em transecto transversal à calha fluvial, com ADCP acoplado à embarcação. No início e no final de cada transecto, foi registrada a altura do nível da água do rio por meio do linígrafo fundeado, para medição de nível e computo da curva de permanência da vazão fluvial. Os dados serão processados no software WinRiver II da RD Instruments.

O fluxo de nutrientes (t/d) foi calculado por meio do produto entre a vazão e as concentrações (µg/L) de Ptotal, ortofosfato, Ntotal, Nitrito, Nitrato, Amônio e silicato (mg/L; Equação 7). Onde Q é a vazão em m<sup>3</sup>/s e Ci é concentração em mg/L.

$$F = \left( \frac{(Q * Ci * 86400)}{1,000,000} \right) \quad \text{Equação 7}$$

No sedimento foram determinados os parâmetros físicos densidade (kg/m<sup>3</sup>), granulometria (classes de cascalho < 2,0 mm, areia de 0,06 a 2,0 mm e lama < 0,06 mm), fração orgânica (%) por perda por ignição (500 °C por 4 horas) (Håkanson & Jansson, 1983) e hidroquímicos fósforo total (µg/g) por digestão com persulfato de potássio, fosfato na água intersticial em (µg/L) (reação fosfomolibdico) e extração sequencial de fósforo (mg/g) em P-trocável, P-amorfo, P-cristalino P-hidroxiapatita, P-carbonático, P-detrital e P-orgânico, conforme método espectrofotométrico descrito por Anschutz & Deborde (2016).

Para análise dos testemunhos de sedimento dos ambientes lacustres, foram analisadas a granulometria em %, a mineralogia em %, a matéria orgânica em % e o conteúdo de metais em mg/kg no perfil de sedimento, assim como a datação baseada nas taxas de sedimentação no perfil de sedimento.

O índice de Enriquecimento (IE) foi usado para avaliar a contribuição de cargas de sedimento natural/antrópica e suas distribuições. Para cada metal, o IF foi calculado pela equação 8:

$$IE = \frac{(M/Y)_{amostra}}{(M/Y)_{background}} \quad \text{Equação 8}$$

Onde,  $(M/Y)_{amostra}$  é a razão entre a concentração de um dado metal na amostra e a concentração de do metal de referência;  $(M/Y)_{background}$  é a razão entre a concentração do metal em avaliação e a concentração do metal normalizador na concentração de referência da crosta terrestre. O cobalto foi utilizado como metal normalizador neste estudo, pois não foram observadas expressivas variações nos testemunhos entre os ecossistemas lacustres. A normalização com cobalto no cálculo do índice de enriquecimento tem sido utilizada como referência para avaliação da origem antropogênica de metais traço em sedimentos de ecossistemas aquáticos (Sakan *et al.* 2015). Para o cálculo do IE, o valor de referência utilizado foi o da porção superior da crosta terrestre em Wedepohl (1995). Posteriormente, foram atribuídas categorias para os índices de enriquecimento descritos por Birch (2003), onde (IE<1) - sem enriquecimento; (IE: 1-3) - baixo enriquecimento; (IE: 3 – 5) - enriquecimento moderado; (IE: 5 – 10) enriquecimento moderadamente severo; (IE: 10 – 25) - enriquecimento severo.

### 2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

Não houve alterações metodológicas.

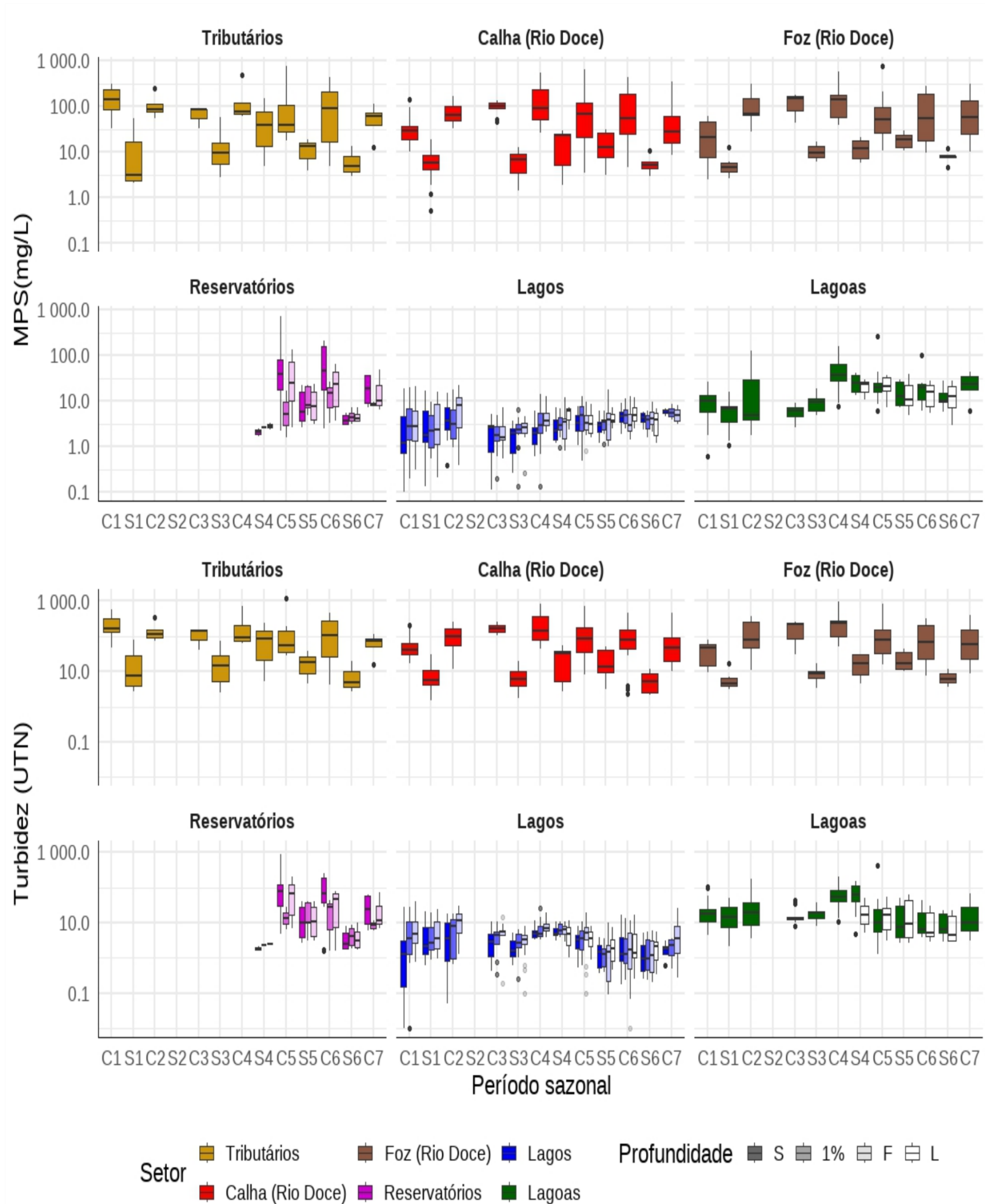
## 3 RESULTADOS DOS INDICADORES

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

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

### 3.1 CLARIDADE DA ÁGUA

Figura 2: Matriz – água. Período amostral de outubro/2018 a março/2025. Gráficos de Boxplots do indicador claridade da água com log material particulado em suspensão – MPS (mg/L) e Turbidez (UNT). Variação sazonal e anual do MPS e Turbidez nos setores: Tributários, Calha do rio Doce, Foz do rio Doce, Reservatórios, Lagos e Lagoas. C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1 (outubro 2018 a setembro de 2019); C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2 (outubro 2019 a setembro de 2020); C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3 (outubro 2020 a setembro de 2021); C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4 (outubro 2021 a setembro de 2022); C5 e S5 = Períodos chuvoso e seco do Ano 5 (outubro 2022 a setembro de 2023); C6 e S6 = Períodos chuvoso e seco do Ano 6 (outubro 2023 a setembro de 2024) e C7= Período chuvoso do Ano 7 (outubro de 2024 a março de 2025). A lacuna de dados entre março/2020 e novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19. O tempo de monitoramento difere entre as estações, conforme o Quadro 1.



No setor Tributários foram observadas as maiores concentrações de MPS e Turbidez, com destaque para períodos chuvosos principalmente no Ano 1 (C1) e Ano 6 (C6), o que é condizente com o aumento do carreamento de sedimentos por escoamento superficial (Figura 2). Nesse caso, foram observadas diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso (Mann Whitney  $p < 0.05$ ). A variação entre os anos foi significativa (Kruskall Wallis,  $p < 0.05$ ).

No setor Calha do rio Doce, os maiores valores de MPS e turbidez foram registrados no período chuvoso, com diferenças significativas entre os períodos (Mann Whitney  $p < 0.05$ ) (Figura 2). A variação das concentrações de MPS e turbidez ao longo dos anos ocorre conforme a vazão do rio Doce. O MPS e a turbidez apresentam forte correlação positiva com a vazão, com  $p = 0,81$  e  $0,76$ , respectivamente (Spearman  $p < 0,05$ ). Nos períodos de alta vazão, as concentrações de turbidez ultrapassam o limite máximo admissível para Classe 2 da Resolução CONAMA N. 357 de 2005 - 100 UNT. Tal fato ocorreu no último período chuvoso, do Ano 7 (C7), com máximos de turbidez de 463,91 UTN e 118,8 UTN nas estações amostrais RDO14 e RDO15, respectivamente. Porém, nota-se uma tendência decrescente de MPS e turbidez ao longo dos anos, especialmente após o período chuvoso do Ano 3 (C3) com diferenças significativas entre os anos (Kruskall Wallis,  $p < 0.05$ ).

No setor Foz do rio Doce, as concentrações de MPS e turbidez tendem a ser semelhantes ao setor Calha do rio Doce, com diferenças significativas entre os períodos secos e chuvosos (Mann Whitney  $p < 0.05$ ) e valores de turbidez acima de 100 UNT (RDO16 = 410,2 UNT) (Figura 2). Porém, as variações têm menor amplitude ao longo do monitoramento, sem diferenças significativas entre os anos (Kruskall Wallis,  $p < 0.05$ ). O material ressuspensionado na área defronte à foz do rio Doce pode adentrar no setor fluvial inferior da calha do rio Doce durante o período de baixa vazão fluvial e maré enchente, influenciando a estação RDO15.

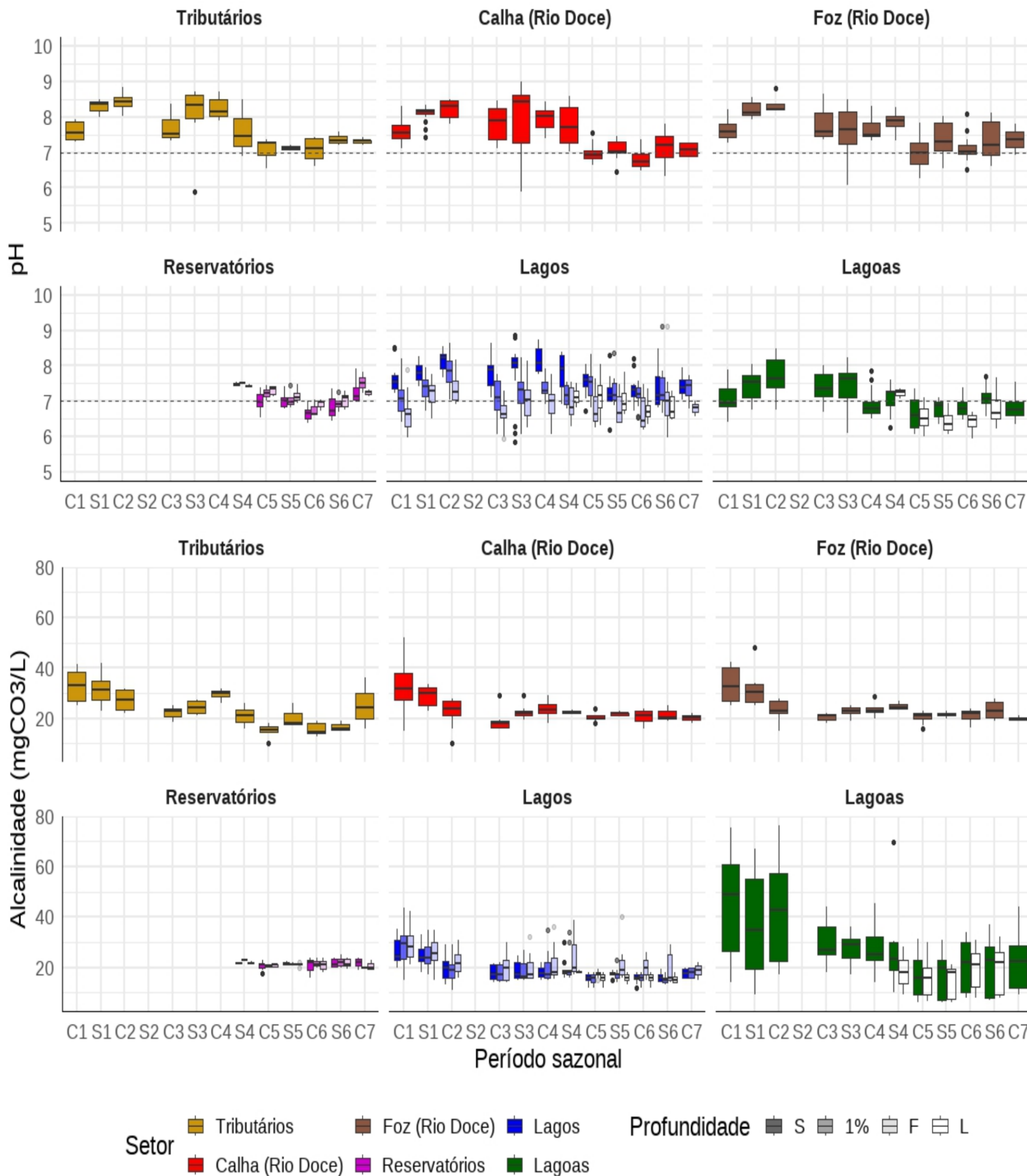
No setor Reservatórios não foram observadas variações entre os anos de monitoramento para o indicador claridade da água - MPS e turbidez (Kruskall Wallis,  $p < 0.05$ ) (Figura 2). Porém, são observadas diferenças significativas entre os períodos secos e chuvosos, principalmente na superfície com valores maiores nos períodos chuvosos (Mann Whitney  $p < 0.05$ ). A claridade da água foi menor no período chuvoso do Ano 7 (C7) em relação ao último período chuvoso (C6).

Nos setores Lagos e Lagoas foi observada uma tendência de aumento do MPS ao longo dos anos de monitoramento com diferenças significativas (Kruskall Wallis,  $p < 0.05$ ) (Figura 2). Nos lagos, ambos parâmetros (MPS e turbidez) foram significativamente diferentes entre os períodos secos e chuvosos (Mann Whitney  $p < 0.05$ ). Mas nas lagoas, apesar das maiores concentrações e variações, a turbidez não apresentou diferença significativa entre os períodos (Mann Whitney  $p < 0.05$ ). A claridade da água foi menor no período chuvoso do Ano 7 (C7) em relação ao último período chuvoso (C6).



### 3.2 ACIDEZ/ ALCALINIDADE

Figura 3: Matriz – água. Período amostral outubro/2018 a março/2025. Gráficos de Boxplots do indicador acidez/alkalinidade: Potencial hidrogeniônico – pH e Alcalinidade Total (mg CaCO<sub>3</sub> mg/L). Variação sazonal e anual do MPS e Turbidez nos setores: Tributários; Calha do rio Doce, Foz do rio Doce, Reservatórios, Lagos e Lagoas. C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1 (outubro 2018 a setembro de 2019); C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2 (outubro 2019 a setembro de 2020); C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3 (outubro 2020 a setembro de 2021); C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4 (outubro 2021 a setembro de 2022); C5 e S5 = Períodos chuvoso e seco do Ano 5 (outubro 2022 a setembro de 2023); C6 e S6= Períodos chuvoso e seco do Ano 6 (outubro 2023 a setembro de 2024) e C7= Período chuvoso do Ano 7 (outubro de 2024 a março de 2025). A lacuna de dados entre março/2020 e novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19. O tempo de monitoramento difere entre as estações, conforme o Quadro 1.



Nos setores Tributários, Calha do rio Doce e Foz do rio Doce, os valores de pH variaram entre próximo a neutralidade e levemente alcalinos (medianas entre 6,5 e 8,5) (Figura 3). Apesar de ter sido observado um aumento do pH no período chuvoso do Ano 7 (C7) em relação ao período chuvoso do Ano 6 (C6), tanto o pH quanto a alcalinidade apresentam tendências de redução ao longo dos anos com diferenças significativas (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). Assim, as estações amostrais dos setores citados estão se tornando mais ácidas e menos alcalinas com o passar dos anos. Apenas no setor Calha do rio Doce foram observadas diferenças significativas entre as estações para pH e alcalinidade, assim como, no setor Foz do rio Doce para a alcalinidade (Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ).

No setor Reservatórios, apesar da tendência de diminuição ao longo do monitoramento com diferenças significativas entre os anos (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ), o pH aumentou consideravelmente entre os períodos chuvosos do Ano 6 (C6) e Ano 7 (C7) (Figura 3). Observou-se que a superfície da coluna d'água é ligeiramente mais ácida que as demais profundidades (Figura 3). A alcalinidade não variou destacadamente entre as profundidades, nem em relação aos anos, porém, diferentemente do pH, apresentou diferenças significativas entre as estações (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ).

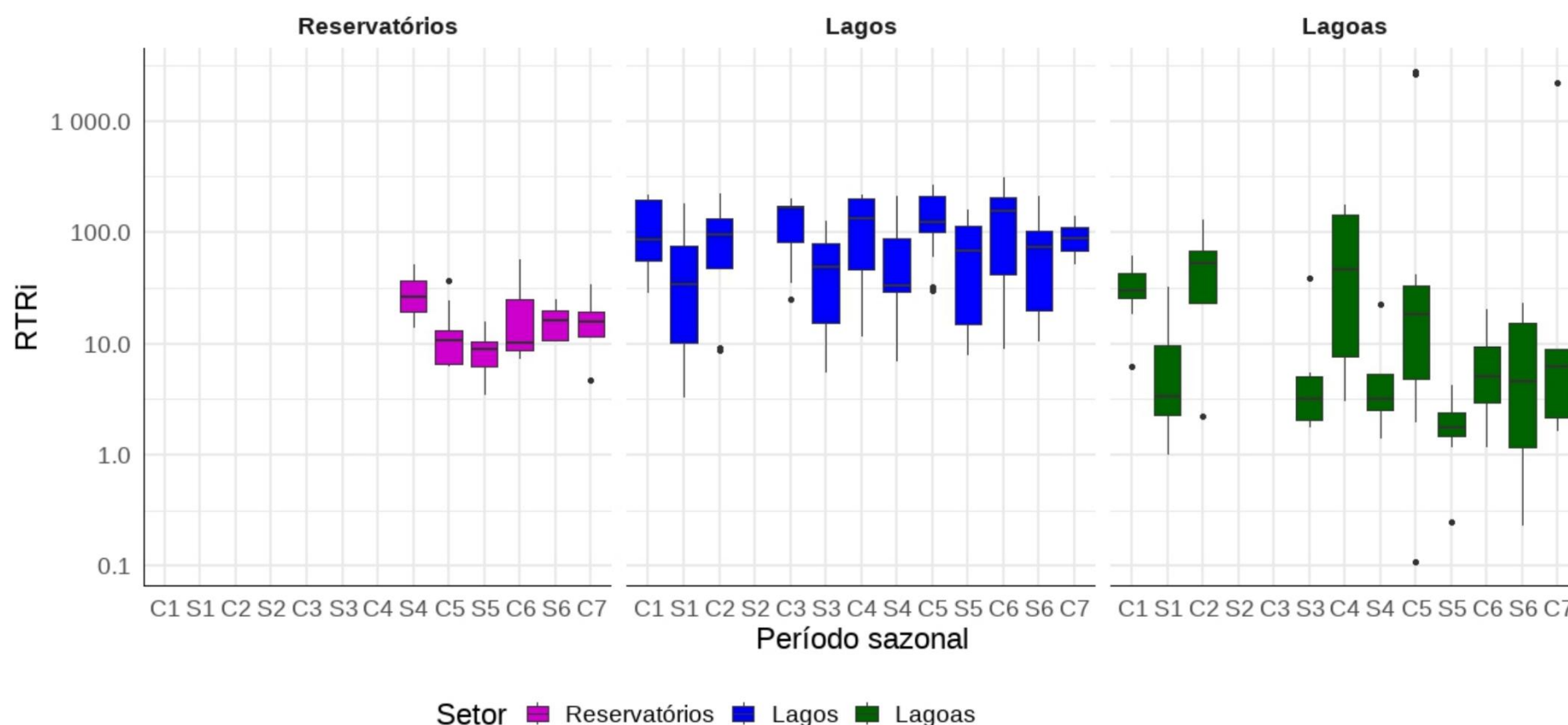
No setor Lagos, o pH manteve-se alcalino (7,0 a 7,5) com maior acidez no fundo da coluna d'água (Figura 3). No período chuvoso do Ano 7 (C7), foi observado que o fundo (F) apresentou menor acidez que a superfície. O pH e a alcalinidade apresentam tendências a diminuição ao longo do monitoramento com diferenças significativas entre os anos (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). Apenas o pH apresentou diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ). O pH está relacionado a disponibilidade de  $H^+$ , enquanto a alcalinidade reflete a capacidade tampão do ambiente (Wetzel e Likens, 2000). Apesar de estarem intimamente relacionados, o pH e a alcalinidade podem receber influências diferentes (Shashi *et al.*, 2009). Isso se justifica devido ao processo respiratório de bactérias heterotróficas no fundo da coluna d'água, onde também ocorre a redução do  $CO_2$  em  $CH_4$  e  $SO_4^-$  em  $H_2S$  e  $S^0$  (Wetzel e Likens, 2000). Os processos de redução liberam compostos alcalinizantes que incrementam a alcalinidade, apesar do pH tendendo a condições ligeiramente ácidas.

No setor Lagoas, o pH e alcalinidade também diminuíram ao longo do monitoramento, tornando-se mais ácidas e menos alcalinas com diferenças significativas entre os anos (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) (Figura 3). Apenas o pH variou entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ) com valores mais ácidos durante os períodos chuvosos.



### 3.3 ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA DOS ECOSISTEMAS LACUSTRES

Figura 4: Matriz – água. Período amostral de outubro/2018 a março/2025. Gráficos de Boxplots do indicador Estratificação Térmica dos ecossistemas Lacustres: Resistência térmica relativa integrada – RTRi (Log10). Variação sazonal e anual do RTRi nos setores: Reservatórios, Lagos e Lagoas. C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1 (outubro 2018 a setembro de 2019); C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2 (outubro 2019 a setembro de 2020); C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3 (outubro 2020 a setembro de 2021); C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4 (outubro 2021 a setembro de 2022); C5 e S5 = Períodos chuvoso e seco do Ano 5 (outubro 2022 a setembro de 2023); C6 e S6= Períodos chuvoso e seco do Ano 6 (outubro 2023 a setembro de 2024) e C7= Período chuvoso do Ano 7 (outubro de 2024 a março de 2025). A lacuna de dados entre março/2020 e novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19. O tempo de monitoramento difere entre as estações, conforme o Quadro 1.



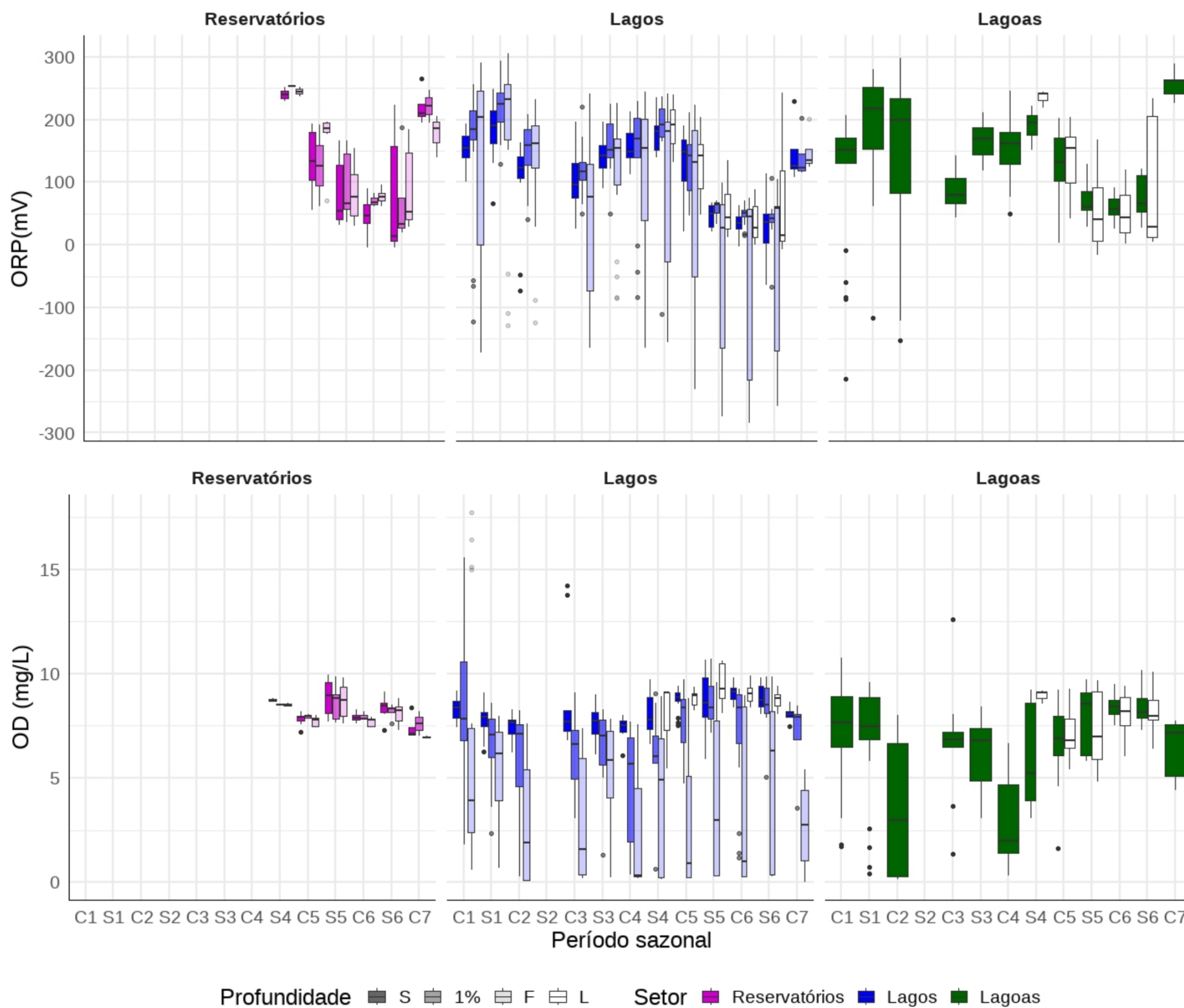
No setor Reservatórios, a estratificação térmica é considerada fraca, com RTRi médio de  $15,9 \pm 12,3$ , sem diferença estatística entre os anos (Kruskall-Wallis,  $p < 0,05$ ) e entre os períodos secos e chuvosos (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ; Figura 4). A condição de desestratificação térmica da coluna d'água deve-se ao baixo tempo de retenção da água nos reservatórios, sobretudo em Mascarenhas que é um reservatório do tipo fio d'água com correntes longitudinais rápidas (Straskraba & Tundisi, 2000).

No setor Lagos, a estratificação térmica é significativa, com RTRi médio de  $99,8 \pm 76,20$ , com diferentes intensidades entre as estações amostrais (Figura 4). O período de estratificação térmica ocorre principalmente entre outubro e abril, com mistura da coluna d'água no outono – inverno (Barroso *et al.*, 2014; Gonçalves *et al.*, 2016). Os padrões de estratificação acontecem em decorrência das diferentes profundidades e morfometrias da bacia lacustre, que podem contribuir para o aumento da área da superfície exposta ao vento (Relatório Anual, 2023). Ao longo dos anos de monitoramento, os valores da RTRi nos lagos variaram significativamente entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ), com máximas observadas durante o período chuvoso e mínimas nos períodos seco (Figura 4). Os valores apresentam tendência de aumento ao longo do monitoramento, com diferenças significativas entre os anos (Kruskall-Wallis,  $p < 0,05$ ).

O RTRi das lagoas indica ambientes com condição predominantemente desestratificada (Figura 4), com a mediana de 5,6. O RTRi das lagoas é significativamente diferente entre os períodos (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ), com maiores valores registrados durante o período chuvoso. Observou-se tendência de aumento dos valores de RTRi entre os anos (Kruskall-Wallis,  $p < 0,05$ ).

### 3.4 CONDIÇÃO OXIDANTE/REDUTORA DA COLUNA D'ÁGUA

Figura 5: Matriz – água. Período amostral de outubro/2018 a março/2025. Gráficos de Boxplots do indicador Condição oxidante/redutora da coluna d'água: Potencial redox - ORP (mV) e Oxigênio dissolvido – OD (mg/L). Variação sazonal e anual do ORP e OD nos setores: Reservatórios, Lagos e Lagoas. Profundidades para reservatório e lagos: S= superfície; 1% = 1% de Radiação Fotossintética Ativa, F= Fundo e L= Litoral (apenas para lagos e lagoas). C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1 (outubro 2018 a setembro de 2019); C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2 (outubro 2019 a setembro de 2020); C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3 (outubro 2020 a setembro de 2021); C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4 (outubro 2021 a setembro de 2022); C5 e S5 = Períodos chuvoso e seco do Ano 5 (outubro 2022 a setembro de 2023); C6 e S6= Períodos chuvoso e seco do Ano 6 (outubro 2023 a setembro de 2024) e C7= Período chuvoso do Ano 7 (outubro de 2024 a março de 2025). A lacuna de dados entre março/2020 e novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19. O tempo de monitoramento difere entre as estações, conforme o Quadro 1.



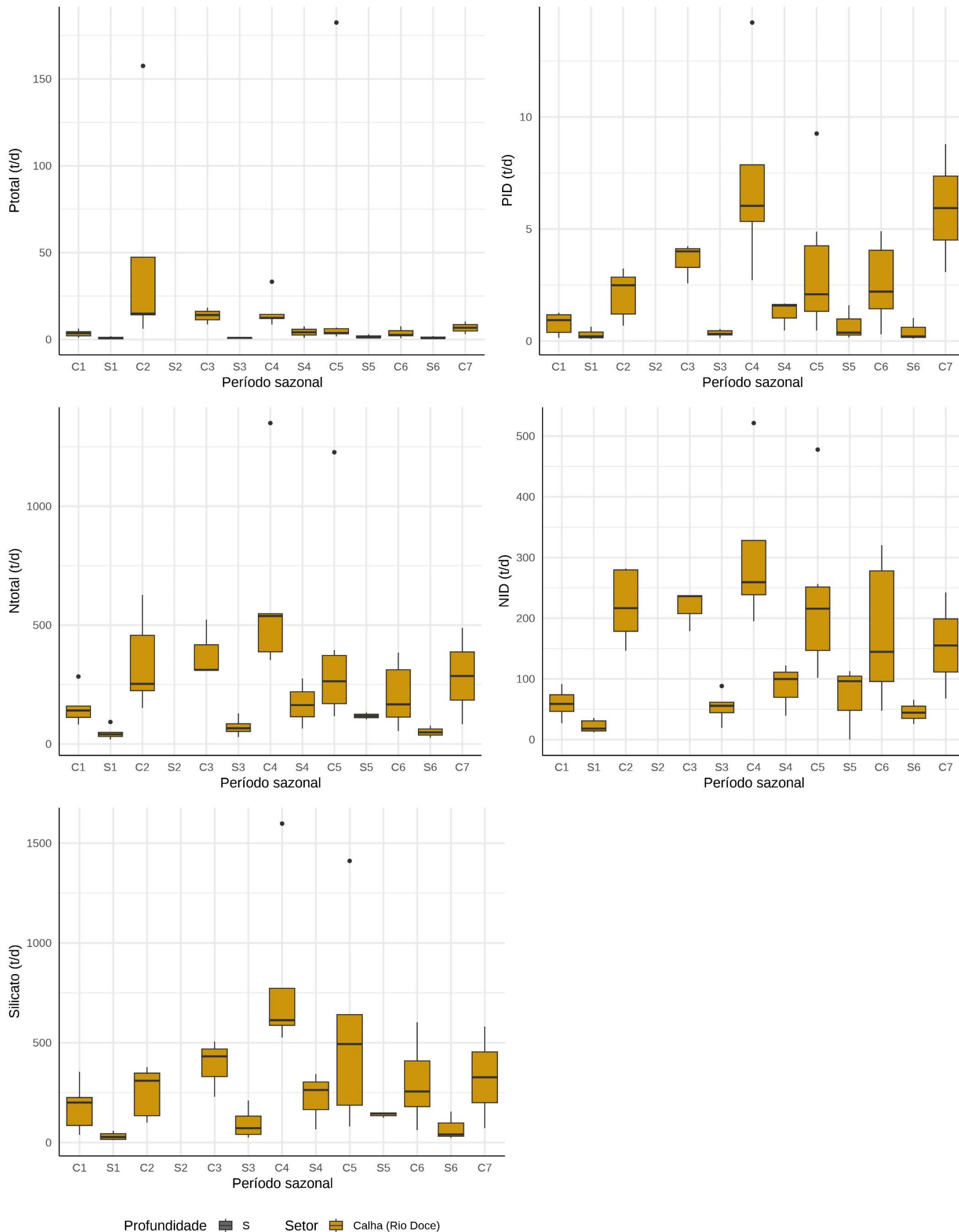
No setor Reservatórios, as condições da coluna d'água são predominantemente oxidantes (ORP positivo) e com condições moderadas de concentração de oxigênio dissolvido (OD) em torno de 8 mg/L da superfície para o fundo (Figura 5). Enquanto o OD não apresenta grande variação entre as profundidades da coluna d'água, o ORP no fundo da coluna d'água é maior que da superfície com diferenças significativas (Kruskall-Wallis,  $p < 0,05$ ). Apesar da tendência de diminuição do ORP e OD ao longo do monitoramento com diferenças significativas entre os anos (Kruskall-Wallis,  $p < 0,05$ ), foi observado um expressivo aumento do ORP no último período chuvoso do Ano 7 (C7).

No setor Lagos, ao longo do monitoramento foram observadas condições oxidantes no período seco e redutoras no período chuvoso (Mann-Whitney,  $p < 0,5$ , Figura 5). Sob condições redutoras ocorrem processos de dessorção de P, Fe, Al e Mn com a difusão destes elementos do sedimento para o fundo da coluna d'água (Mortimer, 1942; Mia *et al.*, 2006; Reid *et al.*, 2023). Apesar de ser observada uma diminuição significativa do potencial redox – ORP entre os anos (Kruskall-Wallis,  $p < 0,05$ ), indicando que o fundo destes lagos está se tornando mais redutor, no período chuvoso do Ano 7 não foram observadas condições redutoras. Com relação ao oxigênio dissolvido (OD), os lagos apresentam boa oxigenação com concentrações em torno de 8 mg/L na superfície e 7 mg/L em 1% de RFA sem diferença significativa entre os períodos secos e chuvosos (Mann-Whitney,  $p < 0,5$ ). O OD diminui significativamente com a profundidade (Kruskall-Wallis,  $p < 0,05$ ), chegando frequentemente a anoxia na camada do fundo. A anoxia ocorre principalmente no período chuvoso, sob condições de forte estratificação térmica. Contudo, em C7 não foram observadas condições anóxicas no fundo da coluna d'água (Figura 5).

Nas Lagoas, ao longo do monitoramento foram observadas condições oxidantes e anóxicas, durante o período chuvoso, com diferenças significativas (Mann-Whitney,  $p < 0,5$ ), porém, tal comportamento não foi observado no período chuvoso do Ano 7 (C7) (Figura 5). Apesar de ter sido observado um expressivo aumento tendência de diminuição da ORP com diferenças significativas entre os anos (Kruskall-Wallis,  $p < 0,05$ ), em C7 a ORP aumentou, enquanto o OD diminuiu.

### 3.5 FLUXOS DE NUTRIENTES

Figura 6: Matriz - água. Período amostral de outubro/2018 a março/2025. Gráficos de Boxplots do indicador do indicador fluxos de nutrientes: Fluxo de Fósforo total – Ptotal (t/d); Fluxo de Fósforo Inorgânico Dissolvido – PID (t/d); Fluxo de Nitrogênio Total – Ntotal (t/d); Fluxo de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido – NID (t/d); Fluxo de Silicato (t/d) no setor calha do rio Doce. C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1 (outubro 2018 a setembro de 2019); C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2 (outubro 2019 a setembro de 2020); C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3 (outubro 2020 a setembro de 2021); C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4 (outubro 2021 a setembro de 2022); C5 e S5 = Períodos chuvoso e seco do Ano 5 (outubro 2022 a setembro de 2023); C6 e S6= Períodos chuvoso e seco do Ano 6 (outubro 2023 a setembro de 2024) e C7= Período chuvoso do Ano 7 (outubro de 2024 a março de 2025). A lacuna de dados entre março/2020 e novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19. O tempo de monitoramento difere entre as estações, conforme o Quadro 1.



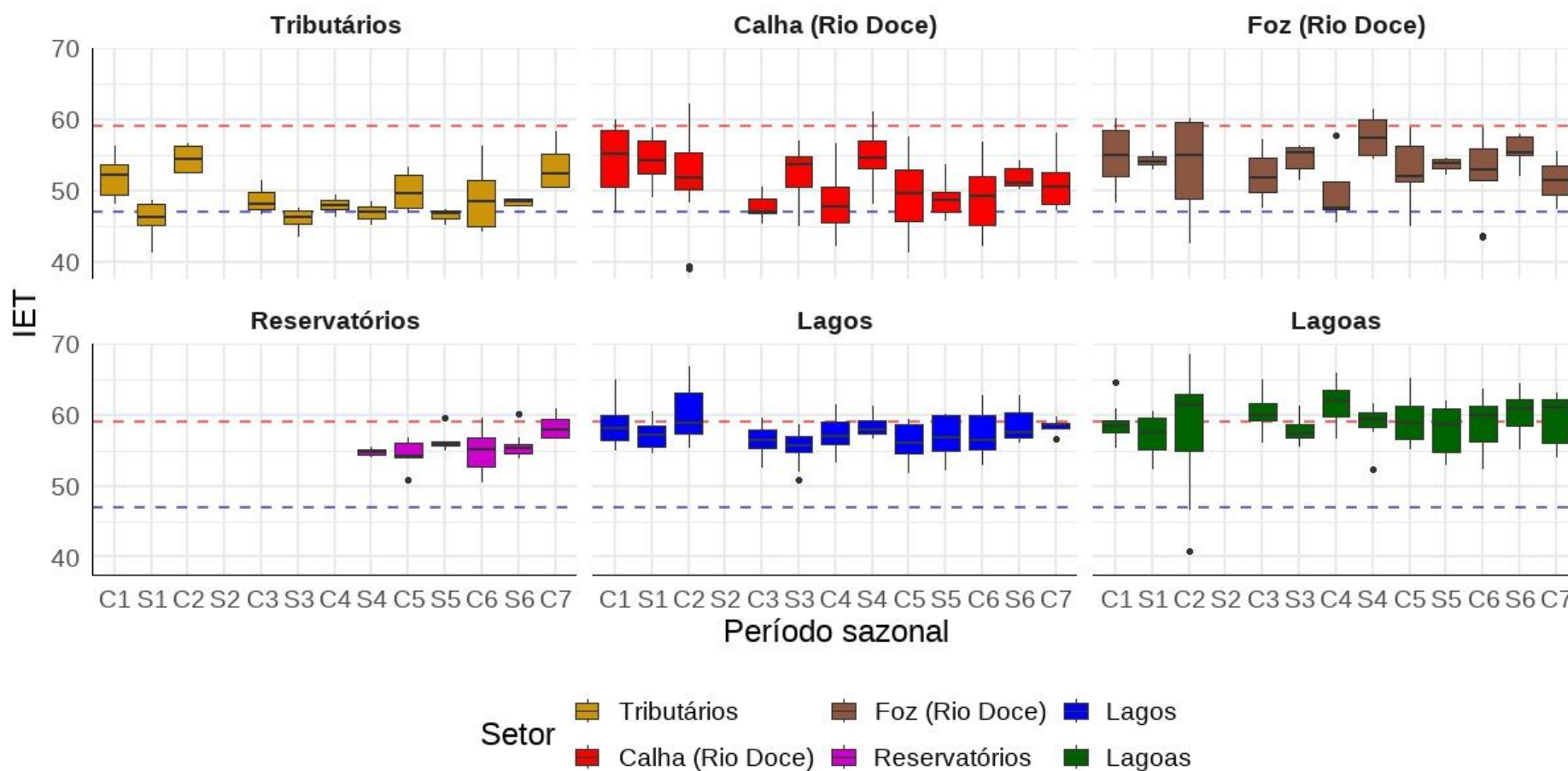
As concentrações médias elevadas de nutrientes e as altas vazões resultaram em expressivos fluxos de nutrientes ao longo dos anos de monitoramento, como: fósforo total -  $P_{total}$  ( $12,1 \pm 32,4$  t/d), fósforo inorgânico dissolvido - PID ( $2,8 \pm 2,75$  t/d), nitrogênio total -  $N_{total}$  ( $240,1 \pm 263,6$  t/d), nitrogênio inorgânico dissolvido - NID ( $138,5 \pm 118,4$  t/d), e silício - Silicato ( $284,6 \pm 316,7$  t/d) (Figura 6).

Foi observado que os maiores fluxos de  $P_{total}$ , PID,  $N_{total}$ , NID e Silicato ocorrem nos períodos chuvosos (Mann Whitney -  $p < 0,05$ ) em comparação com os períodos secos (Figura 6). Porém, a diferença significativa entre os anos (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) só ocorreu para os fluxos de fósforo ( $P_{total}$  e PID), conforme reportado no RT46 (Fest, 2024). A tendência de redução dos fluxos em relação ao Ano 4 de monitoramento persiste, pois, a sua variação reflete a oscilação da vazão fluvial média do rio Doce. Nesse caso, os fluxos mais expressivos continuam sendo os registrados nos Anos 2 (out 2019 a set 2020) e Ano 4 (out 2021 a set 2022; Figura 6), em decorrência das maiores vazões registradas ( $1.143,6 \pm 483,6$  m<sup>3</sup>/s e  $1.355,8 \pm 1.162,4$  m<sup>3</sup>/s para Ano 2 e Ano 4, respectivamente). O último semestre de monitoramento (período chuvoso do Ano 7 - C7) apresentou tendência de aumento em relação ao período chuvoso do Ano 6 (C6). A magnitude dos fluxos do rio Doce coloca esse sistema como significativamente ativo no transporte de materiais para o oceano costeiro (Souza *et al.*, 2003).



### 3.6 ESTADO TRÓFICO

Figura 7: Matriz – água. Período amostral de outubro/2018 a março/2025. Gráficos de Boxplots do indicador biológico Estado Trófico: Índice de estado Trófico médio - IET médio na superfície de lagos e reservatórios e no meio da coluna d'água para lagoas. Variação sazonal e anual do IET médio nos setores – Tributários, Calha do rio Doce, Foz do rio Doce, Reservatórios, Lagos e Lagoas. C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1 (outubro 2018 a setembro de 2019); C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2 (outubro 2019 a setembro de 2020); C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3 (outubro 2020 a setembro de 2021); C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4 (outubro 2021 a setembro de 2022); C5 e S5 = Períodos chuvoso e seco do Ano 5 (outubro 2022 a setembro de 2023); C6 e S6 = Períodos chuvoso e seco do Ano 6 (outubro 2023 a setembro de 2024) e C7 = Período chuvoso do Ano 7 (outubro de 2024 a março de 2025). A lacuna de dados entre março/2020 e novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19. A linha tracejada vermelha representa o limite eutrófico e a linha azul o estado oligotrófico. O tempo de monitoramento difere entre as estações, conforme o Quadro 1.



No setor Tributários, ocorreram alternâncias de estados tróficos entre os anos (Figura 7). Desta forma, as estações monitoradas foram consideradas predominantemente mesotróficas ( $52 < \text{IET} \leq 59$ ), com períodos oligotróficos ( $47 < \text{IET} \leq 52$ ) diferindo significativamente entre os anos (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). As condições oligotróficas ocorrem predominantemente durante os períodos secos, com diferenças significativas entre os períodos secos e chuvosos (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ). O último semestre de monitoramento (C7) aponta um aumento do IET em relação ao período chuvoso passado (C6).

No setor Calha do rio Doce a condição mesotrófica é predominante com diferenças significativas entre os anos de monitoramento (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ), e entre os períodos secos e chuvosos (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ).

O setor Foz do rio Doce, apesar de apresentar os maiores valores de IET, é considerado predominantemente mesotrófico, com exceção do período chuvoso do Ano 2 (C2) e do período seco no Ano 4 (S4), quando atingiu a condição de eutrófico (Figura 7). Desta forma, o IET não tem apresentado diferença significativa entre os anos (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ), porém, ocorrem diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ). No período chuvoso do Ano 7 (C7) foi observada uma tendência de redução do IET comparada ao período chuvoso do Ano 6 (C6).

Para o setor Reservatórios observa-se a condição predominantemente mesotrófica com aumento do IET no último semestre, atingindo a condição eutrófica (Figura 7). Não foram observadas diferenças estatísticas entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ), assim como entre os anos de monitoramento (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ).

Nos setores lagos e lagoas, o IET oscila atingindo frequentemente a condição de eutrofia desde o Ano 1 de monitoramento, nesse caso, é observada uma tendência de aumento do IET com diferença significativa ao longo dos anos (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) (Figura 7). Nas lagoas, o IET é mais alto durante os períodos chuvosos, com diferenças estatísticas entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ), tal diferença não foi observada para os lagos. Em geral, a menor profundidade das lagoas possibilita a remobilização dos nutrientes do sedimento pela turbulência do vento e fraca estratificação térmica, tornando-as mais propensas a condições meso-eutróficas (Bozelli *et al.*, 1992).

### 3.7 TESTEMUNHO DE SEDIMENTOS EM LAGOS E LAGOAS

Quadro 2 Matriz sedimento. Parte 1: Estatística descritiva do indicador: Testemunhos de Sedimento em Lagos e Lagoas para a granulometria, matéria orgânica, composição mineralógica e conteúdo de metais. Parte 2: Teste estatístico não paramétrico de Spearman para granulometria, matéria orgânica, composição mineralógica e conteúdo de metais. Parte 2: Teste estatístico não paramétrico de Spearman para granulometria em Lagos e Lagoas: Silte (%) e Argila (%); Matéria orgânica - MO (%); composição mineralógica: Quartzo (%), Muscovita (%), Anatásio (%), Caulinita (%), Gibbsita (%), Goethita (%), Hematita (%), Mt/Mh (%), Óxidos de Fe (%) e conteúdo de metais: Al (mg/kg x 10<sup>3</sup>), As (mg/kg), Ba(mg/kg), Cr (mg/kg), Cu (mg/kg), Fe(mg/kg x 10<sup>3</sup>), La (mg/kg), Mn(mg/kg), Ni (mg/kg), Pb (mg/kg), V(mg/kg), Zn (mg/kg), matéria orgânica (MO). Em **negrito** estão indicadas as correlações fortes com  $r > 0,7$ . Setor lagos: Lago Limão (E18), Lago Nova (E19), Lago Juparanã (E20); setor lagoas: Lagoa Areão (E23), Lagoa Areal (E24) e Lagoa Monsarás (E25)

Parte 1					
Lago Limão (E18)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
MO (%)	30	21,05	10,67	27,13	4,13
Quartzo (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00
Muscovita (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00
Anatásio (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00
Caulinita (%)	30	3,81	0,00	8,20	2,29
Gibbsita (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00
Goethita (%)	30	93,29	83,00	98,00	4,41
Hematita (%)	30	2,90	0,00	12,00	3,56
Mt/Mh (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00
Óxidos de Fe (%)	30	96,19	91,80	100,00	2,29
Silte (%)	29	69,70	0,00	89,42	29,15
Argila (%)	29	14,54	0,00	41,98	10,29
Al (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	30	114,54	84,28	147,48	22,20
As (mg/kg)	30	6,63	5,48	8,83	0,69
Ba (mg/kg)	30	299,30	237,04	361,15	36,25
Cr (mg/kg)	30	42,12	15,07	61,03	9,96
Cu (mg/kg)	30	10,32	0,00	44,50	12,80
Fe (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	30	66,72	19,81	102,75	17,56
La (mg/kg)	30	23,52	10,53	34,77	7,47
Mn (mg/kg)	30	337,00	210,91	422,40	50,89
Ni (mg/kg)	30	7,28	2,64	14,40	3,32
Pb (mg/kg)	30	23,37	13,77	30,13	4,31
V (mg/kg)	30	98,13	63,80	134,79	15,05
Zn (mg/kg)	30	56,56	27,65	80,86	15,36
Lago Nova (E19)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
MO (%)	34	21,61	9,04	28,25	5,24
Quartzo (%)	34	5,54	0,00	12,00	2,86
Muscovita (%)	34	0,90	0,00	2,00	0,81
Anatásio (%)	34	3,55	0,00	6,00	1,19

Parte 1					
Lago Nova (E19)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
Caulinita (%)	34	81,36	76,00	86,00	2,72
Gibbsita (%)	34	2,38	1,50	4,00	0,62
Goethita (%)	34	5,41	2,00	8,00	1,56
Hematita (%)	34	0,78	0,00	3,50	0,84
Mt/Mh (%)	34	0,00	0,00	0,00	0,00
Óxidos de Fe (%)	34	6,19	3,00	10,00	1,52
Silte (%)	23	85,41	75,05	91,76	5,33
Argila (%)	23	14,07	7,66	24,88	5,54
Al (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	34	100,74	1,17	161,87	42,02
As (mg/kg)	34	7,87	4,20	11,80	1,32
Ba (mg/kg)	34	323,58	147,76	486,48	53,03
Cr (mg/kg)	34	45,74	34,02	60,39	5,14
Cu (mg/kg)	34	26,47	0,00	128,49	32,85
Fe (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	34	104,99	51,60	143,27	23,44
La (mg/kg)	34	31,18	18,66	41,05	4,46
Mn (mg/kg)	34	696,97	394,98	1154,31	243,80
Ni (mg/kg)	34	16,54	6,89	36,70	7,55
Pb (mg/kg)	34	32,30	22,78	41,21	5,27
V (mg/kg)	34	99,05	69,13	131,06	16,49
Zn (mg/kg)	34	61,33	39,28	117,87	19,13
Lago Juparanã (E20)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
MO (%)	35	16,05	14,33	17,89	1,15
Quartzo (%)	35	5,47	3,00	11,00	1,96
Muscovita (%)	35	4,44	0,00	14,00	3,15
Anatásio (%)	35	3,97	2,00	5,50	0,78
Caulinita (%)	35	74,57	65,00	83,00	4,51
Gibbsita (%)	35	3,89	3,00	5,00	0,46
Goethita (%)	35	6,10	1,20	10,00	2,09
Hematita (%)	35	1,56	0,00	7,00	1,73
Mt/Mh (%)	35	0,00	0,00	0,00	0,00
Óxidos de Fe (%)	35	7,66	2,00	13,00	2,50
Silte (%)	29	82,73	77,98	91,22	3,37
Argila (%)	29	17,27	8,78	22,02	3,37
Al (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	35	142,67	65,32	157,80	15,95
As (mg/kg)	35	12,25	3,24	21,66	5,56
Ba (mg/kg)	35	492,51	121,43	625,07	75,91
Cr (mg/kg)	35	69,95	50,37	134,52	21,72
Cu (mg/kg)	35	22,93	12,95	90,18	14,47
Fe (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	34	78,95	32,83	97,25	11,39



Parte 1					
Lago Juparanã (E20)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
La (mg/kg)	35	43,08	32,46	54,24	6,32
Mn(mg/kg)	35	934,34	626,77	1705,87	251,77
Ni (mg/kg)	35	27,46	20,74	38,41	4,82
Pb (mg/kg)	35	39,37	32,58	49,41	3,73
V (mg/kg)	35	91,22	73,44	110,21	8,52
Zn (mg/kg)	35	83,94	51,28	122,33	16,52
Lagoa Areão (E23)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
MO (%)	28	12,64	0,83	16,56	4,86
Quartzo (%)	27	24,56	9,00	100,00	30,56
Muscovita (%)	28	7,47	0,00	18,00	4,81
Anatásio (%)	28	2,15	0,00	3,50	1,09
Caulinita (%)	28	53,50	0,00	74,00	24,82
Gibbsita (%)	28	3,46	0,00	6,00	2,08
Goethita (%)	28	4,78	0,00	8,00	2,44
Hematita (%)	28	1,39	0,00	3,31	1,28
Mt/Mh (%)	28	0,00	0,00	0,00	0,00
Óxidos de Fe (%)	28	6,17	0,00	9,50	3,21
Silte (%)	25	46,55	0,00	87,25	40,17
Argila (%)	25	11,02	0,00	43,07	11,77
Al (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	28	119,81	10,23	177,72	48,95
As (mg/kg)	28	16,61	0,00	31,97	8,67
Ba (mg/kg)	28	515,54	284,45	611,71	84,75
Cr (mg/kg)	28	58,95	0,00	85,75	24,63
Cu (mg/kg)	28	20,13	0,00	34,97	6,93
Fe (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	28	86,84	7,97	130,35	37,40
La (mg/kg)	28	37,96	1,64	55,10	16,54
Mn (mg/kg)	28	1314,22	264,58	2310,83	548,21
Ni (mg/kg)	28	26,72	0,00	52,15	13,75
Pb (mg/kg)	28	30,47	9,08	38,84	9,39
V (mg/kg)	28	68,64	5,25	90,43	27,02
Zn (mg/kg)	28	57,92	11,93	85,57	18,39
Lagoa Areal (E24)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
MO (%)	30	25,01	19,70	26,96	2,06
Quartzo (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00
Muscovita (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00
Anatásio (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00
Caulinita (%)	30	3,81	0,00	8,20	2,29
Gibbsita (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00

Parte 1					
Lagoa Areal (E24)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
Goethita (%)	30	93,29	83,00	98,00	4,41
Hematita (%)	30	2,90	0,00	12,00	3,56
Mt/Mh (%)	30	0,00	0,00	0,00	0,00
Óxidos de Fe (%)	30	96,19	91,80	100,00	2,29
Silte (%)	14	50,81	28,32	88,86	17,05
Argila (%)	14	48,61	10,38	71,42	17,08
Al (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	30	39,00	18,82	52,11	8,93
As (mg/kg)	30	62,76	45,93	78,40	9,09
Ba (mg/kg)	30	166,81	133,36	196,14	14,66
Cr (mg/kg)	30	84,90	60,79	130,75	21,32
Cu (mg/kg)	30	12,13	0,00	50,13	12,13
Fe (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	30	406,46	352,94	494,49	34,13
La (mg/kg)	30	2,30	0,00	12,78	3,52
Mn (mg/kg)	30	868,17	541,50	1607,82	195,94
Ni (mg/kg)	30	2,17	0,00	26,20	6,70
Pb (mg/kg)	30	10,98	6,90	16,97	2,48
V (mg/kg)	30	108,00	58,93	156,84	21,40
Zn (mg/kg)	30	55,57	36,46	84,08	12,94
Lagoa Monsarás (E25)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
MO (%)	27	0,86	0,22	6,07	1,10
Quartzo (%)	27	99,19	88,00	100,00	2,95
Muscovita (%)	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Anatásio (%)	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Caulinita (%)	27	0,81	0,00	12,00	2,95
Gibbsita (%)	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Goethita (%)	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Hematita (%)	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Mt/Mh (%)	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Óxidos de Fe (%)	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Silte (%)	14	50,81	28,32	88,86	17,05
Argila (%)	14	48,61	10,38	71,42	17,08
Al (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	27	1,70	0,51	6,52	1,41
As (mg/kg)	27	1,56	0,00	12,17	3,25
Ba (mg/kg)	27	319,69	250,15	358,17	28,66
Cr (mg/kg)	27	1,03	0,00	27,85	5,36
Cu (mg/kg)	27	10,77	0,00	80,53	17,36
Fe (mg/kgx10 <sup>3</sup> )	27	10,38	2,37	43,45	9,73
La (mg/kg)	27	1,71	0,00	4,07	1,14
Mn (mg/kg)	27	150,85	50,36	624,46	124,93

Parte 1					
Lagoa Monsarás (E25)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
Ni (mg/kg)	27	4,20	0,00	77,48	15,40
Pb (mg/kg)	27	8,89	6,07	17,25	2,38
V (mg/kg)	27	10,38	3,58	31,87	5,74
Zn (mg/kg)	27	19,42	8,06	52,31	10,10

Parte 2																								
Lago Limão- E18																								
	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
MO	1,00				-0,61		0,65	-0,42		0,61	0,49	<b>-0,82</b>	<b>-0,91</b>	-0,51	0,43	-0,55	0,64	-0,64	0,69	0,05	0,65	0,43	-0,17	0,56
Quartzo		1,00																						
Muscovita			1,00																					
Anatásio				1,00																				
Caulinita					1,00		-0,63	0,11		-1,00	-0,50	0,58	0,67	0,13	<b>-0,70</b>	0,08	-0,38	0,44	<b>-0,82</b>	-0,22	-0,69	-0,67	-0,05	<b>-0,79</b>
Gibbsita						1,00																		
Goethita							1,00	<b>-0,83</b>		0,63	0,36	-0,59	<b>-0,75</b>	-0,40	0,42	-0,30	0,54	-0,52	0,66	-0,12	0,59	0,49	-0,11	0,65
Hematita								1,00		-0,11	-0,11	0,40	0,48	0,49	0,00	0,40	-0,39	0,37	-0,22	0,37	-0,26	-0,10	0,20	-0,22
Mt/Mh									1,00															
Óxidos de Fe										1,00	0,50	-0,58	-0,67	-0,13	<b>0,70</b>	-0,08	0,38	-0,44	<b>0,82</b>	0,22	0,69	0,67	0,05	<b>0,79</b>
Silte											1,00	-0,24	-0,52	-0,13	0,25	0,00	0,11	-0,36	0,55	0,08	0,48	0,43	0,12	0,46
Argila												1,00	<b>0,80</b>	0,45	-0,47	0,55	-0,62	0,62	-0,53	0,10	-0,58	-0,33	0,19	-0,48
Al													1,00	0,40	-0,51	0,46	<b>-0,70</b>	0,65	<b>-0,75</b>	0,05	-0,67	-0,52	0,19	-0,67
As														1,00	0,18	0,60	-0,27	0,31	-0,06	0,40	-0,36	0,13	0,36	-0,01
Ba															1,00	0,07	0,41	-0,34	<b>0,81</b>	0,39	0,61	<b>0,83</b>	0,18	<b>0,81</b>
Cr																1,00	-0,21	0,16	0,05	0,23	0,02	0,29	<b>0,77</b>	0,13
Cu																	1,00	-0,47	0,59	0,13	0,62	0,53	-0,02	0,62
Fe																		1,00	-0,50	0,24	-0,56	-0,33	-0,05	-0,45
La																			1,00	0,33	<b>0,81</b>	<b>0,92</b>	0,23	<b>0,94</b>
Mn																				1,00	0,15	0,40	0,07	0,25
Ni																					1,00	<b>0,75</b>	0,23	<b>0,80</b>
Pb																						1,00	0,42	<b>0,93</b>
V																							1,00	0,25
Zn																								1,00
Lago Nova- E19																								
	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
MO	1,00	0,15	-0,65	-0,14	0,18	-0,59	0,18	-0,02		0,15	0,63	-0,61	-0,67	0,18	-0,04	-0,15	<b>0,81</b>	<b>0,74</b>	0,07	<b>0,82</b>	0,57	-0,44	0,58	0,62
Quartzo		1,00	0,03	-0,09	-0,61	-0,37	-0,48	0,22		-0,37	0,19	0,02	-0,08	0,30	-0,09	-0,20	0,17	0,13	0,03	0,23	0,01	0,00	0,19	0,05
Muscovita			1,00	-0,02	-0,35	0,39	-0,06	-0,16		-0,17	-0,36	0,27	0,51	0,06	0,12	-0,01	-0,54	-0,50	-0,11	-0,49	-0,41	0,35	-0,33	-0,45
Anatásio				1,00	-0,36	0,16	0,12	-0,09		0,09	-0,12	0,06	0,11	-0,08	-0,11	-0,35	-0,15	-0,24	-0,07	-0,18	-0,19	0,10	-0,15	-0,15
Caulinita					1,00	-0,05	-0,04	-0,21		-0,15	-0,05	-0,11	-0,22	-0,19	0,07	0,32	0,13	0,24	0,15	0,06	0,12	-0,11	0,13	0,10
Gibbsita						1,00	-0,01	-0,01		0,01	-0,62	0,59	0,65	-0,14	0,02	0,00	-0,61	-0,65	-0,24	-0,62	-0,52	0,32	-0,56	-0,44
Goethita							1,00	-0,30		<b>0,84</b>	0,05	-0,11	-0,04	-0,02	0,04	0,12	0,33	0,07	0,10	0,18	0,41	-0,03	0,12	0,37
Hematita								1,00		0,20	0,36	-0,34	-0,18	-0,09	0,01	-0,17	-0,21	0,02	-0,41	0,16	-0,02	-0,44	-0,29	-0,38
Mt/Mh									1,00															
Óxidos de Fe										1,00	0,18	-0,24	-0,11	-0,09	0,08	0,09	0,23	0,09	-0,02	0,25	0,43	-0,18	0,01	0,20
Silte											1,00	<b>-0,93</b>	<b>-0,79</b>	-0,19	0,04	-0,45	0,57	0,70	-0,41	<b>0,82</b>	0,45	<b>-0,72</b>	0,17	0,16
Argila												1,00	<b>0,79</b>	0,23	-0,07	0,38	-0,51	<b>-0,74</b>	0,36	<b>-0,82</b>	-0,59	<b>0,78</b>	-0,18	0,01
Al													1,00	0,22	0,15	0,27	-0,59	<b>-0,74</b>	0,09	-0,65	-0,38	0,65	-0,39	-0,39
As														1,00	0,43	0,25	0,06	-0,11	0,27	0,24	0,22	0,42	0,16	0,17
Ba															1,00	0,38	0,01	-0,07	0,43	0,32	0,31	0,24	0,05	0,07

Parte 2																								
Lago Nova- E19																								
MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn	
Cr																1,00	0,02	-0,10	0,63	0,02	0,35	0,34	0,31	0,19
Cu																	1,00	<b>0,72</b>	0,24	<b>0,74</b>	0,68	-0,31	<b>0,70</b>	<b>0,72</b>
Fe																		1,00	0,07	<b>0,76</b>	0,57	-0,59	0,62	0,49
La																			1,00	0,17	0,41	0,47	0,62	0,49
Mn																				1,00	0,68	-0,49	0,53	0,50
Ni																					1,00	-0,24	0,56	0,50
Pb																						1,00	0,06	0,13
V																							1,00	<b>0,80</b>
Zn																								1,00
Lago Juparanã - E20																								
	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
MO	1,00	0,09	-0,38	0,47	0,28	0,27	-0,11	0,00		-0,06	0,07	-0,07	-0,52	<b>-0,82</b>	-0,18	<b>-0,74</b>	-0,26	-0,65	0,26	-0,51	-0,63	-0,25	-0,50	-0,01
Quartzo		1,00	0,45	0,48	-0,69	0,32	-0,44	0,08		-0,23	-0,08	0,08	-0,39	-0,19	0,28	-0,04	0,04	-0,31	0,57	-0,51	0,14	0,45	0,15	0,39
Muscovita			1,00	0,23	<b>-0,80</b>	0,10	-0,09	-0,09		-0,10	-0,26	0,26	0,20	0,29	0,33	0,40	0,04	0,26	0,25	-0,13	0,40	0,48	0,40	0,18
Anatásio				1,00	-0,39	0,34	-0,31	-0,01		-0,22	0,00	0,00	-0,27	-0,53	0,06	-0,39	-0,12	-0,40	0,43	-0,68	-0,32	0,17	-0,12	0,10
Caulinita					1,00	-0,16	0,02	-0,18		-0,14	0,11	-0,11	-0,03	-0,11	-0,26	-0,19	-0,01	-0,18	-0,23	0,28	-0,30	-0,41	-0,22	-0,28
Gibbsita						1,00	-0,44	-0,17		-0,39	-0,02	0,02	-0,37	-0,24	0,31	-0,09	-0,08	-0,47	0,43	-0,35	0,02	0,17	0,07	0,22
Goethita							1,00	-0,01		0,68	0,19	-0,19	0,19	0,03	-0,35	-0,14	-0,22	0,27	-0,58	0,15	-0,10	-0,37	-0,27	-0,33
Hematita								1,00		0,65	-0,15	0,15	0,17	-0,11	-0,14	-0,10	0,33	0,26	-0,08	0,16	-0,08	0,01	-0,14	0,32
Mt/Mh									1,00															
Óxidos de Fe										1,00	0,01	-0,01	0,26	-0,07	-0,35	-0,19	0,10	0,36	-0,49	0,27	-0,15	-0,28	-0,31	0,05
Silte											1,00	-1,00	0,05	-0,13	-0,40	-0,19	-0,06	0,08	-0,25	-0,05	-0,03	-0,36	-0,22	0,07
Argila												1,00	-0,05	0,13	0,40	0,19	0,06	-0,08	0,25	0,05	0,03	0,36	0,22	-0,07
Al													1,00	0,50	0,08	0,36	-0,01	<b>0,72</b>	-0,43	0,62	0,26	-0,03	0,15	-0,11
As														1,00	0,35	<b>0,89</b>	0,28	0,64	-0,15	0,56	0,69	0,40	0,66	-0,01
Ba															1,00	0,51	-0,03	-0,03	0,65	0,03	0,37	<b>0,78</b>	0,68	0,25
Cr																1,00	0,32	0,46	0,08	0,47	<b>0,79</b>	0,57	<b>0,83</b>	0,10
Cu																	1,00	0,21	0,17	0,10	0,39	0,32	0,24	0,59
Fe																		1,00	-0,39	0,62	0,28	0,06	0,18	0,00
La																			1,00	-0,46	0,09	<b>0,72</b>	0,44	0,45
Mn																				1,00	0,21	-0,08	0,25	-0,13
Ni																					1,00	0,49	0,65	0,33
Pb																						1,00	<b>0,81</b>	0,55
V																							1,00	0,34
Zn																								1,00
Lagoa Areão - E23																								
	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
MO	1,00	-0,59	0,09	<b>0,89</b>	<b>0,73</b>	0,09	0,59	0,51		<b>0,66</b>	0,49	0,58	0,60	0,12	0,05	0,19	-0,03	0,65	0,15	0,42	0,38	0,24	0,31	0,43
Quartzo		1,00	-0,11	-0,68	<b>-0,79</b>	-0,04	-0,22	-0,38		-0,42	-0,24	-0,34	-0,57	-0,06	-0,14	-0,09	0,25	-0,53	-0,10	-0,24	-0,08	-0,11	-0,38	-0,20
Muscovita			1,00	0,02	-0,05	<b>0,94</b>	0,55	0,24		0,39	-0,14	-0,38	0,10	<b>0,92</b>	<b>0,72</b>	<b>0,90</b>	0,38	0,41	<b>0,91</b>	0,65	<b>0,74</b>	<b>0,88</b>	0,58	0,62
Anatásio				1,00	<b>0,83</b>	0,03	0,49	0,52		0,61	0,56	0,70	0,69	0,03	0,10	0,09	-0,12	0,59	0,03	0,27	0,27	0,13	0,33	0,31

Parte 2

Lagoa Areão - E23

	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Caulinita					1,00	-0,05	0,21	0,40		0,39	0,51	<b>0,76</b>	<b>0,80</b>	-0,12	0,16	0,00	-0,19	0,49	-0,03	0,20	0,06	0,03	0,40	0,18
Gibbsita						1,00	0,55	0,27		0,38	0,05	-0,28	0,14	<b>0,86</b>	<b>0,78</b>	<b>0,90</b>	0,42	0,36	<b>0,92</b>	0,62	<b>0,76</b>	<b>0,87</b>	0,64	0,64
Goethita							1,00	0,33		<b>0,75</b>	0,24	0,03	0,19	0,56	0,38	0,53	0,20	0,55	0,55	0,61	<b>0,74</b>	0,55	0,41	0,51
Hematita								1,00		<b>0,81</b>	0,40	0,31	0,44	0,23	0,17	0,39	0,13	0,58	0,32	-0,03	0,30	0,37	0,50	0,46
Mt/Mh									1,00															
Óxidos de Fe										1,00	0,35	0,19	0,36	0,41	0,26	0,48	0,11	0,63	0,45	0,33	0,56	0,47	0,40	0,61
Silte											1,00	0,64	0,46	-0,18	0,02	0,06	0,28	0,24	0,02	-0,11	0,16	0,10	0,61	0,16
Argila												1,00	0,67	-0,47	-0,22	-0,33	-0,12	0,24	-0,37	-0,15	-0,19	-0,26	0,26	-0,16
Al													1,00	0,00	0,31	0,08	-0,21	0,64	0,07	0,13	0,18	0,06	0,34	0,29
As														1,00	0,69	<b>0,89</b>	0,36	0,39	<b>0,91</b>	0,67	<b>0,77</b>	<b>0,87</b>	0,50	0,69
Ba															1,00	<b>0,75</b>	0,26	0,21	<b>0,79</b>	0,52	0,56	0,69	0,49	0,55
Cr																1,00	0,47	0,35	<b>0,97</b>	0,61	<b>0,79</b>	<b>0,98</b>	0,65	<b>0,73</b>
Cu																	1,00	0,03	0,50	0,20	0,33	0,57	0,48	0,29
Fe																		1,00	0,35	0,40	0,44	0,36	0,46	0,41
La																			1,00	0,63	<b>0,77</b>	<b>0,96</b>	0,64	<b>0,71</b>
Mn																				1,00	0,61	0,62	0,27	0,55
Ni																					1,00	<b>0,79</b>	0,55	<b>0,79</b>
Pb																						1,00	0,69	0,69
V																							1,00	0,47
Zn																								1,00

Lagoa Areal - E24

	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
MO	1,00				0,40		-0,46	0,34		-0,40	-0,43	0,42	0,40	-0,44	0,50	-0,59	-0,24	-0,65	-0,60	0,10	-0,33	0,20	-0,27	0,33
Quartzo		1,00																						
Muscovita			1,00																					
Anatásio				1,00																				
Caulinita					1,00		-0,63	0,11		-1,00	-0,33	0,33	0,47	-0,69	0,56	<b>-0,72</b>	0,11	-0,59	-0,32	0,60	-0,27	0,48	-0,57	0,56
Gibbsita						1,00																		
Goethita							1,00	<b>-0,83</b>		0,63	0,10	-0,10	-0,36	0,47	-0,42	0,56	-0,12	0,53	0,50	-0,38	0,06	-0,39	0,33	-0,58
Hematita								1,00		-0,11	-0,08	0,08	0,14	-0,17	0,14	-0,25	0,14	-0,29	-0,42	0,08	0,09	0,14	-0,07	0,37
Mt/Mh									1,00															
Óxidos de Fe										1,00	0,33	-0,33	-0,47	0,69	-0,56	<b>0,72</b>	-0,11	0,59	0,32	-0,60	0,27	-0,48	0,57	-0,56
Silte											1,00	-1,00	0,29	0,34	0,15	0,60	0,27	0,16	0,10	-0,24	0,14	0,32	0,34	-0,07
Argila												1,00	-0,27	-0,34	-0,19	-0,57	-0,25	-0,18	-0,13	0,24	-0,14	-0,28	-0,33	0,09
Al													1,00	-0,55	0,32	-0,44	0,21	-0,65	-0,44	0,19	-0,31	0,38	-0,39	0,48
As														1,00	-0,52	<b>0,92</b>	-0,32	0,55	0,37	<b>-0,74</b>	0,13	-0,19	<b>0,95</b>	-0,51
Ba															1,00	-0,50	0,09	-0,36	-0,07	0,50	-0,06	0,37	-0,41	0,51
Cr																1,00	-0,11	0,57	0,45	-0,61	0,16	-0,12	<b>0,83</b>	-0,43
Cu																	1,00	-0,08	0,05	0,36	0,28	0,22	-0,38	0,37
Fe																		1,00	<b>0,76</b>	-0,22	0,24	-0,47	0,36	-0,57
La																			1,00	-0,08	0,15	-0,21	0,26	-0,32

Parte 2

Lagoa Areal - E24

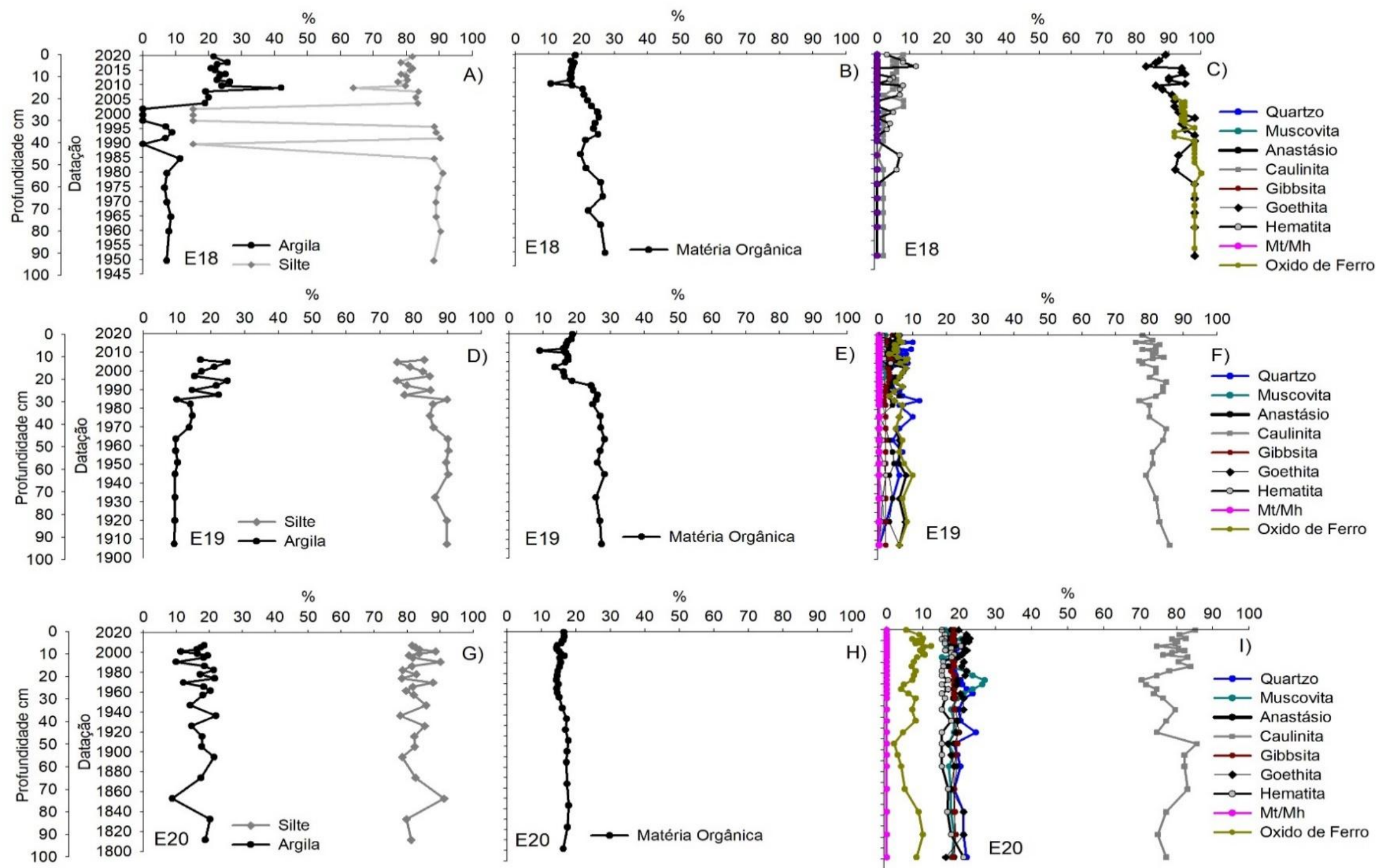
	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Mn																				1,00	0,06	0,09	<b>-0,81</b>	0,38
Ni																					1,00	0,11	0,04	-0,01
Pb																						1,00	-0,05	<b>0,72</b>
V																							1,00	-0,36
Zn																								1,00

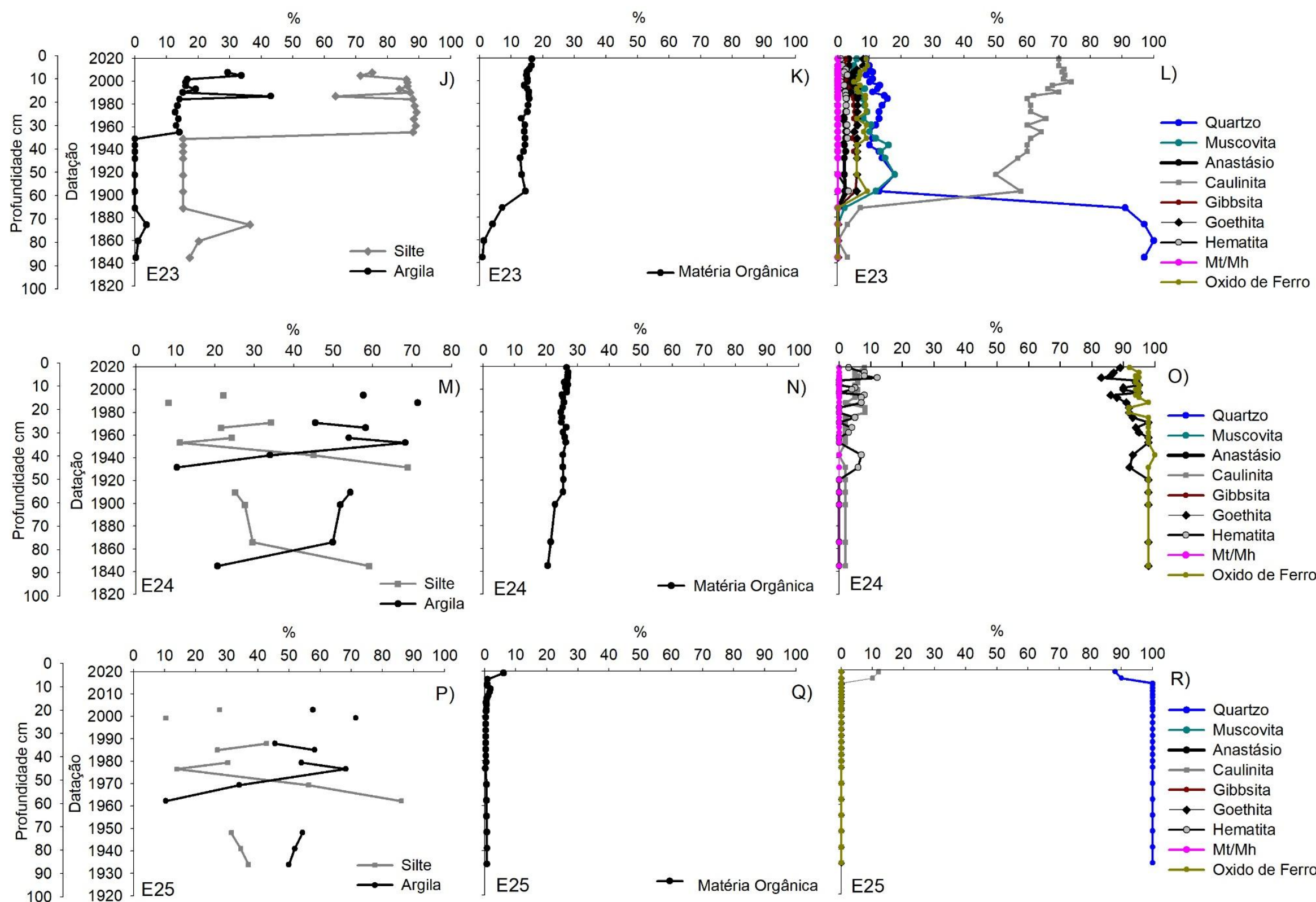
Lagoa Monsarás - E25

	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
MO	1,00	-0,40			0,40						0,63	-0,59	-0,17	0,69	0,21	0,33	0,51	0,21	0,30	0,19	-0,10	<b>0,71</b>	0,12	0,20
Quartzo	-0,40	1,00			-1,00								-0,04	-0,62	0,09	<b>-0,72</b>	-0,24	-0,16	0,12	-0,19	-0,37	-0,42	-0,12	-0,42
Muscovita			1,00																					
Anatásio				1,00																				
Caulinita					1,00								0,04	0,62	-0,09	<b>0,72</b>	0,24	0,16	-0,12	0,19	0,37	0,42	0,12	0,42
Gibbsita						1,00																		
Goethita							1,00																	
Hematita								1,00																
Mt/Mh									1,00															
Óxidos de Fe										1,00														
Silte											1,00	-1,00	-0,60		0,57		0,08	0,06	-0,34	0,16	-0,50	0,45	0,18	0,15
Argila												1,00	0,59		-0,50		-0,08	-0,15	0,33	-0,25	0,50	-0,45	-0,26	-0,24
Al													1,00	0,22	-0,54	0,05	-0,20	-0,15	0,17	-0,10	0,33	-0,25	-0,13	-0,07
As														1,00	-0,10	0,45	0,44	0,16	0,40	0,24	0,15	0,61	0,07	0,39
Ba															1,00	-0,30	0,19	-0,02	-0,02	0,00	-0,47	0,37	0,06	0,13
Cr																1,00	0,21	0,33	-0,28	0,33	0,55	0,33	0,33	0,33
Cu																	1,00	0,20	0,28	0,21	-0,06	0,42	0,11	0,40
Fe																		1,00	0,17	<b>0,93</b>	-0,03	0,47	<b>0,93</b>	0,53
La																			1,00	0,17	-0,32	0,24	0,00	0,32
Mn																				1,00	-0,04	0,42	<b>0,92</b>	0,53
Ni																					1,00	-0,16	-0,08	0,01
Pb																						1,00	0,39	0,46
V																							1,00	0,48
Zn																								1,00



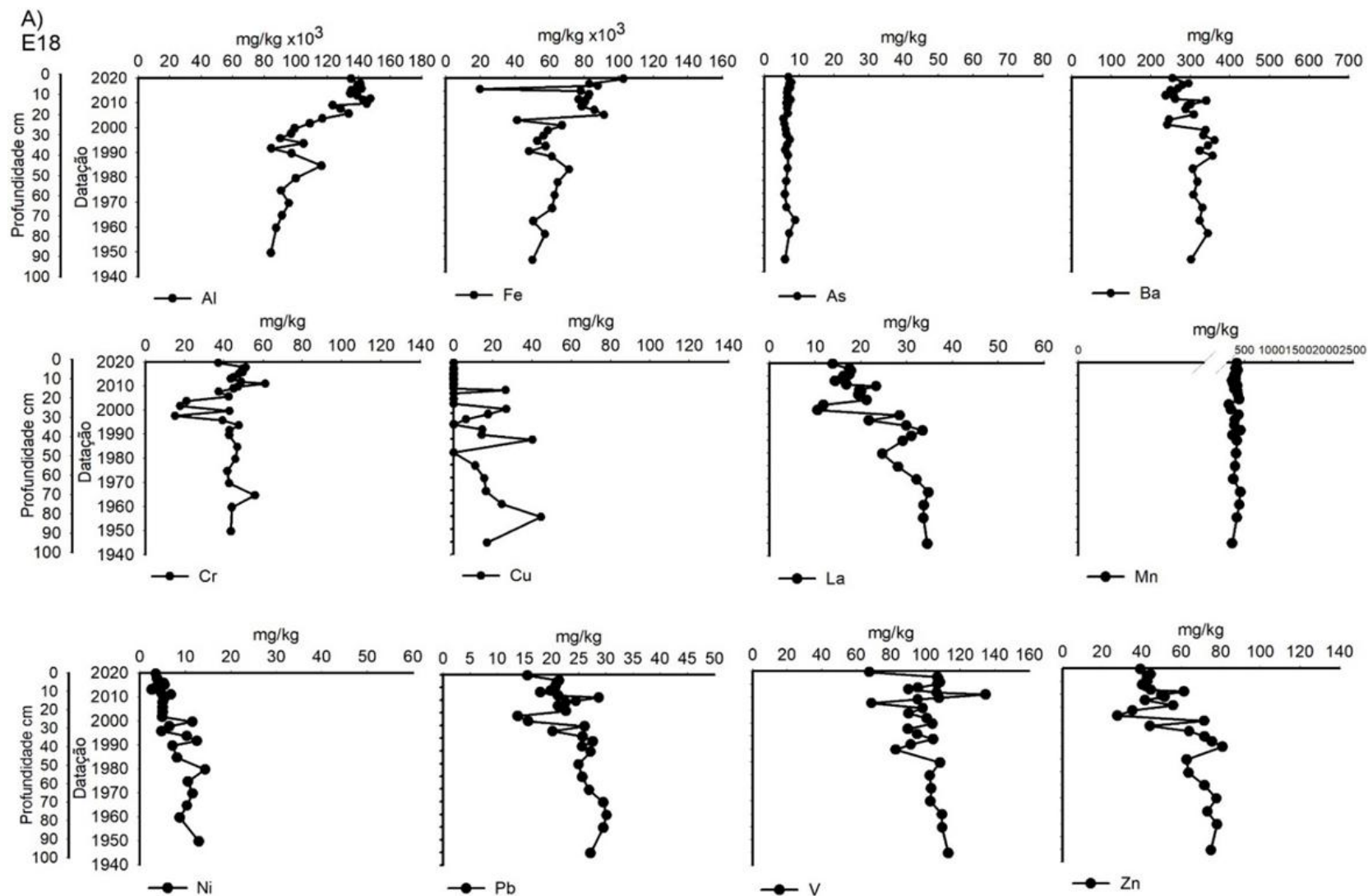
Figura 8: Matriz – sedimento. Perfilagem com datação da granulometria, matéria orgânica (MO), composição mineralógica. Gráficos de linha com datação (ano), profundidade (m), granulometria (%), matéria orgânica (MO) (%), composição mineralógica (%) do indicador Testemunho dos Sedimentos nos setores lagos e lagoas: A) granulometria do Lago Limão(E18); B) matéria orgânica do Lago Limão(E18); C) mineralogia do Lago Limão(E18); D) granulometria do Lago Nova (E19); E) matéria orgânica do Lago Nova (E19); F) mineralogia do Lago Nova (E19); G) granulometria do Lago Juparanã (E20); H) matéria orgânica do Lago Juparanã (E20); I) mineralogia do Lago Juparanã; J) granulometria da Lagoa Areão (E23); K) matéria orgânica da Lagoa Areão (E23); L) mineralogia da Lagoa Areão (E23); M) granulometria da Lagoa Areal (E24); N) matéria orgânica da Lagoa Areal (E24); O) mineralogia da Lagoa Areal (E24); P) granulometria da Lagoa Monsarás (E25); Q) matéria orgânica da Lagoa Monsarás (E25); R) mineralogia da Lagoa Monsarás (E25).





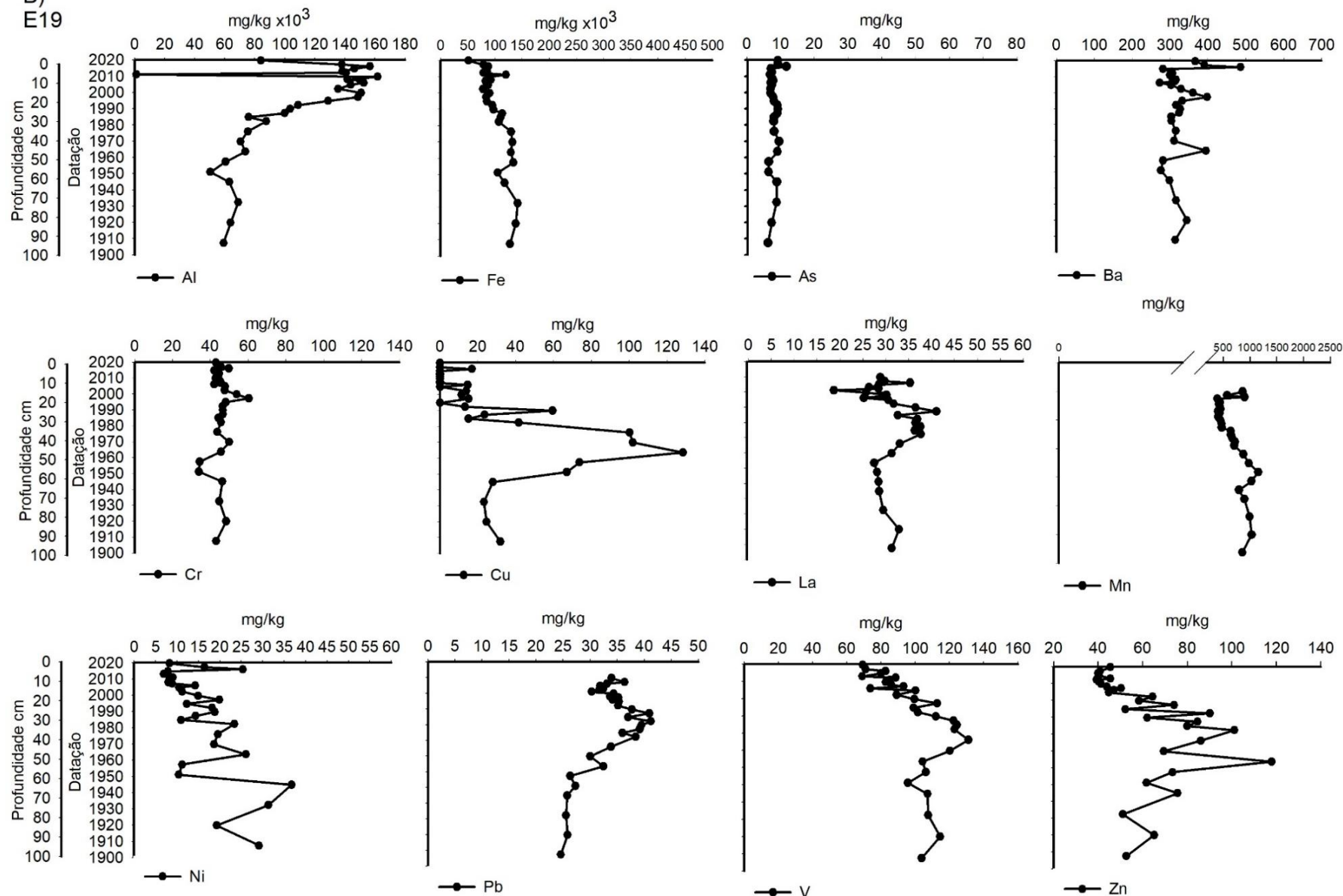
Com exceção do testemunho da Lagoa Monsarás (E25), cuja composição é basicamente mineral, quartzo (Figura 8R), com conteúdo médio de matéria orgânica  $0,86 \pm 1,08$  % (Quadro 2- Parte 1), os demais testemunhos apresentaram composição orgânica, com conteúdo médio de matéria orgânica entre  $12,64 \pm 4,67$  a  $21,61 \pm 5,17$  % (Quadro 2- Parte 1). A composição mineralógica predominante do sedimento é de caulinita, seguida por variações nos teores de gibbsita, goethita, anastásio, quartzo e muscovita (Quadro 2; Figura 8, F, I, L, O).

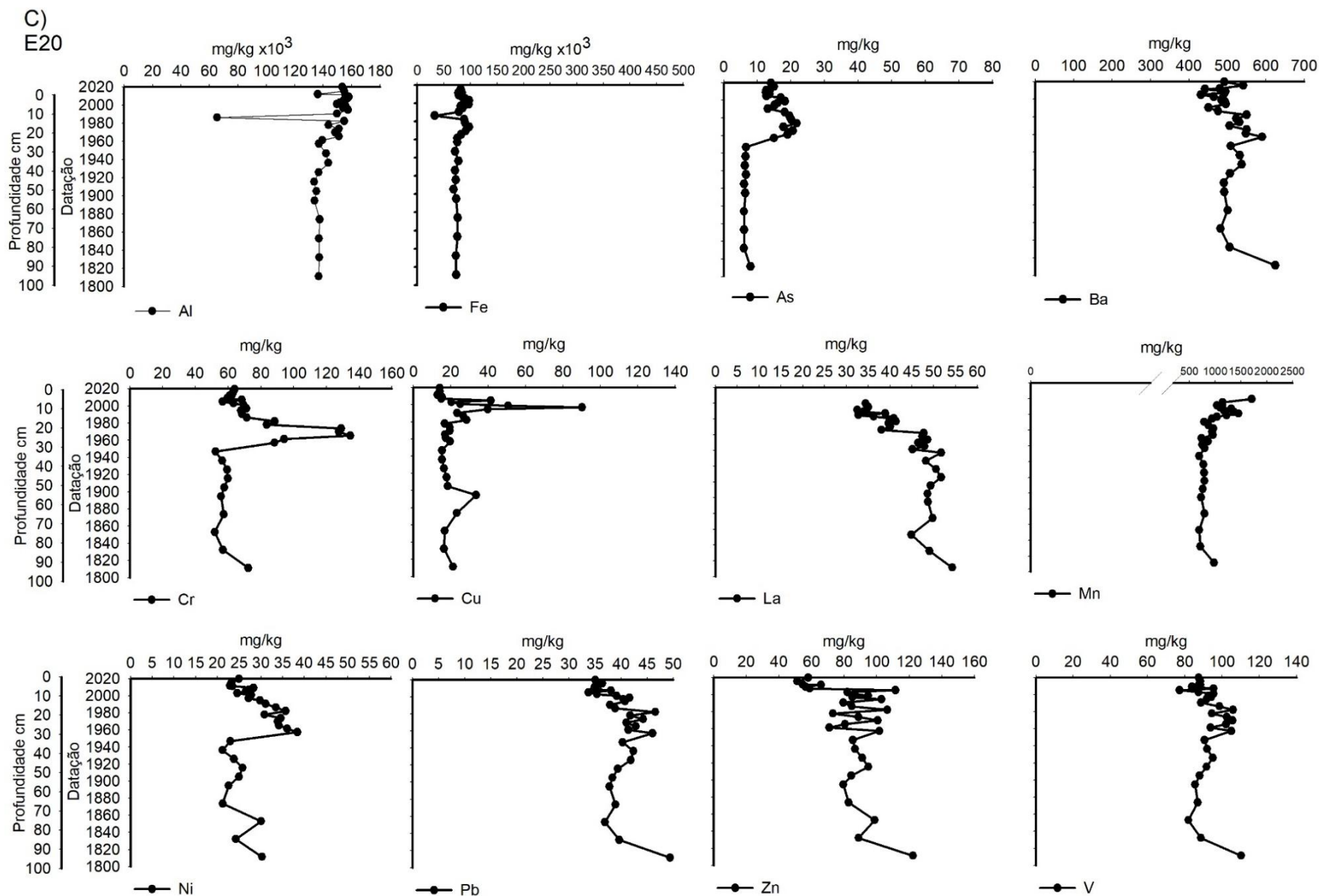
Figura 9: Matriz – Sedimento. Gráficos de linha com datação (ano), profundidade (m), e conteúdo de metais em (mg/kg) do indicador Testemunho dos Sedimentos no setor lagos: A) Lago Limão (E18); B) Lago Nova (E19); C) Lago Juparanã (E20); e no setor das lagoas: D) Lagoa Areão (E23); E) Lagoa Areal (E24); F) Lagoa Monsarás (E25).



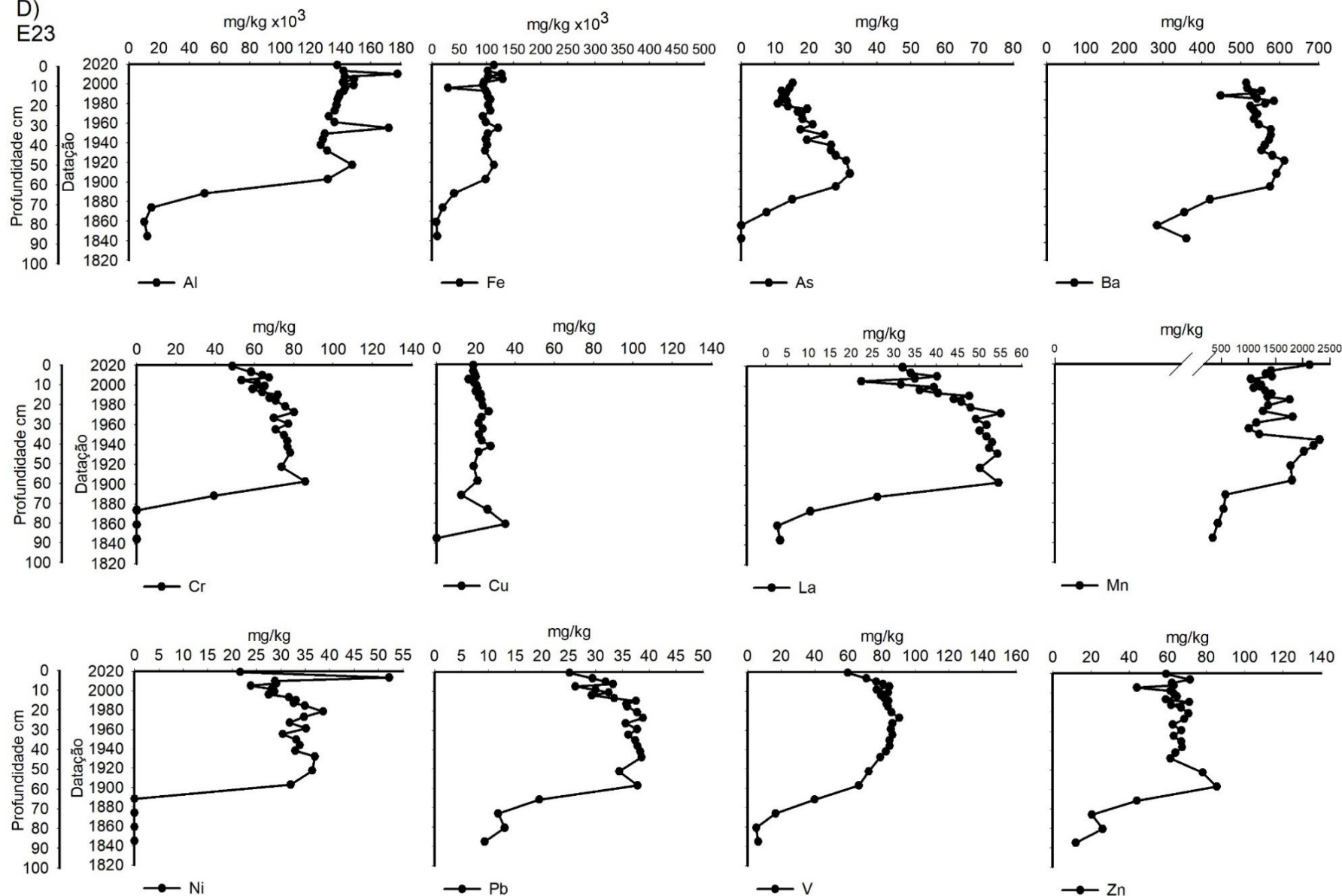


B)  
E19

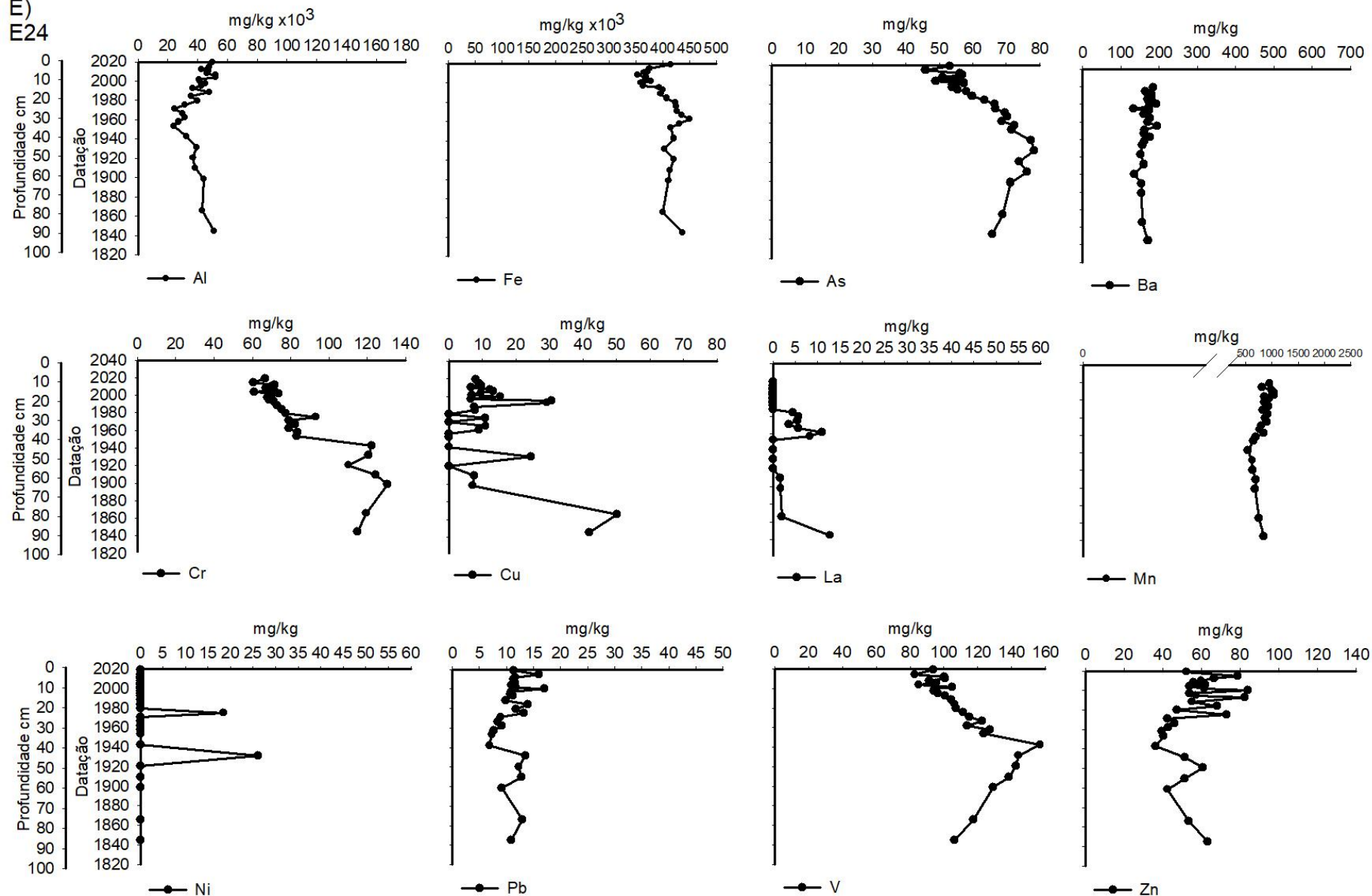




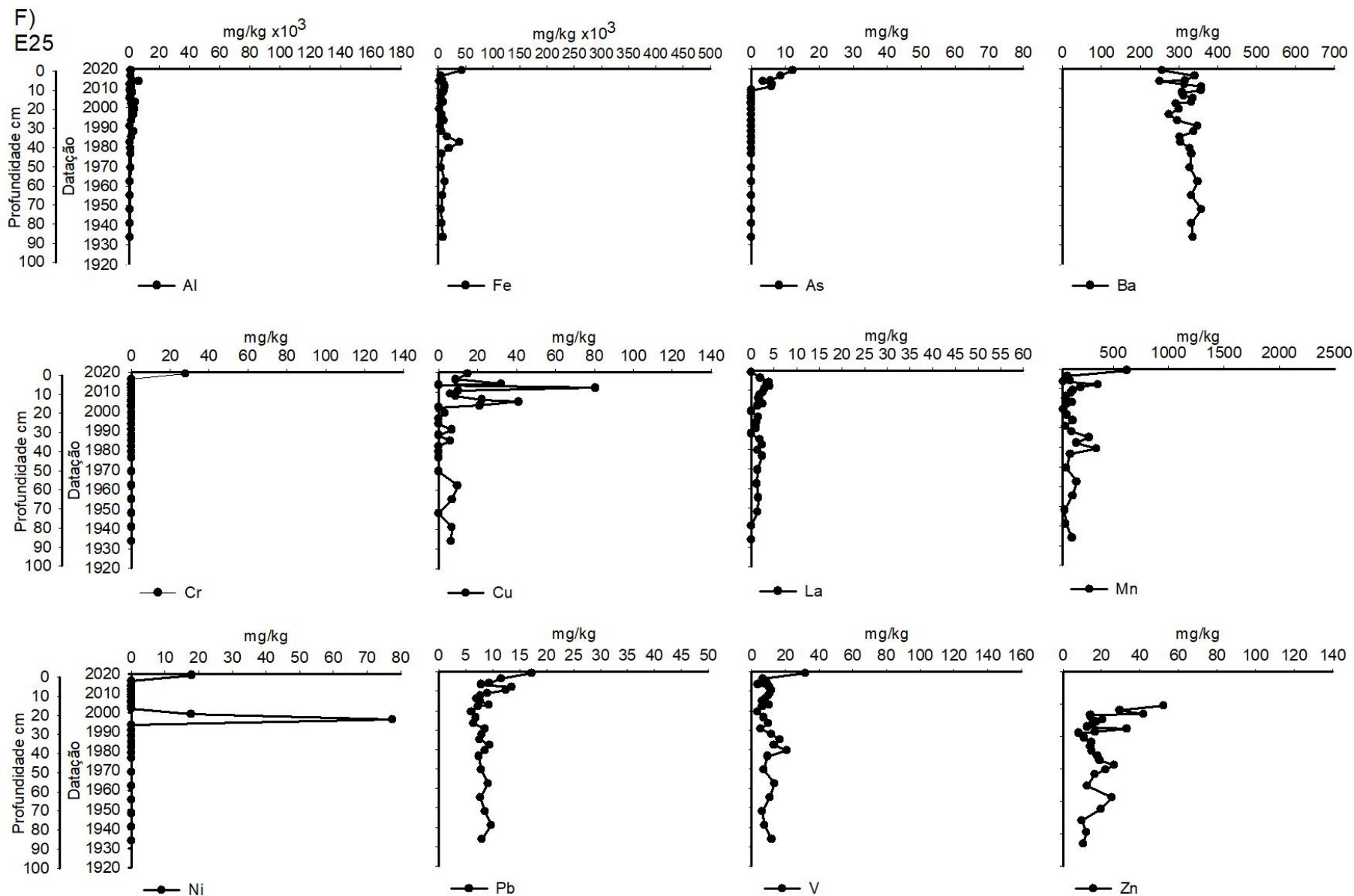
D)  
E23



E)  
E24







As concentrações de Fe, Al, Mn, Ba e As nos testemunhos de sedimentos variaram entre  $2,37 \times 10^2$  a  $4,94 \times 10^4$ ,  $5,10 \times 10^2$  a  $1,77 \times 10^5$ , 50,36 a  $2,61 \times 10^3$ ,  $1,21 \times 10^2$  a  $6,25 \times 10^2$  mg/kg e de 0 a  $7,8 \times 10$ , respectivamente (Quadro 2 – parte 1; Figura 9, A, B, C, D, E, F). A ordem decrescente de concentrações médias de metais nos testemunhos dos ecossistemas lacustres seguiu a seguinte sequência para Al = E20 > E18 > E23 > E19 > E24 > E25; Fe = E24 > E19 > E23 > E20 > E18 > E25; Mn = E23 > E20 > E24 > E19 > E18 > E25; e Ba = E23 > E20 > E19 > E25 > E18 > E24. As concentrações máximas de Fe, Al, Mn e Ba foram registradas nas estações E24, E23, E23 e E20, respectivamente.

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

Ao longo de anos de monitoramento do PMBA/Fest-UFES, o indicador ‘claridade da água’, representado pelos parâmetros MPS (mg/L) e turbidez (UNT), vem indicando de forma eficaz a influência da sazonalidade para as oscilações do transporte de material particulado do rio Doce até o oceano costeiro, assim como a influência da sazonalidade para conectividade hidrológica lateral entre o rio Doce e os ecossistemas lacustres das planícies fluviais e costeira. No contexto de desastres tecnológicos, como o que ocorreu em 2015 pelo rompimento da Barragem de Fundão (Mariana, MG), é importante destacar que o fluxo de material ligado ao desastre’ (MLD) gerado apresenta impactos que vão além da fase aguda (observáveis apenas logo após o rompimento). Esses efeitos têm um caráter crônico, podendo se estender por tempo indeterminado e influenciar de forma contínua o sistema fluvio-lacustre-estuarino-marinho. Por exemplo, logo após o rompimento é prevista a redução do fluxo de MLD, sendo que, por muitos anos após o rompimento, é possível identificar pulsos na remobilização e exportações de sedimentos durante eventos de alta vazão fluvial (Hatje *et al.*, 2017; Magris *et al.*, 2019; Miller *et al.*, 2023). Nesse caso, por meio do monitoramento do indicador, nota-se aumento do aporte de material em suspensão ao longo dos seis anos de monitoramento. Os parâmetros do indicador claridade da água, turbidez e MPS, são significativamente correlacionados (Spearman,  $p < 0,05$ ), nesse caso, a turbidez média do rio Doce na estação E21 ( $103,2 \pm 176,1$  UNT com máxima de 850,0 UNT) nos últimos anos é superior ao limite máximo admissível para Classe 2 da Resolução CONAMA N° 357 de 2005, 100 UNT.

O indicador “acidez/alcalinidade”, monitorado pelos parâmetros pH e Alcalinidade total (mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), tem sido eficaz, revelando as alterações observadas ao longo dos anos, dentre as diferentes estações na calha do rio Doce, assim como nos ecossistemas lacustres, principalmente no fundo da coluna d’água dos lagos. Por exemplo, em todos os ecossistemas aquáticos monitorados, foi percebida a redução da alcalinidade e, conseqüentemente, uma tendência a diminuição dos valores de pH ao longo dos anos. Nesse caso, alterações na capacidade de tamponamento da água implicam na especiação de metais como Fe (Langmuir, 1997) e semimetais como o As (Arsênio).

O indicador “estratificação térmica”, avaliado pelo Índice de Resistência Relativa Integrada (RTRi), tem se mostrado eficaz na mensuração da estabilidade térmica dos ecossistemas lacustres. Tal indicador condiciona a dinâmica do oxigênio dissolvido - OD em mg/L e o potencial de oxirredução - ORP em mV

(parâmetros agrupados pelo indicador “condição oxidante/redutora da coluna d’água”) conforme a sazonalidade ao longo dos anos de monitoramento. Valores elevados de  $RTR_i$  são correlacionados com condições hipóxicas ( $<2,0$  mg de oxigênio dissolvido/L) e anóxicas no fundo da coluna d’água e condições redutoras nos lagos Nova e Limão, respectivamente. Sob condições redutoras ocorrem processos de dessorção de P, Fe, Al e Mn com a difusão destes elementos do sedimento para o fundo da coluna d’água. Por exemplo, quando o fundo da coluna d’água apresenta condições redutoras (valores negativos de ORP), há um incremento da condutividade elétrica e concentração de  $NH_4^+$  devido à predominância do processo de amonificação durante o período de estratificação. A forte estabilidade térmica da coluna d’água ( $RTR_i > 100$ ) durante o período chuvoso é característico dos lagos do Limão (E18), Nova (E19) e Palmas (E28).

O indicador “Estado Trófico” é descrito pelo índice de Estado Trófico – IET médio, calculado pelas concentrações de  $P_{total}$  ( $\mu g/L$ ) e clorofila-a ( $\mu g/L$ ). A partir desse indicador é possível constatar a variação do estado nutricional e de produtividade aquática, por meio de classificações, dos ecossistemas fluviais e lacustres da Bacia do Baixo rio Doce influenciados pela dinâmica das concentrações de nutrientes, sobretudo de PT, em diferentes períodos sazonais. Este indicador tem ressaltado a evolução da qualidade de água ao longo dos anos de monitoramento. Por exemplo, nas estações da calha do rio Doce, o IET tem aumentado entre os anos, provavelmente em decorrência dos incrementos de PT e clorofila-a, que representa a biomassa do fitoplâncton. Assim, por meio do IET, identificou-se que os ecossistemas monitorados podem variar de oligotróficos ( $47 < IET \leq 52$ ), indicando um metabolismo mais equilibrado, a eutróficos ( $59 < IET \leq 63$ ), com o metabolismo intensificado e consequente decomposição da matéria orgânica, redução de oxigênio dissolvido e condições mais ácidas.

O indicador “fluxos de nutrientes” em t/d, calculado por meio das concentrações de  $N_{total}$ , NID,  $P_{total}$ , PID e Silicato e a vazão fluvial na estação E21 do rio Doce, mensura o transporte diário de materiais para o oceano costeiro e constitui um importante indicador da integridade geoquímica da bacia hidrográfica (Meybeck & Vörösmarty, 2005; Meybeck, 2013;). Considerando que parte do rejeito de minério de Fe é composto por  $SiO_2$  e éter-aminas, o fluxo fluvial para o oceano costeiro resulta no enriquecimento de nutrientes (Cagnin *et al.*, 2022). As éter-aminas são utilizadas na separação do quartzo pelo processo de flotação e sua dissociação tende ao enriquecimento de nitrogênio inorgânico dissolvido, inicialmente na forma de íon amônio ( $NH_4^+$ ) e posterior oxidação em nitrato ( $NO_3^-$ ) (Santos *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2021). Assim, por meio desse indicador foi possível constatar o incremento do transporte de  $N_{total}$ , NID,  $P_{total}$ , PID e Silicato ao longo dos anos de monitoramento.

Para o indicador “testemunho de sedimentos em lagos e lagoas”, foi possível analisar a composição mineralógica e concentrações de metais, constituindo registros relevantes dos processos biogeoquímicos naturais e antropogênicos que ocorreram nos ecossistemas aquáticos e no seu entorno (Binford, 1983). Este indicador é referente apenas aos lagos e lagoas por serem ambientes mais favoráveis à sedimentação que os rios, onde o transporte fluvial promove a exportação do material particulado em suspensão. A partir desse indicador foi possível conhecer o período da deposição sedimentar de 0,8 a 1,0 m de comprimento do fundo dos lagos que variou com datação inicial de 1811

a 1850 e final de 2019 a 2020. Além da datação, foi possível calcular o “Índice de Enriquecimento (IE)”, usando o cobalto (Co) como valor de referência da geoquímica da porção superior da crosta terrestre. Esse índice revelou que ocorreu enriquecimento severo ( $IE > 10$ ) de níquel (Ni) e arsênio (As) na Lagoa Monsarás (E25) a partir de 1996 e 2011; de As e Fe na Lagoa Areal (E24) a partir dos anos de 1845 e 2019, respectivamente. No Lago Limão (E18) foi observado enriquecimento moderadamente severo ( $IE = 5$  a  $10$ ) para As em 1998 e Fe em 2013; no Lago Nova (E19) para As (1987), Fe (2005) e Pb (2006); no Lago Juparanã (E20) para As (1957); na Lagoa Areão (E23) para As (1888); e na Lagoa Areal (E24) para Fe (anterior a 1845).

## 5 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

Todos os itens previstos foram cumpridos para o Tema.

## 6 REFERÊNCIAS

Anschutz, P. & Deborde, J. (2016). Spectrophotometric determination of phosphate in matrices from sequential leaching of sediments. *Limnology and Oceanography Methods*, 14(4):245-256.

APHA (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21<sup>st</sup> ed American Public Health Association - APHA, American Water Works Association - AWWA and Water Environmental Federation - WEF.

APHA (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23<sup>rd</sup> ed., American Public Health Association - APHA, American Water Works Association - AWWA and Water Environmental Federation - WEF.

Barroso, G.F., Gonçalves, M.A. & Garcia, F.C. (2014). The Morphometry of Lake Palmas, a Deep Natural Lake in Brazil. PLoS ONE, 9(11): e111469. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111469>

Birch, G.F. (2003). A test of normalization methods for marine sediment, including a new post-extraction normalization (PEN) technique. *Hydrobiologia*, 492(1–3):5–13. <https://doi.org/10.1023/A:1024844629087>

Bozelli, R. L., Esteves, F. A., Roland, F. and Suzuki, M. S. (1992). Padrões de funcionamento das lagoas do Baixo Rio Doce: variáveis abióticas e clorofila-a (Espírito Santo - Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 4: 13-31.

Binford, L. R. 1983. Em busca do passado. A Descodificação do Registro Arqueológico. Trad. de João Zilhão. Londres: Europa-América, 304 pp

Cagnin, R.C., Longhini, C.M., Costa, E.S., da Silva, Cesar Alexandro, Zorzal-Almeida, S., Mendes, D., Pasa, V.M.D., Barbeira, P.J.S., Delazari-Barroso, A., Gücker, B., Boëchat, I.G., Lima, A.T., Neto, R.R.,

Sá, F., Barroso, G.F., Silva, C A, Zorzal-Almeida, S., Mendes, D., Pasa, V.M.D., Barbeira, P.J.S., Delazari-Barroso, A., Gucker, B., Boechat, I., Lima, A.T., Rodrigues Neto, R., Barroso, G.F., 2022. Macronutrients and dissolved iron in a land-ocean approach: Influences of contamination by ore tailings in Southeastern Brazil. *Front. Mar. Sci.* 9, 990809. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.990809>

Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2): 361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>

Cole, G. A. (1994). *Textbook of limnology*. Waveland Press Inc.,

Costa, E. S., Cagnin, R. C., Silva, C. A., Longhini, C. M., Sá, F., Lima, A. T., Gomes, L. E. d. O., Bernardino, A. F. and Neto, R. R. (2021). Iron ore tailings as a source of nutrients to the coastal zone. *Marine Pollution Bulletin*, 171: 112725. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112725>

FEST, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. Relatório Anual do PMBA/Fest-UFES – RT-46, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. 306 pag. 2024.

Gonçalves, M.A., Garcia, F.C. & Barroso, G.F. (2016). Morphometry and mixing regime of a tropical lake: Lake Nova (Southeastern Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(3):1341-1356. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150788>

Håkanson, L. & Jansson, M. (1983). *Principles of lake sedimentology*. Cladwell, The Blackburn Press.

Hatje, V., Pedreira, R. M. A., De Rezende, C. E., Schettini, C. A. F., De Souza, G. C., Marin, D. C. & Hackspacher, P. C. (2017). The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. *Scientific Reports*, 7: 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11143-x>

Langmuir, Donald, 1997, *Aqueous environmental geochemistry: Upper Saddle River, New Jersey*, Prentice Hall, 600 p.

Lamparelli, M.C. (2004). Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Departamento de Ecologia. São Paulo, Universidade de São Paulo. Doutorado: 235p.

Magris, R. A., Marta-Almeida, M. M., Monteiro, J. A. F., & Banb, N. C. (2019). A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil). *Science of the Total Environment*, 659, 828–840. <https://doi.org/10.1016/j.scito.tenv.2018.12.238>

Meybeck, M. and Vörösmarty, C. J. (2005). Fluvial filtering of land-to-ocean fluxes: from natural Holocene variations to Anthropocene. *Comptes Rendus Geosciences*, 337(1-2): 107-123. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.09.016>

Meybeck, M. I. C. H. E. L. (2013). Heavy Metal Contamination in Rivers across the Globe: An Indicator of Complex Interactions between Societies and Catchments. *Proceedings of H04 Understanding Freshwater Quality Problems in a Changing World*, 361, 3-16.



- Mia, S., DeLaune, R. D. and Jugsujinda, A. (2006). Influence of sediment redox conditions on release/solubility of metals and nutrients in a Louisiana Mississippi River deltaic plain freshwater lake. *Science of The Total Environment*, 371(1):334-343. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.07.027>
- Miller, M. E., Ghisolfi, R. D. & Barroso, G. F. (2023). Remote sensing monitoring of mining tailings in the fluvial-estuarine-coastal ocean continuum of the Lower Doce River Valley (Brazil). *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(542). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11123-x>
- Mortimer, C. H. (1942). The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. *Journal of Ecology*, 29(2): 280-329. <https://doi.org/10.2307/2256691>
- Reid, T., Valipour, R., Biberhofer, J., Pascoe, T. & Zastepa, A. (2023). Spatial and temporal patterns of redox-sensitive and bio-relevant micronutrients in a large complex binational lake system: Lake of the Woods. *Journal of Great Lakes Research*, 49(1): 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2022.12.003>
- Sakan, S.; Sakan, N.; Đorđević, D. (2015). Evaluation of the possibility of using normalization with cobalt in detection of anthropogenic heavy metals in sediments. *Advances in Chemistry Research*, 26:167-183.
- Shashi, J.; Singh, J.; Dwivedi, A. K. Numerical interdependence in pH, acidity and alkalinity of a polluted river water. *Journal of Environmental Biology*, v. 30, n. 5, p. 773–775, 2009.
- Santos, O. S. H., Avellar, F. C., Alves, M., Trindade, R. C., Menezes, M. B., Ferreira, M. C., França, G. S., Cordeiro, J., Sobreira, F. G., Yoshida, I. M., Moura, P. M., Baptista, M. B. and Scotti, M. R. (2019). Understanding the environmental impact of a mine dam rupture in Brazil: Prospects for remediation. *Journal of Environmental Quality*, 48(2): 439–449. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.04.016>
- Song, K., Xenopoulos, M.A., Buttle, J.M., Marsalek, J., Wagner, N.D., Pick, F.R. & Frost, P.C. (2013). Thermal stratification patterns in urban ponds and their relationships with vertical nutrient gradients. *Journal of Environmental Management*, 127: 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.052>
- Souza, W. F. L., Knoppers, B., Balzer, W. & Leipe, T. (2003). Geoquímica e fluxos de nutrientes, ferro e manganês para a Costa Leste do Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, 17(2): 130-144.
- Scheffer, M., 1998. *Ecology of Shallow Lakes*. Springer.
- Straskraba, M. and Tundisi, J. G. (2000). Gerenciamento da qualidade da água em reservatórios. São Carlos, Instituto Internacional de Ecologia/International Lake Environmental Committee
- Wetzel, R.G. and Likens, G.E. 2000. *Limnological Analyses*. 3 Ed, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3250-4>
- Wedepohl, K.H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59(7):1217-1232 [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2)