

**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- 46/ JUN 24

RA2023 PMBA/Fest

Vitória,

Junho de 2024

EQUIPE TÉCNICA

Gilberto Fonseca Barroso
Eline Nayara Dantas da Costa
Fernando Henrique Lemos
Júlia de Almeida Leite
Danillo Silva Zacché
Felicidade Porto Lobianco
Debora Gonçalves Barbosa
Emanuele Correa Santos

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	4
2	METODOLOGIA	4
2.1	COLETA	4
2.2	ANÁLISE.....	7
2.3	HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS.....	9
3	RESULTADOS DOS INDICADORES	9
3.1	CLARIDADE DA ÁGUA.....	10
3.2	ACIDEZ/ ALCALINIDADE	14
3.3	ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA DOS ECOSSISTEMAS LACUSTRES	18
3.4	CONDIÇÃO OXIDANTE/REDUTORA DA COLUNA D'ÁGUA.....	21
3.5	FLUXOS DE NUTRIENTES	25
3.6	ESTADO TRÓFICO.....	27
3.7	TESTEMUNHO DE SEDIMENTOS EM LAGOS E LAGOAS	31
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS 5 ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO	48
5	ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS	50
6	REFERÊNCIAS	50

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

A malha e frequência amostral do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) passou por modificações ao longo do tempo, visando seu aperfeiçoamento para atendimento aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) MS – Malha e Frequência amostral, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) MS – Mapas das malhas amostrais, com a espacialização histórica referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais monitoradas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais monitoradas 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 METODOLOGIA

A metodologia apresentada contempla o escopo em vigência no momento de entrega deste relatório, ou seja, as amostragens e análises previstas para o Novo Ciclo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA submetidas à Fundação Renova através do FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PLANO DE TRABALHO em agosto de 2022 (e dezembro de 2022 para o Tema Ecotoxicologia). 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 a fim de determinar os indicadores.

2.1 COLETA

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).

A estação amostral do Rio Guandu (E17) foi 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 foram 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 do potencial retenção de materiais pelas represas (Aimorés e Mascarenhas). À jusante das barragens o monitoramento continua a ser desenvolvido na estação de Itapina, Colatina. ES - E0 que serve como comparação para as condições da estação de Resplendor. A próxima estação à jusante é Linhares – E21 que continua sendo monitorada desde outubro de 2018 e servindo como referência para estimativa dos fluxos hidrológicos de sedimentos, nutrientes e metais. A estação E-22, intermediária entre Linhares – E21 e Regência – E26, foi 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, é um importante sítio para dissolução e precipitação de elementos químicos particulados e 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 foi descontinuada a partir de setembro de 2021. Em substituição a Lagoa do Areão foi inserida a Lagoa Cacimbas (E27), localizada a cerca de 5 km a oeste da Vila de Regência. A Lagoa Monsarás continua sendo 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 estação do Lago do Limão – E18 foi substituída pela estação E28 no Lago Palmas. 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).

Desde outubro de 2022 a zona litorânea dos lagos e lagoas vêm 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, perifiton e zooplâncton.

A partir de outubro de 2022, 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.

As amostras de água são 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 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 1C). 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) 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 CaCO₃/L por titulação com H₂SO₄ 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).

Para a determinação do Índice de Estado Trófico dos rios e ecossistemas lacustres, foi utilizado no cálculo do IVA, composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo – IET(PT) e o Índice do Estado Trófico para a *Clorofila-a* – IET(CL), modificados por Lamparelli (2004), sendo estabelecidos para ambientes lóticos, 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 apresentado nas tabelas do IET 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 foram calculadas pela relação matemática 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/cm³. 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, a vazão diária (m³/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 deverá ser anotada a leitura da régua limnimétrica, instalada nas seções de medição. 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 m³/s e Ci é concentração em mg/L. Concentrações em µg/L, é necessário dividir por 10⁹.

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

No sedimento foram determinados os parâmetros físicos densidade (kg/m³), 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 efetiva na detecção 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 de 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 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 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:

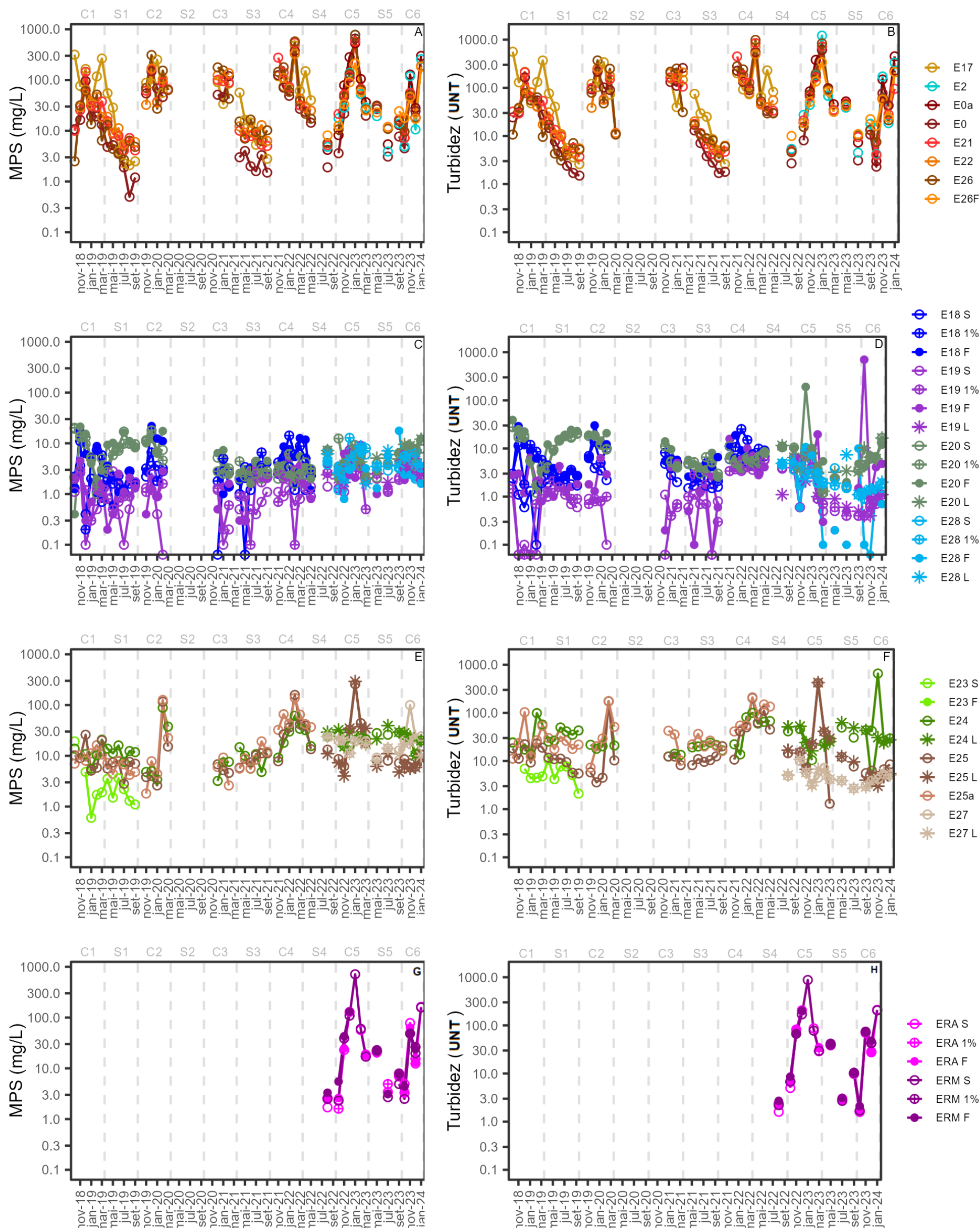
3.1 CLARIDADE DA ÁGUA

Quadro 1 Matriz água. Período amostral de outubro/2018 a janeiro de 2024. Estatística descritiva do indicador Claridade da Água a partir dos parâmetros: Material particulado em suspensão – MPS (mg/L) e Turbidez em UNT das estações no Rio Manhuaçu (E2); Rio Guandu (E17); Rio Doce (E0a, E0, E21, E22, E26 e E26F); nos Reservatórios Aimorés (ERA) e Reservatório de Mascarenhas (ERM); no Lago do Limão (E18); Lago Nova (E19 e E19L); Lago Juparanã (E20 e E20L) e Lago Palmas (E28 e E28L); na Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24 e E24L), Lagoas Cacimbas (E27 e E27L) e na Lagoa Monsarás (E25, E25a e E25L); 1% da radiação fotossintética Ativa (1% RFA): 1% de radiação fotossintética ativa. D.P.: desvio padrão; C.V. Coeficiente de variação

Rio Manhuaçu										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E2	Superfície	14	154,81	36,55	4,20	1213,90	319,06	206,09
MPS	mg/L	E2	Superfície	14	105,21	23,90	3,90	775,00	205,72	195,54
Rio Guandu										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E17	Superfície	32	130,02	75,55	2,60	700,00	161,52	124,23
MPS	mg/L	E17	Superfície	32	88,99	58,60	2,10	476,70	106,08	119,20
Rio Doce (Resplendor)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E0a	Superfície	14	140,06	48,85	3,00	611,40	194,56	138,91
MPS	mg/L	E0a	Superfície	14	111,01	33,90	4,20	529,00	155,07	139,68
Rio Doce (Itapina)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E0	Superfície	45	85,14	33,00	1,50	611,40	129,25	151,81
MPS	mg/L	E0	Superfície	45	56,63	19,20	0,50	656,00	113,28	200,02
Rio Doce (Linhares)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E21	Superfície	47	98,39	39,00	3,70	850,00	169,29	172,06
MPS	mg/L	E21	Superfície	47	71,74	29,80	4,10	573,30	117,72	164,08
Rio Doce (Linhares/Regência)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E22	Superfície	31	72,22	39,55	3,70	500,00	100,31	138,91
MPS	mg/L	E22	Superfície	31	51,30	29,00	5,00	327,60	64,65	126,02
Rio Doce (Regência)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E26	Superfície	47	105,50	31,20	3,10	987,00	194,71	184,55
MPS	mg/L	E26	Superfície	47	78,66	26,30	2,70	776,70	144,40	183,56
Rio Doce (Foz)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E26F	Superfície	14	75,39	36,65	10,00	339,60	94,80	125,75
MPS	mg/L	E26F	Superfície	14	54,41	24,60	8,10	211,30	64,53	118,58
Reservatório Aimorés										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	ERA	Superfície	13	59,22	29,10	1,60	210,20	72,45	122,35
MPS	mg/L	ERA	Superfície	13	40,04	18,60	1,70	162,70	52,54	131,22
Turbidez	UNT	ERA	1% RFA	8	14,94	8,30	1,60	38,50	14,66	98,16
MPS	mg/L	ERA	1% RFA	8	9,13	6,05	1,60	21,00	7,53	82,54
Turbidez	UNT	ERA	Fundo	11	43,23	27,80	1,60	197,60	58,14	134,49
MPS	mg/L	ERA	Fundo	11	26,18	13,00	2,40	128,50	38,22	145,98
Reservatório de Mascarenhas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	ERM	Superfície	14	114,55	41,05	1,70	875,90	227,78	198,85
MPS	mg/L	ERM	Superfície	14	85,81	20,95	2,30	713,30	186,31	217,12
Turbidez	UNT	ERM	1% RFA	3	31,77	41,70	10,30	43,30	18,61	58,58
MPS	mg/L	ERM	1% RFA	3	19,00	22,80	7,90	26,30	9,77	51,43
Turbidez	UNT	ERM	Fundo	10	46,24	26,25	2,10	201,30	61,31	132,59
MPS	mg/L	ERA	Fundo	10	29,42	15,45	3,10	131,00	39,45	134,10
Lago do Limão										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E18	Superfície	32	3,00	2,25	0,10	7,08	1,93	64,20
MPS	mg/L	E18	Superfície	32	2,14	2,10	0,00	5,00	1,13	52,82
Turbidez	UNT	E18	1% RFA	32	6,73	4,92	1,80	25,30	5,14	76,41
MPS	mg/L	E18	1% RFA	32	4,08	3,20	0,00	14,20	3,10	76,04
Turbidez	UNT	E18	Fundo	32	7,98	6,16	2,13	30,07	6,75	84,61
MPS	mg/L	E18	Fundo	32	5,43	3,20	0,60	21,80	5,20	95,91

Lago Nova										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E19	Superfície	46	1,51	0,80	0,00	6,80	1,62	107,43
MPS	mg/L	E19	Superfície	46	1,49	1,15	0,00	6,00	1,38	92,94
Turbidez	UNT	E19	1% RFA	46	1,75	0,95	0,00	9,00	1,85	105,83
MPS	mg/L	E19	1% RFA	46	1,72	1,30	0,10	7,30	1,39	80,59
Turbidez	UNT	E19	Fundo	46	3,77	2,83	0,10	19,56	3,87	102,80
MPS	mg/L	E19	Fundo	46	2,27	2,05	0,20	9,30	1,72	75,78
Turbidez	UNT	E19L	Litoral	14	1,91	1,00	0,40	8,10	2,21	115,64
MPS	mg/L	E19L	Litoral	14	3,04	2,65	1,70	6,40	1,31	43,12
Lago Juparanã										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E20	Superfície	46	8,44	5,75	1,20	28,40	6,27	74,26
MPS	mg/L	E20	Superfície	46	5,69	4,10	1,00	19,30	4,18	73,45
Turbidez	UNT	E20	1% RFA	46	8,61	6,10	1,20	27,60	6,08	70,55
MPS	mg/L	E20	1% RFA	46	6,22	4,60	1,60	20,20	4,35	69,84
Turbidez	UNT	E20	Fundo	46	10,97	8,05	1,80	39,10	8,26	75,31
MPS	mg/L	E20	Fundo	46	6,24	4,50	0,40	21,20	4,64	74,25
Turbidez	UNT	E20L	Litoral	14	6,49	6,30	1,30	16,50	4,10	63,18
MPS	mg/L	E20L	Litoral	14	6,16	5,55	2,10	12,00	2,83	45,96
Lago Palmas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E28	Superfície	14	2,44	1,90	1,10	4,60	1,27	52,10
MPS	mg/L	E28	Superfície	14	3,96	3,45	2,00	7,70	1,64	41,35
Turbidez	UNT	E28	1% RFA	14	2,56	1,70	0,90	9,00	2,15	83,98
MPS	mg/L	E28	1% RFA	14	5,37	4,90	1,20	12,80	2,91	54,08
Turbidez	UNT	E28	Fundo	14	3,16	1,05	0,00	10,70	3,81	120,76
MPS	mg/L	E28	Fundo	14	3,03	2,20	1,10	7,40	1,93	63,72
Turbidez	UNT	E28L	Litoral	14	4,56	4,30	1,60	8,60	1,96	43,07
Lagoa Areão										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E23	Meio	11	7,51	5,10	2,10	24,60	6,12	81,46
MPS	mg/L	E23	Meio	11	3,76	1,90	0,60	19,20	5,27	140,07
Lagoa Areal										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E24	Meio	45	35,99	24,00	6,69	174,58	30,96	86,03
MPS	mg/L	E24	Meio	45	18,04	13,80	3,20	88,40	15,60	86,48
Turbidez	UNT	E24L	Litoral	13	33,18	27,50	3,60	62,50	17,01	51,28
MPS	mg/L	E24L	Litoral	13	24,62	25,20	10,00	39,30	7,84	31,85
Lagoa Monsarás										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E25	Meio	46	33,43	11,20	1,30	414,66	70,10	209,66
MPS	mg/L	E25	Meio	46	23,38	8,37	2,60	257,33	45,11	192,93
Turbidez	UNT	E25a	Meio	33	49,23	29,30	7,30	210,00	50,14	101,84
MPS	mg/L	E25a	Meio	33	23,11	8,80	1,80	138,80	32,82	142,06
Turbidez	UNT	E25L	Litoral	14	42,88	11,00	3,00	425,00	110,55	257,81
MPS	mg/L	E25L	Litoral	14	33,49	7,85	4,00	292,00	75,40	225,17
Lagoa Cacimbas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Turbidez	UNT	E27	Meio	14	4,86	4,35	2,70	10,10	1,91	39,25
MPS	mg/L	E27	Meio	14	24,02	20,00	9,20	100,00	22,34	92,99
Turbidez	UNT	E27L	Litoral	14	5,01	4,70	2,70	10,80	2,09	41,76
MPS	mg/L	E27L	Litoral	14	16,81	17,50	8,00	24,00	5,26	31,30

Figura 2: Matriz – água. Período amostral de outubro/2018 a janeiro/2024. Gráficos de Linha do indicador claridade da água com material particulado em suspensão – MPS (mg/L) e Turbidez (UNT). A) variação sazonal e anual do MPS e B) variação sazonal e anual da Turbidez nos Rios: Manhuaçu (E2), Guandu (E17) e Rio Doce (E0a, E0, E21, E22, E26 e E26F); C) variação sazonal e anual do MPS e D) variação sazonal e anual da Turbidez nos Lagos: Limão (E18), Nova (E19 e E19L), Juparanã (E20 e E20L) e Palmas (E28 e E28L); E) variação sazonal e anual do MPS e F) variação sazonal e anual da Turbidez nas lagoas: Areão (E23), Areal (E24 e E24L), Monsarás (E25, E25a e E25L) e Cacimbas (E27 e E27L); G) variação sazonal e anual do MPS e H) variação sazonal e anual da Turbidez nos Reservatórios: Aimorés (ERA) e Mascarenhas (ERM); Profundidades para reservatório e lagos: S= superfície; 1% = 1% de Radiação Fotossintética Ativa e F= Fundo. C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1, respectivamente; C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2, respectivamente; C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3, respectivamente; C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4, respectivamente e C5 = Período chuvoso do Ano 5 e C6= Período chuvoso Ano 6. Lacuna de dados entre março/2020 a novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19.



As concentrações de MPS e turbidez em todos os ecossistemas apresentaram significativa correlação ($p = 0,94$, Spearman $p < 0,05$). Para o Rio Doce (E0a, E0, E21, E22, E26 e E26F), reservatórios (ERA e ERM) e Lagoa Cacimbas (E27 e E27L) as maiores concentrações ocorreram no período chuvoso, comparadas ao período seco - Mann-Whitney, $p < 0,05$. No Rio Guandu (E17) e na calha do Rio Doce (E0, E21, E26), foi observado aumento das concentrações de MPS e turbidez ao longo dos anos (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$) com concentrações médias relativamente elevadas (Figura 2ª e B; Quadro 1). As concentrações médias de turbidez nas estações E0a, E26 e E26F são superiores ao limite máximo admissível para Classe 2 da Resolução CONAMA N. 357 de 2005 - 100 UNT (Figura 2B; Quadro 1). Em E0 e E21 apenas durante o período chuvoso os valores de turbidez ultrapassam o referido limite (Figura 2B; Quadro 1). Os maiores valores foram registrados na estação de Regência (E26) com turbidez de 987 UNT e MPS de 776,7 mg/L. Na estação 26F, os valores mínimos de MPS (8,1 mg/L) e turbidez (10,1 UNT) estão acima dos valores mínimos encontrados nas demais estações da calha do Rio Doce (Quadro 1), sugerindo a influência das marés com a ressuspensão de sedimentos e aporte de material fluvial depositado na região marinha defrontante a foz do Rio Doce. No Rio Manhuaçu (E2) a turbidez média (154,8 UNT) e máxima (1213,90) é superior aos valores das estações do Rio Doce e Rio Guandú (Figura 2A e B; Quadro 1).

Com relação aos lagos, em E19 (Lago Nova) nota-se uma tendência de incremento de MPS e turbidez ao longo dos cinco anos de monitoramento, sendo a tendência oposta observada em E20 - Lago Juparanã (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$; Figura 2C e D; Quadro 1). Em E19 foi observada a maior penetração de luz na coluna de água confirmada pelos menores valores de MPS e turbidez ao longo da coluna de água, seguido de E28 (Lago Palmas). Dentre os lagos, em E20 foram identificadas as maiores concentrações médias de turbidez em torno de 8,0 UNT e MPS em torno de 6,0 mg/L (Figura 2C e D; Quadro 1) sem diferença significativa entre as profundidades (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$), indicando uma coluna d'água homogênea. O Lago Juparanã tem morfometria que favorece a ação do vento e a mistura da coluna d'água, comprimento máximo efetivo de 19,7 km (NO-SE) e largura máxima efetiva de 4,4 km (NE-O). Recentemente, a conectividade e transporte de materiais do Rio Doce para E20 foi observada em 08/01/2024 em evento de elevada vazão na E21 do Rio Doce (1.549,6 m³/s). Segundo Miller et al. (2023) os parâmetros da claridade da água (turbidez e MPS) dos lagos e lagoas das planícies fluviais e costeiras, respectivamente, são influenciados por intrusão da água do Rio Doce durante eventos de cheias.

Nas Lagoas E23 (Areão), E24 (Areal) e Monsarás (E25 e E25a) não foram identificadas diferenças significativas entre os anos (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$; Figura 2E e F; Quadro 1). Observou-se que, no geral, os maiores valores de MPS ocorreram nas zonas litorâneas em relação ao meio das lagoas (Quadro 1). A zona litorânea, por ser mais rasa, é mais exposta a ressuspensão de sedimentos pela turbulência do vento. Além disso, é mais influenciada pelo aporte de sedimentos transportados durante eventos de pluviosidade local.

Nos reservatórios, os maiores valores médios de MPS e turbidez foram registrados em Mascarenhas – ERM em relação a Aimorés – ERA (Figura 2G e H; Quadro 1). Nas duas estações observou-se o mesmo padrão de distribuição na coluna de água, com MPS e turbidez mais elevados na superfície e no fundo, em relação a 1% de Radiação Fotossintética Ativa - 1% RFA (Quadro 1).

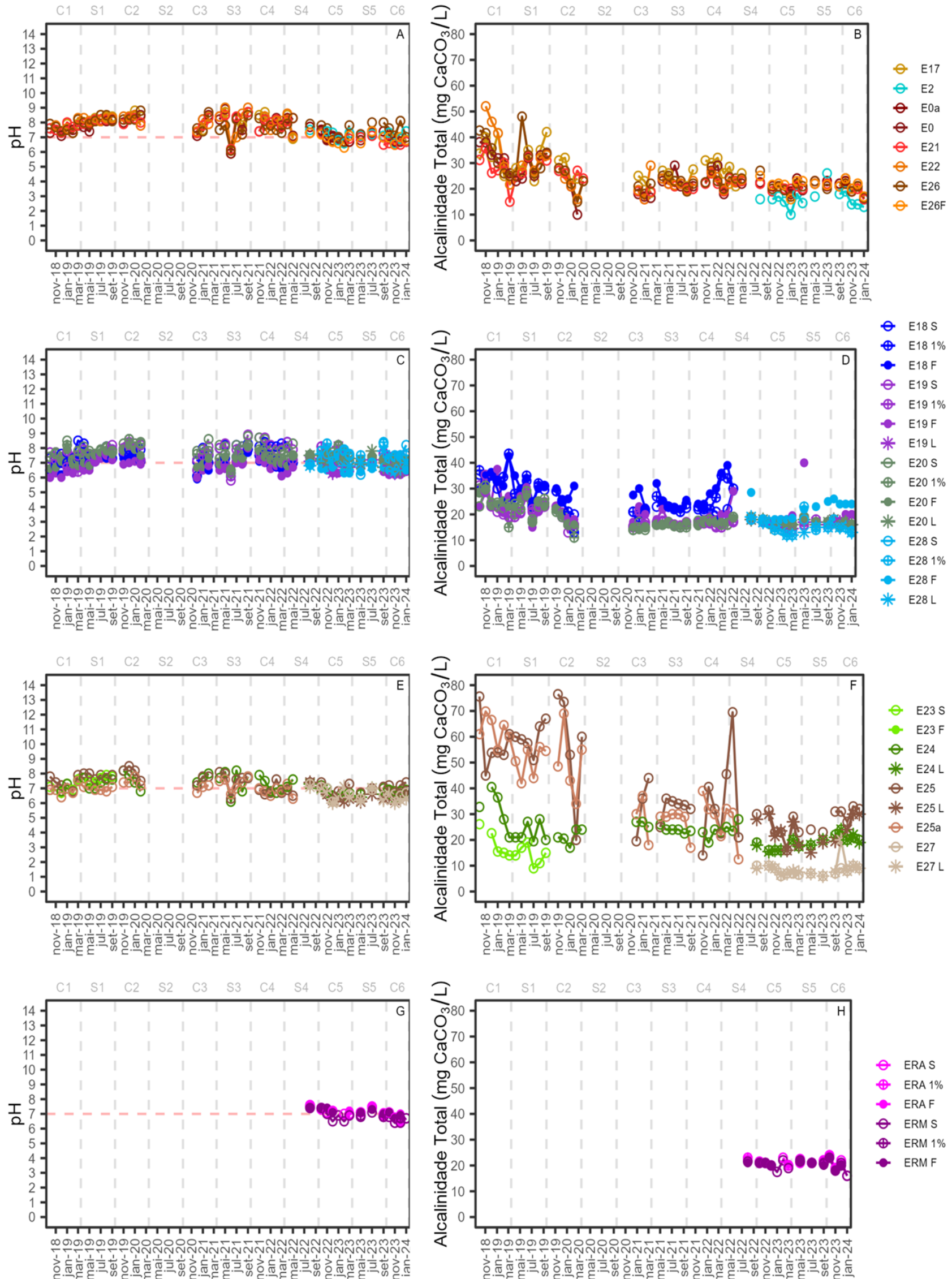
3.2 ACIDEZ/ ALCALINIDADE

Quadro 2 Matriz água. Período amostral de outubro/2018 a janeiro/2024. Estatística descritiva do Indicador Acidez/Alcalinidade: Potencial hidrogeniônico (pH) e Alcalinidade Total em mg CaCO₃ L das estações do Rio Manhuaçu (E2); Rio Guandu (E17); Rio Doce (E0a, E0, E21, E22, E26 e E26F); dos Reservatórios Aimorés (ERA) e Reservatório de Mascarenhas (ERM); do Lago do Limão (E18); Lago Nova (E19 e E19L); Lago Juparanã (E20 e E20L) e Lago Palmas (E28 e E28L); da Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24 e E24L), Lagoa Monsarás (E25, E25a e E25L) e Lagoas Cacimbas (E27 e E27L); 1% RFA: 1% de radiação fotossintética ativa; D.P.: desvio padrão; C.V. Coeficiente de variação

Rio Manhuaçu										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E2	Superfície	14	7,1	7,3	6,6	7,5	0,3	4,1
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E2	Superfície	14	16,3	16,0	10,0	26,0	3,7	22,5
Rio Guandu										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E17	Superfície	32	8,0	8,2	5,9	8,8	0,6	7,7
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E17	Superfície	32	28,3	27,0	18,5	42,0	6,0	21,2
Rio Doce (Resplendor)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E0a	Superfície	14	7,0	7,0	6,7	7,7	0,3	4,7
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E0a	Superfície	14	21,0	21,0	16,0	24,0	2,0	9,6
Rio Doce (Itapina)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E0	Superfície	45	7,6	7,5	5,9	8,9	0,7	8,7
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E0	Superfície	45	23,8	22,0	10,0	38,1	6,0	25,0
Rio Doce (Linhares)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E21	Superfície	46	7,6	7,8	6,2	8,7	0,7	8,8
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E21	Superfície	47	23,2	22,0	15,0	35,7	4,5	19,4
Rio Doce (Linhares/Regência)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E22	Superfície	30	7,8	7,8	6,1	8,8	0,6	7,2
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E22	Superfície	31	24,8	23,0	15,0	48,0	6,7	27,0
Rio Doce (Regência)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E26	Superfície	46	7,8	7,8	6,1	8,8	0,6	7,1
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E26	Superfície	47	24,8	23,0	15,0	48,0	6,7	27,0
Rio Doce (Foz)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E26F	Superfície	14	6,9	7,0	6,3	7,4	0,3	4,6
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E26F	Superfície	14	21,4	21,8	16,0	25,0	2,4	11,3
Reservatório Aimorés										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		ERA	Superfície	13	6,99	7,00	6,40	7,60	0,35	4,94
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	ERA	Superfície	13	21,00	21,50	16,00	23,00	1,93	9,17
pH		ERA	1% RFA	8	7,15	7,10	6,60	7,50	0,31	4,29
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	ERA	1% RFA	8	21,63	21,00	20,00	24,00	1,30	6,02
pH		ERA	Fundo	11	7,21	7,20	6,80	7,50	0,22	3,07
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	ERA	Fundo	11	21,18	21,00	19,00	24,00	1,31	6,18
Reservatório de Mascarenhas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		ERM	Superfície	14	6,83	6,80	6,40	7,40	0,32	4,75
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	ERM	Superfície	14	20,29	21,00	16,00	23,00	1,97	9,70
pH		ERM	1% RFA	3	6,80	6,80	6,70	6,90	0,10	1,47
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	ERM	1% RFA	3	20,67	20,50	20,00	21,50	0,76	3,70
pH		ERM	Fundo	10	7,14	7,10	6,70	7,40	0,24	3,31
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	ERA	Fundo	10	20,65	21,00	18,00	23,00	1,29	6,26
Lago do Limão										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E18	Superfície	32	7,81	7,91	6,11	8,48	0,49	6,28
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E18	Superfície	32	25,06	23,00	19,00	35,40	4,79	19,11
pH		E18	1% RFA	32	7,14	7,14	6,08	7,89	0,41	5,70
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E18	1% RFA	32	27,39	26,75	13,00	43,50	6,49	23,71
pH		E18	Fundo	32	6,92	7,04	5,94	7,71	0,42	6,05
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E18	Fundo	32	29,51	30,00	22,00	42,50	5,15	17,46

Lago Nova										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E19	Superfície	46	7,72	7,70	5,80	8,90	0,55	7,18
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E19	Superfície	46	18,66	17,00	13,00	35,30	4,34	23,25
pH		E19	1% RFA	46	7,24	7,20	6,10	8,20	0,47	6,49
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E19	1% RFA	46	18,41	17,00	14,00	29,70	3,67	19,91
pH		E19	Fundo	46	6,67	6,60	6,00	8,00	0,44	6,59
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E19	Fundo	46	20,88	19,25	15,00	40,00	5,40	25,85
pH		E19L	Litoral	14	6,94	6,75	6,30	8,10	0,56	8,11
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E19L	Litoral	14	16,54	17,00	14,50	18,00	1,01	6,10
Lago Juparanã										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E20	Superfície	46	7,81	7,80	6,30	8,80	0,54	6,88
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E20	Superfície	46	18,71	17,00	14,00	29,70	3,79	20,28
pH		E20	1% RFA	46	7,55	7,50	6,50	8,60	0,41	5,37
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E20	1% RFA	46	18,45	17,00	11,00	31,10	4,45	24,11
pH		E20	Fundo	46	7,25	7,20	6,50	8,20	0,42	5,79
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E20	Fundo	46	18,83	17,00	14,00	30,00	4,02	21,35
pH		E20L	Litoral	14	7,04	6,95	6,40	7,80	0,39	5,56
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E20L	Litoral	14	16,61	16,50	14,50	18,00	1,15	6,90
Lago Palmas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E28	Superfície	14	7,46	7,50	6,20	8,30	0,53	7,12
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E28	Superfície	14	15,39	15,00	12,00	18,00	1,94	12,62
pH		E28	1% RFA	14	7,51	7,50	6,90	8,40	0,46	6,08
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E28	1% RFA	14	15,50	15,00	12,00	23,00	2,93	18,89
pH		E28	Fundo	14	6,66	6,55	6,30	7,50	0,37	5,52
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E28	Fundo	14	21,64	22,50	16,00	28,50	3,83	17,70
pH		E28L	Litoral	14	7,10	7,00	6,40	8,00	0,47	6,61
Lagoa Areão										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E23	Meio	11	7,42	7,50	6,70	7,90	0,38	5,18
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E23	Meio	11	16,20	15,00	9,00	26,10	4,89	30,20
Lagoa Areal										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E24	Meio	44	7,23	7,24	6,11	8,22	0,51	7,08
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E24	Meio	45	23,91	23,50	16,00	40,50	5,41	22,65
pH		E24L	Litoral	13	6,66	6,60	6,30	7,30	0,29	4,31
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E24L	Litoral	13	19,00	19,00	15,50	24,00	2,51	13,20
Lagoa Monsarás										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E25	Meio	45	7,31	7,37	6,07	8,47	0,59	8,07
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E25	Meio	46	40,57	34,25	14,00	76,50	17,67	43,55
pH		E25a	Meio	32	7,06	7,00	6,30	7,80	0,37	5,31
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E25a	Meio	33	41,65	39,00	12,50	69,80	16,07	38,59
pH		E25L	Litoral	14	6,51	6,45	6,10	7,40	0,38	5,76
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E25L	Litoral	14	22,96	22,50	15,00	30,00	5,31	23,13
Lagoa Cacimbas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
pH		E27	Meio	14	6,63	6,60	6,10	7,30	0,35	5,31
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E27	Meio	14	7,96	7,50	6,00	10,00	1,50	18,83
pH		E27L	Litoral	14	6,50	6,35	6,00	7,10	0,40	6,09
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	E27L	Litoral	14	8,89	8,00	6,00	20,00	3,43	38,53

Figura 3: Matriz – água. Período amostral outubro/2018 a janeiro/2024. Gráficos de Linha do indicador acidez/alcalinidade: Potencial hidrogeniônico – pH e Alcalinidade Total (mg CaCO₃ mg/L). A) variação sazonal e anual do pH e B) variação sazonal e anual da Alcalinidade Total nos Rios: Manhuaçu (E2), Guandu (E17) e Rio Doce (E0a, E0, E21, E22, E26 e E26F); C) variação sazonal e anual do pH e D) variação sazonal e anual da Alcalinidade Total nos Lagos: Limão (E18), Nova (E19 e E19L), Juparanã (E20 e E20L) e Palmas (E28 e E28L); E) variação sazonal e anual do pH e F) variação sazonal e anual da Alcalinidade Total nas lagoas: Areão (E23), Areal (E24 e E24L), Monsarás (E25, E25a e E25L) e Cacimbas (E27 e E27L); G) variação sazonal e anual do pH e H) variação sazonal e anual da Alcalinidade Total nos Reservatórios: Aimorés (ERA) e Mascarenhas (ERM); Profundidades para reservatório e lagos: S= superfície; 1% = 1% de Radiação Fotossintética Ativa e F= Fundo. C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1, respectivamente; C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2, respectivamente; C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3, respectivamente; C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4, respectivamente e C5 = Período chuvoso do Ano 5 e C6= Período chuvoso Ano 6. Barra rosa tracejada indica pH neutro (7,0). Lacuna de dados entre março/2020 a novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19



Na calha do Rio Doce, não foram observadas diferenças estatísticas do pH e a alcalinidade entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Porém, nas estações (E0, E21 e E26) o pH e a alcalinidade diminuíram ao longo dos anos de monitoramento (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$; Quadro 2; Figura 3A e B). Os valores médios do pH nas estações da calha do Rio Doce (E0a, E0, E21, E22, E26, E26F) foram considerados de neutro para alcalino com valores médios entre 6,9 e 7,8 (Quadro 2). Porém, no período seco do Ano 3 foram reportados em uma mesma estação (E0) eventos de pH mais ácido (5,8) a mais alcalinos, chegando a 8,9 (Quadro 2; Figura 3A e B). Ao longo das estações do Rio Doce, os valores de pH e alcalinidade aumentam à jusante, partindo do pH em torno da neutralidade (E0a) para um ambiente mais alcalino (E26) (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$). Porém em E26F o pH torna a ser neutro, tal variabilidade é decorrente da influência marinha. Enquanto no Rio Manhuaçu (E2) o pH esteve em torno da neutralidade (média de 7,1), no Rio Guandu (E17) os valores foram mais alcalinos com média de 8,0 (Quadro 2). Não foram identificadas diferenças entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

Com relação aos lagos, enquanto os valores de pH decrescem com o aumento da profundidade, as concentrações de alcalinidade não variaram expressivamente entre o litoral, superfície, 1% RFA e fundo (Quadro 2; Figura 3C e D). Não foram observadas variações significativas entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney, $p < 0,05$) e constatou-se diferença estatística entre os anos (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$) com tendência a redução do pH e da alcalinidade ao longo dos anos de monitoramento apenas em E20 (Quadro 2; Figura 3C e D). Nos litorais dos Lagos Nova (E19L), Lago Juparanã (E20L) e Lago Palmas (E28L) verificam-se valores médios de pH mais ácidos em relação as demais profundidades, porém, as concentrações de alcalinidade foram próximas entre as profundidades (Quadro 2; Figura 3C e D).

A maior alcalinidade foi registrada na Lagoa Monsarás (E25) $40,57 \pm 16,07$ mg CaCO_3/L e pH entre neutro a levemente alcalino $7,31 \pm 0,59$ a capacidade de tamponamento dessa lagoa deve-se a intrusão de água do mar quando da abertura da barra da laguna (Quadro 2; Figura 3E e F). Na Lagoa Cacimbas foi registrada a menor concentração média de alcalinidade ($7,96 \pm 1,50$ mg CaCO_3/L) e pH ($6,63 \pm 0,35$). Nas lagoas, não foram observadas diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney, $p < 0,05$), porém, em E24 e E25 foram observadas diferenças significativas entre os anos (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$) com tendência a redução do pH e da alcalinidade total (Quadro 2; Figura 3E e F).

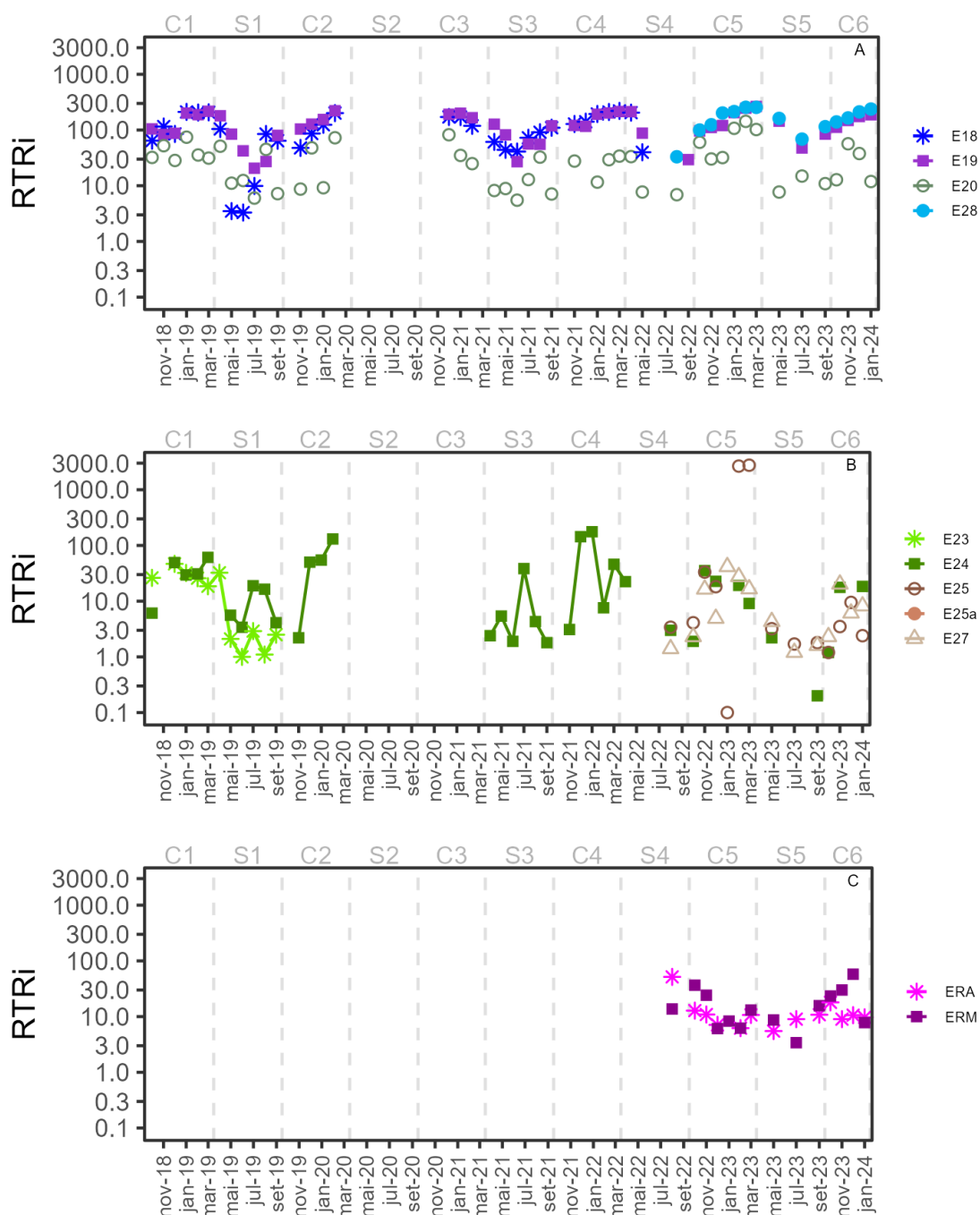
Ao longo da coluna d'água dos reservatórios de Aimorés (ERA) e Mascarenhas (ERM), os valores médios de pH foram em torno da neutralidade, entre 6,83 e 7,21 (Quadro 2; Figura 3G e H). Os valores de alcalinidade total também foram próximos entre as estações e entre as três profundidades (Superfície, 1% de RFA e fundo) com valores médios em torno de 20 mg CaCO_3/L (Quadro 2).

3.3 ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA DOS ECOSSISTEMAS LACUSTRES

Quadro 3 Matriz água. Período amostral de outubro/2018 a janeiro/2024. Estatística descritiva do indicador: Estratificação Térmica dos Ecossistemas Lacustres dos Reservatórios Aimorés (ERA) e Mascarenhas (ERM); do Lago do Limão (E18); Lago Nova (E19); Lago Juparanã (E20) e Lago Palmas (E28); da Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24), Lagoa Monsarás (E25) e Lagoas Cacimbas (E27); Temp. = temperatura; RTRi: resistência térmica relativa integrada; 1% RFA = 1% de Radiação Fotossintética Ativa; D.P.: desvio padrão; C.V. Coeficiente de variação.

Reservatório Aimorés										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	ERA	Superfície	13	27,51	28,10	22,70	30,70	2,38	8,64
Temperatura	°C	ERA	1% RFA	8	26,63	26,35	22,70	30,30	2,74	10,29
Temperatura	°C	ERA	Fundo	11	26,97	26,60	22,70	30,30	2,49	9,24
RTRi		ERA		13	13,22	10,60	5,50	51,60	11,95	90,40
Reservatório de Mascarenhas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	ERM	Superfície	14	27,72	27,75	23,40	32,00	2,47	8,91
Temperatura	°C	ERM	1% RFA	3	27,60	26,80	26,00	30,00	2,12	7,67
Temperatura	°C	ERM	Fundo	14	27,72	27,75	23,40	32,00	2,47	8,91
RTRi		ERM		14	18,21	13,40	3,40	57,70	15,09	82,87
Lago do Limão										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	E18	Superfície	32	28,6	28,5	23,5	32,2	2,3	8,2
Temperatura	°C	E18	1% RFA	32	26,4	26,6	22,9	29,2	1,6	6,1
Temperatura	°C	E18	Fundo	32	25,6	25,9	22,7	27,6	1,3	4,9
RTRi		E18		32	113,7	107,0	3,3	220,2	68,4	60,2
Lago Nova										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	E19	Superfície	46	28,02	27,60	23,70	31,40	2,11	7,53
Temperatura	°C	E19	1% RFA	46	26,41	26,35	23,40	29,90	1,57	5,95
Temperatura	°C	E19	Fundo	46	24,65	24,80	23,20	25,90	0,64	2,58
RTRi		E19		46	131,89	120,61	20,58	264,49	65,11	49,37
Lago Juparanã										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	E20	Superfície	64	27,35	27,25	22,50	31,90	2,35	8,60
Temperatura	°C	E20	1% RFA	64	27,04	27,20	22,40	30,30	2,11	7,79
Temperatura	°C	E20	Fundo	64	26,63	26,90	22,40	29,60	2,03	7,60
RTRi		E20		64	33,78	29,30	5,50	143,00	30,58	90,53
Lago Palmas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	E28	Superfície	14	27,86	28,05	24,00	30,50	2,04	7,30
Temperatura	°C	E28	1% RFA	14	26,88	26,85	23,90	29,70	1,95	7,27
Temperatura	°C	E28	Fundo	14	24,16	23,80	23,60	29,00	1,40	5,78
RTRi		E28		14	163,02	163,15	33,10	255,70	69,75	42,79
Lagoa Areão										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	E23	Meio	11	27,36	26,60	23,70	31,70	2,79	10,18
RTRi		E23	Meio	11	17,39	18,50	1,00	46,70	16,28	93,60
Lagoa Areal										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	E24	Meio	45	27,69	27,62	24,01	30,95	2,04	7,37
RTRi		E24	Meio	42	29,68	8,34	-1,36	197,50	47,39	159,65
Lagoa Monsarás										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	E25	Meio	46	26,83	27,08	21,14	30,80	2,25	8,39
RTRi		E25	Meio	46	469,31	17,82	0,11	2755,70	698,10	148,75
Lagoa Cacimbas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Temperatura	°C	E27	Meio	14	27,36	26,85	23,90	30,30	1,95	7,12
RTRi		E27	Meio	14	11,04	5,50	1,20	41,60	12,08	109,35

Figura 4: Matriz – água. Período amostral de outubro/2018 a janeiro/2024. Gráficos de Linha do indicador Estratificação Térmica dos ecossistemas Lacustres: Resistência térmica relativa integrada – RTRi (Log10). A) variação sazonal e anual do RTRi nos Lagos: Limão (E18), Nova (E19), Juparanã (E20) e Palmas (E28); B) variação sazonal e anual do RTRi nas lagoas: Areão (E23), Areal (E24), Lagoa Monsarás (E25) e Cacimbas (E27); C) variação sazonal e anual do RTRi nos Reservatórios: Aimorés (ERA) e Mascarenhas (ERM). C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1, respectivamente; C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2, respectivamente; C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3, respectivamente; C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4, respectivamente; e C5= Período chuvoso do Ano 5 e C6= Período chuvoso Ano 6. Lacuna de dados entre março/2020 a novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19.



Entre os lagos, foram observados diferentes padrões de estratificação, nesse caso, os Lagos Limão (E18) com $RTRi$ de $113,7 \pm 68,4$, Nova (E19) com $131,89 \pm 65,11$ e Palmas (E28) com $163,02 \pm 69,75$ foram classificados predominantemente como fortemente estratificados - $RTRi > 100$ (Quadro 3; Figura 4 A). O período de desestratificação térmica vai de outubro a abril com mistura da coluna d'água no outono - inverno, caracterizando o padrão monomítico (Barroso et al., 2014; Gonçalves et al., 2016). O Lago Juparanã (E20) foi classificado moderadamente estratificado ($RTRi = 33,78 \pm 30,58$) a desestratificado com mínima de 5,5 (Quadro 3). Esta condição deve-se a morfometria da bacia lacustre com significativa área da superfície exposta ao vento. Os valores da Resistência Térmica Relativa integrada ($RTRi$) 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 A). Não foram observadas diferenças entre os anos (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$).

O $RTRi$ das lagoas revela ambientes com classificações distintas de estratificação térmica (Quadro 3; Figura 4B). Por exemplo, a Lagoa Monsarás (E25) foi considerada fortemente estratificada com $RTRi$ médio de $469,31 \pm 698,10$ e máxima de 2.755,7, com diferenças significativas entre os anos (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$), variando de desestratificada ($RTRi: 0,11$) a fortemente estratificada a ($RTRi: 2755,7$; (Quadro 3). A estratificação da E25 é explicada pela diferença de salinidade entre superfície e fundo, influenciando significativamente na diferença de densidade (Relatório Anual, 2022).

A Lagoa do Areal (E24) foi classificada como moderadamente estratificada com diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney, $p < 0,05$) e valores máximos de $RTRi$ durante o período chuvoso. A Lagoa Cacimbas (E27) foi considerada moderadamente estratificada com $RTRi$ médio de $11,04 \pm 12,08$ (Quadro 3). O padrão térmico nos reservatórios, ERM e ERA, varia entre desestratificado ($RTRi < 10$) a moderadamente estratificado ($RTRi 50 \leq 100$; Quadro 3; Figura 4C).

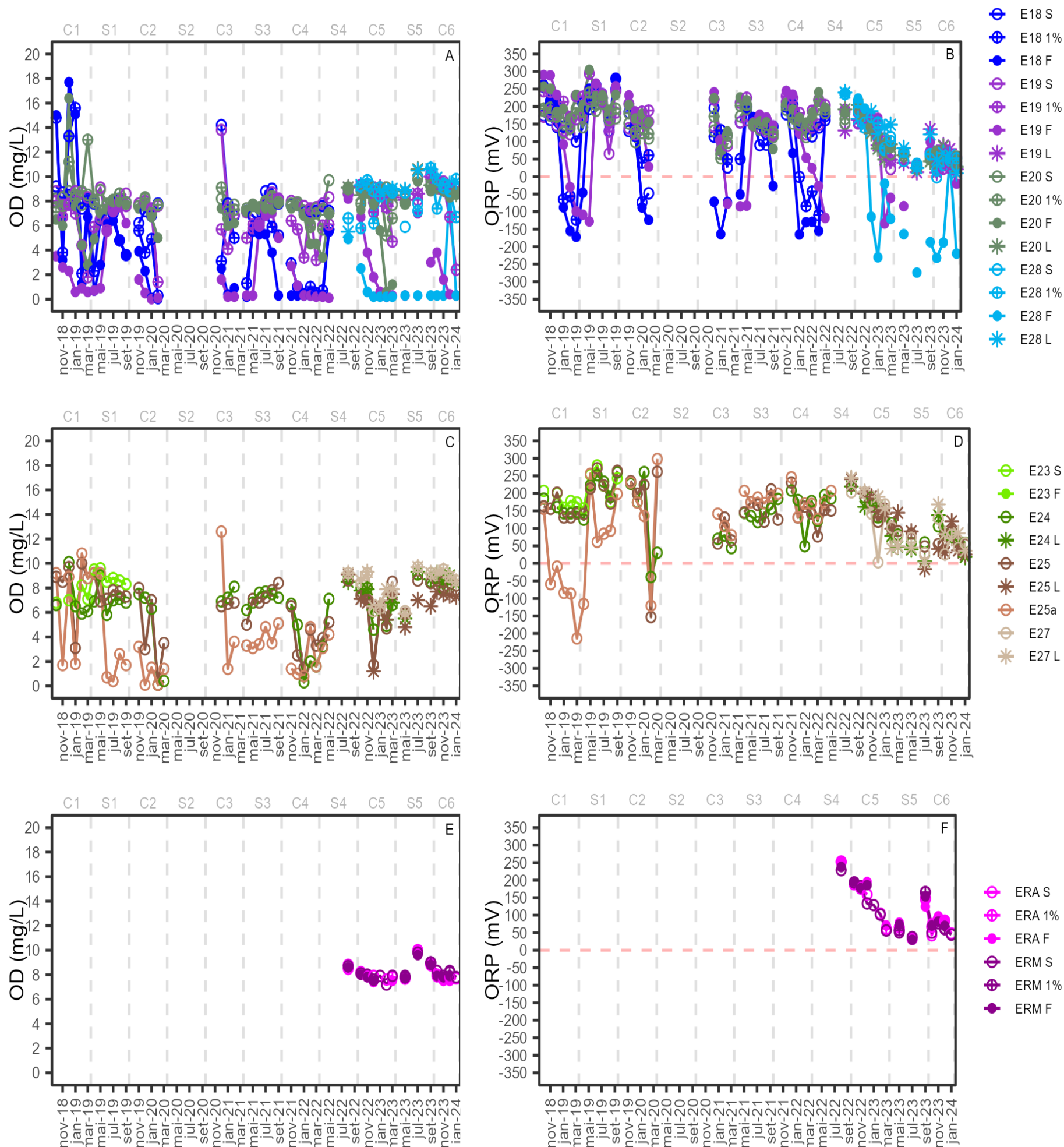
3.4 CONDIÇÃO OXIDANTE/REDUTORA DA COLUNA D'ÁGUA

Quadro 4 Matriz água. Período amostral de outubro/2018 a janeiro/2024. Estatística descritiva do indicador Condição oxidante/redutora da coluna d'água: Potencial de oxirredução – ORP (mV) e Oxigênio dissolvido – OD (mg/L) dos Reservatórios Aimorés (ERA) e Mascarenhas (ERM); do Lago do Limão (E18); Lago Nova (E19 e E19L); Lago Juparanã (E20 e E20L) e Lago Palmas (E28 e E28L); da Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24 e E24L), Lagoa Monsarás (E25 e E25L) e Lagoa Cacimbas (E27 e E27L). 1% RFA = 1% de Radiação Fotossintética Ativa; D.P.: desvio padrão; C.V. Coeficiente de variação.

Reservatório Aimorés										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	ERA	Superfície	13	111,08	89,90	32,30	251,40	67,89	61,12
OD	mg/L	ERA	Superfície	13	8,15	7,90	7,60	10,00	0,69	8,49
ORP	mV	ERA	1% RFA	8	112,90	74,85	36,00	253,20	76,27	67,55
OD	mg/L	ERA	1% RFA	8	8,31	8,00	7,70	9,90	0,75	8,99
ORP	mV	ERA	Fundo	11	126,76	96,40	37,50	252,40	68,48	54,02
OD	mg/L	ERA	Fundo	11	8,00	7,80	7,40	9,80	0,72	9,05
Reservatório de Mascarenhas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	ERM	Superfície	14	107,97	89,35	37,50	228,70	64,16	59,43
OD	mg/L	ERM	Superfície	14	8,17	7,95	7,20	9,80	0,64	7,88
ORP	mV	ERM	1% RFA	3	94,87	61,90	56,90	165,80	61,48	64,81
OD	mg/L	ERM	1% RFA	3	8,33	8,20	7,80	9,00	0,61	7,33
ORP	mV	ERM	Fundo	10	127,46	117,65	29,60	237,40	70,41	55,24
OD	mg/L	ERA	Fundo	10	8,16	7,90	7,50	9,60	0,64	7,90
Lago do Limão										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	E18	Superfície	32	137,24	144,50	-73,60	249,30	68,46	49,88
OD	mg/L	E18	Superfície	32	7,75	7,63	6,21	14,20	1,40	18,10
ORP	mV	E18	1% RFA	32	114,64	144,85	-123,00	279,50	116,45	101,58
OD	mg/L	E18	1% RFA	32	5,01	4,93	0,26	15,55	3,86	76,99
ORP	mV	E18	Fundo	32	54,42	106,50	-172,00	279,50	164,27	301,84
OD	mg/L	E18	Fundo	32	3,79	2,61	0,04	17,70	4,57	120,79
Lago Nova										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	E19	Superfície	46	132,33	141,50	21,70	246,90	56,90	42,99
OD	mg/L	E19	Superfície	46	8,26	8,05	6,10	13,80	1,21	14,69
ORP	mV	E19	1% RFA	46	164,29	174,00	32,20	294,00	67,80	41,27
OD	mg/L	E19	1% RFA	46	6,62	7,05	1,40	9,90	2,00	30,15
ORP	mV	E19	Fundo	46	91,84	112,95	-133,70	290,00	130,30	141,88
OD	mg/L	E19	Fundo	46	2,41	1,00	0,00	8,20	2,63	109,11
ORP	mV	E19L	Litoral	14	85,01	83,70	11,60	162,00	53,43	62,85
OD	mg/L	E19L	Litoral	14	8,90	9,05	7,60	10,00	0,61	6,81
Lago Juparanã										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	E20	Superfície	46	132,51	141,85	21,20	215,00	51,81	39,10
OD	mg/L	E20	Superfície	46	8,21	8,15	6,10	9,80	0,77	9,43
ORP	mV	E20	1% RFA	46	149,63	164,00	51,50	240,00	52,10	34,82
OD	mg/L	E20	1% RFA	46	7,97	7,80	5,20	13,00	1,30	16,32
ORP	mV	E20	Fundo	46	164,22	176,05	26,60	305,00	65,50	39,89
OD	mg/L	E20	Fundo	46	6,95	7,40	0,60	16,40	2,41	34,66
ORP	mV	E20L	Litoral	14	88,39	70,55	25,10	204,40	60,66	68,63
OD	mg/L	E20L	Litoral	14	8,99	8,90	8,40	10,60	0,55	6,16
Lago Palmas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	E28	Superfície	14	95,73	69,85	-2,10	235,80	72,95	76,21
OD	mg/L	E28	Superfície	14	8,80	9,15	5,90	10,70	1,27	14,41
ORP	mV	E28	1% RFA	14	102,29	76,05	18,20	236,70	68,54	67,01
OD	mg/L	E28	1% RFA	14	8,06	8,55	5,80	10,70	1,43	17,72
ORP	mV	E28	Fundo	14	-74,36	-142,30	-274,00	239,80	181,08	-243,53
OD	mg/L	E28	Fundo	14	1,39	0,30	0,20	8,80	2,51	181,11
ORP	mV	E28L	Litoral	14	111,59	121,50	9,50	240,00	65,51	58,71
Lagoa Areão										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	E23	Meio	11	204,42	200,00	157,00	279,70	40,76	19,94
OD	mg/L	E23	Meio	11	8,08	8,30	6,50	9,60	1,08	13,34

Lagoa Areal										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	E24	Meio	45	140,33	144,00	-38,90	260,80	69,24	49,34
OD	mg/L	E24	Meio	45	6,40	6,94	0,14	10,07	2,36	36,88
ORP	mV	E24L	Litoral	13	97,88	82,80	6,30	219,40	66,61	68,05
OD	mg/L	E24L	Litoral	13	7,78	8,30	5,40	9,30	1,36	17,53
Lagoa Monsarás										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	E25	Meio	46	144,42	148,50	-153,20	271,70	75,59	52,34
OD	mg/L	E25	Meio	46	6,53	7,08	0,14	10,03	2,39	36,63
ORP	mV	E25a	Meio	33	111,77	156,00	-214,00	298,20	124,70	111,56
OD	mg/L	E25a	Meio	33	3,91	3,10	0,10	12,60	3,43	87,84
ORP	mV	E25L	Litoral	14	106,71	109,80	-16,00	240,70	75,95	71,17
OD	mg/L	E25L	Litoral	14	6,56	7,05	1,20	9,10	1,85	28,21
Lagoa Cacimbas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
ORP	mV	E27	Meio	14	95,63	79,30	3,30	203,10	64,80	67,76
OD	mg/L	E27	Meio	14	8,19	8,75	6,10	9,70	1,32	16,15
ORP	mV	E27L	Litoral	14	109,71	85,00	3,00	244,30	75,03	68,39
OD	mg/L	E27L	Litoral	14	8,34	8,75	5,90	9,70	1,22	14,59

Figura 5: Matriz – água. Período amostral de outubro/2018 a janeiro/2024. Gráficos de Linha do indicador Condição oxidante/reutora da coluna d'água: Potencial redox - ORP (mV) e Oxigênio dissolvido – OD (mg/L). A) variação sazonal e anual do OD e B) variação sazonal e anual do ORP dos Lagos: Limão (E18); Nova (E19 e E19L); Juparanã (E20 e E20L) e Palmas (E28 e E28L); C) variação sazonal e anual do OD e D) variação sazonal e anual do ORP das Lagoas Areão (E23), Areal (E24 e E24L), Monsarás (E25 e E25L) e Cacimbas (E27 e E27L); E) variação sazonal e anual do OD e F) variação sazonal e anual do ORP dos Reservatórios: Aimorés (ERA) e Mascarenhas (ERM). Profundidades para reservatório e lagos: S= superfície; 1% = 1% de Radiação Fotossintética Ativa e F= Fundo. C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1, respectivamente; C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2, respectivamente; C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3, respectivamente; C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4, respectivamente e C5 = Período chuvoso do Ano 5 e C6= Período chuvoso Ano 6. Barra rosa tracejada indica ORP (0,0). Lacuna de dados entre março/2020 a novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19.



Nos fundos dos Lagos Nova (E19) e Palmas (E28), foram observadas condições oxidantes no período seco e anóxicas e redutoras no período chuvoso (Quadro 4; Figura 5A e B). No período chuvoso, quando ocorre a estratificação térmica, as concentrações de OD decresceram da superfície para o fundo de forma mais acentuada que no Lago Juparanã (E20), onde foram registradas condições de supersaturação de oxigênio dissolvido, 16,4 mg/L, durante períodos chuvosos (Quadro 4; Figura 5A e B). Foram encontradas diferenças significativas (Kruskall-Wallis, $p<0,05$) entre os anos em E19 e E20, nesse caso, em E20 o OD tendeu a diminuir até o Ano 4 e voltou a subir no Ano 5. Em E19, o OD decresce até Ano 3 e volta a subir a partir do Ano 4 (Figura 5A). Na zona litorânea das estações E19L, E20L e E28L foram registradas concentrações médias de oxigênio em torno de 8,0 mg/L. Condições redutoras (ORP negativo) ocorreram predominantemente nos períodos chuvosos ou início dos períodos seco em toda as profundidades em E18, apenas no fundo de E19 e na superfície e fundo de E28 (Quadro 4; Figura 5A e B). 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).

Nas Lagoas Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a) foram observadas condições oxidantes e anóxicas durante o período chuvoso com diferenças significativas (Quadro 4; Figura 5C e D). Não foram observadas diferenças significativas entre os anos de monitoramento (Kruskall-Wallis, $p<0,05$). Na Lagoa Cacimbas (E27 e E27L) não foram registradas condições anóxicas e os valores OD e ORP foram similares entre a profundidade de meia-água e a zona litorânea (Quadro 4). A estação E25 apresentou condições fortemente redutoras (-214 mV) associadas à anoxia (0,1 mg /L; Quadro 4; Figura 5A e B).

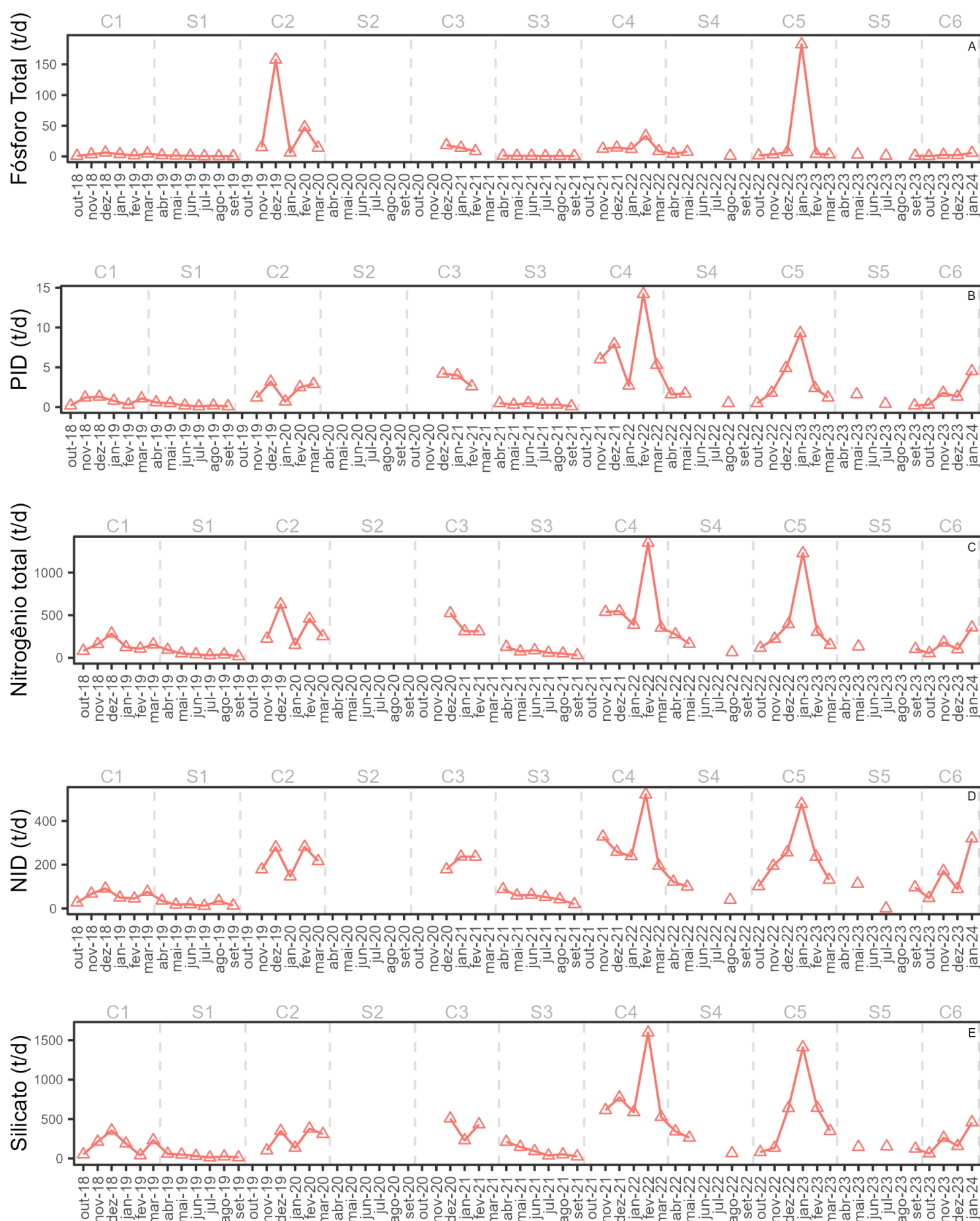
Nos reservatórios ERA e ERM as condições da coluna d'água foram sempre oxidantes com concentrações moderadas de oxigênio dissolvido no fundo da coluna d'água, $8,00\pm0,72$ e $8,16\pm0,64$ mg/L, respectivamente (Quadro 4; Figura 5E e F). Foram observadas diferenças estatísticas das concentrações de OD entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney, $p<0,05$).

3.5 FLUXOS DE NUTRIENTES

Quadro 5 Matriz água. Período amostral de outubro/2018 a janeiro/2024. Estatística descritiva do indicador fluxos de nutrientes: Fluxo de Fósforo total – Ptotal (t/d), Fluxo de Fósforo Inorgânico Dissolvido – PID (t/d), Fluxo de Nitrogênio Total (t/d), Fluxo de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido – NID (t/d), Fluxo de Silicato (t/d) da E21 do Rio Doce (E21); D.P.: desvio padrão; C.V. Coeficiente de variação.

Rio Doce (Linhares)									
Parâmetro	Unidade	Estação	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Ptotal	t/d	E21	47	13,3	3,4	0,3	182,5	34,6	260,5
PID	t/d	E21	47	2,1	1,2	0,1	14,2	2,8	129,9
Ntotal	t/d	E21	47	250,0	154,2	18,4	1350,1	274,3	109,7
NID	t/d	E21	47	140,5	99,8	0,0	521,5	120,6	85,8
Silicato	t/d	E21	47	290,3	189,0	12,1	1597,9	327,5	112,8

Figura 6: Matriz água. Período amostral de outubro/2018 a janeiro/2024. Estatística descritiva do indicador fluxos de nutrientes: A) Fluxo de Fósforo total – Ptotal (t/d), B) Fluxo de Fósforo Inorgânico Dissolvido – PID (t/d), C) Fluxo de Nitrogênio Total – Ntotal (t/d), D) Fluxo de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido – NID (t/d), E) Fluxo de Silicato (t/d) apenas da Estação do Rio Doce localizada em Linhares-ES (E21). C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1, respectivamente; C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2, respectivamente; C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3, respectivamente; C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4, respectivamente e C5 = Período chuvoso do Ano 5 e C6= Período chuvoso Ano 6. Lacuna de dados entre março/2020 a novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19.



As concentrações médias elevadas de nutrientes e as altas vazões resultam em expressivos fluxos de nutrientes como: fósforo total - P_{total} ($13,3 \pm 34,6$ t/d), nitrogênio total - N_{total} ($250,0 \pm 274,3$ t/d), nitrogênio inorgânico dissolvido - NID ($140,0 \pm 120,6$ t/d), fósforo inorgânico dissolvido - PID ($2,1 \pm 2,8$ t/d) e silício - SiO_2 ($290,3 \pm 327,5$ t/d; Quadro 5; Figura 6). As correlações (Spearman $p < 0,05$) da vazão foram positivas para PID, PT e SiO_2 ($p = 0,60$, $0,58$ e $0,38$, respectivamente), porém apenas PT apresentou diferença significativa entre os períodos de alta e baixa vazão ($3,24$, Mann-Whitney U Test $p < 0,05$). Os fluxos de PID, N_{total} , NID e SiO_2 aumentaram ao longo dos anos de monitoramento (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Nesse caso, os fluxos mais expressivos foram observados nos Anos 2 (out 2019 a set 2020) e Ano 4 (out 2021 a set 2024; Figura 6). Nesse caso, os anos com as maiores vazões médias foram o Ano 2 ($1143,6 \pm 483,6$ m³/s), cuja amostragem do PMBA/Fest ocorreu apenas durante o período chuvoso (de novembro a março de 2020), e o Ano 4 com vazão média de $1355,8 \pm 1162,4$ m³/s, seguido do Ano 5 (out 2022 a set 2023) com $1135,8 \pm 1162,4$ m³/s, Ano 3 (out 2022 a set 2023) com $605,2 \pm 556,2$ m³/s e Ano 1 (out 2018 a set 2019) com $369,7 \pm 262,6$ m³/s. 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). Os maiores fluxos foram registrados nos períodos chuvosos (vazão média de $1252,8 \pm 939,8$ m³/s) em comparação ($p < 0,05$, Mann Whitney) com os períodos secos (vazão média de $296,9 \pm 178,2$ m³/s; Figura 6).

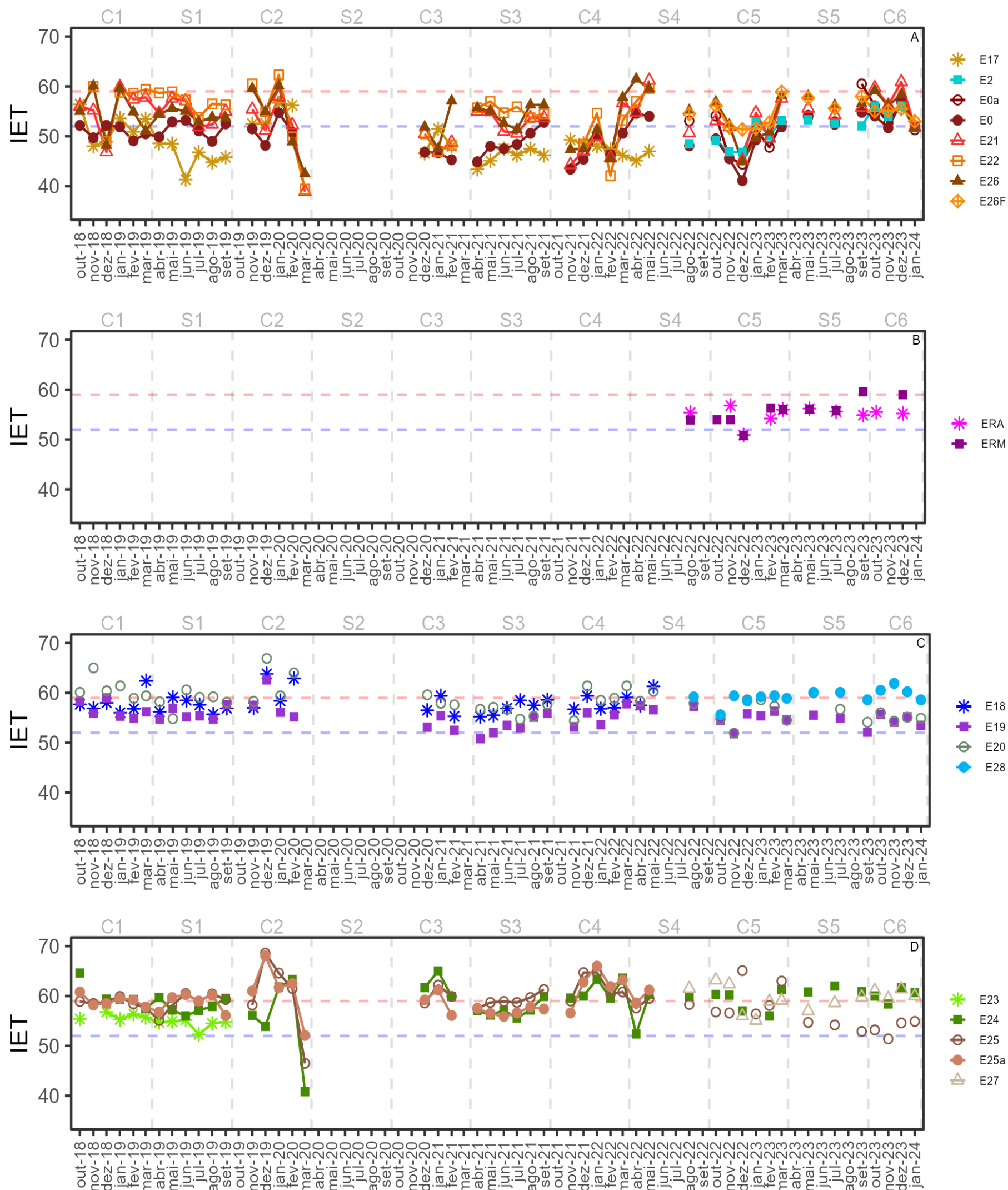
3.6 ESTADO TRÓFICO

Quadro 6: Matriz água. Período amostral de outubro/2018 janeiro/2024. Estatística descritiva do indicador biológico Estado Trófico: concentração de Fósforo Total (P Total) em $\mu\text{g/L}^{-1}$, concentração de Clorofila-*a* em $\mu\text{g/L}$, Índice de estado Trófico médio (IET médio) do Rio Manhuaçu (E2); Rio Guandu (E17); Rio Doce (E0a, E0, E21, E22, E26 e E26F); dos Reservatórios Aimorés (ERA) e Reservatório de Mascarenhas (ERM); do Lago do Limão (E18); Lago Nova (E19 e E19L); Lago Juparanã (E20 e E20L) e Lago Palmas (E28 e E28L); da Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24 e E24L), Lagoa Monsarás (E25, E25a e E25L), Lagoas Cacimbas (E27 e E27L). D.P.: desvio padrão; C.V. Coeficiente de variação.

Rio Manhuaçu										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	$\mu\text{g/L}$	E2	Superfície	14	0,7	0,5	0,2	1,7	0,4	62,5
Ptotal	$\mu\text{g/L}$	E2	Superfície	14	53,7	35,1	22,3	281,6	66,3	123,5
IET médio				14	51,7	52,4	46,8	56,1	3,0	5,8
Rio Guandu										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	$\mu\text{g/L}$	E17	Superfície	32	0,5	0,4	0,1	1,7	0,3	72,6
Ptotal	$\mu\text{g/L}$	E17	Superfície	32	230,2	141,3	21,9	1647,8	331,8	144,1
IET médio				32	48,7	48,0	41,3	56,7	3,8	7,7
Rio Doce (Resplendor)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	$\mu\text{g/L}$	E0a	Superfície	14	0,8	0,4	0,1	3,9	1,0	128,4
Ptotal	$\mu\text{g/L}$	E0a	Superfície	14	94,1	67,8	40,9	329,0	81,0	86,1
IET médio	$\mu\text{g/L}$			14	52,4	52,9	44,4	60,5	4,3	8,2
Rio Doce (Itapina)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	$\mu\text{g/L}$	E0	Superfície	45	0,6	0,6	0,1	2,0	0,4	70,7
Ptotal	$\mu\text{g/L}$	E0	Superfície	45	137,1	95,2	29,2	765,0	131,3	95,8
IET médio		E0	Superfície	45	50,1	50,6	41,1	56,9	3,4	6,7
Rio Doce (Linhares)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	$\mu\text{g/L}$	E21	Superfície	47	1,5	1,2	0,0	5,0	1,3	89,0
Ptotal	$\mu\text{g/L}$	E21	Superfície	47	170,4	101,4	27,6	1132,3	207,7	121,9
IET médio		E21	Superfície	47	53,2	54,3	38,9	61,2	4,7	8,7
Rio Doce (Linhares/Regência)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	$\mu\text{g/L}$	E22	Superfície	31	2,2	1,5	0,0	6,1	1,9	86,9
Ptotal	$\mu\text{g/L}$	E22	Superfície	31	208,5	144,4	27,6	1132,3	231,7	111,1
IET médio		E22	Superfície	31	54,4	55,7	39,4	62,3	5,4	9,9
Rio Doce (Regência)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	$\mu\text{g/L}$	E26	Superfície	47	2,1	1,9	0,1	5,6	1,6	76,2
Ptotal	$\mu\text{g/L}$	E26	Superfície	47	144,0	94,6	27,4	708,2	140,0	97,2
IET médio		E26	Superfície	47	54,0	55,0	42,5	61,5	4,5	8,3
Rio Doce (Foz)										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	$\mu\text{g/L}$	E26F	Superfície	14	2,2	1,7	0,2	6,1	1,8	78,8
Ptotal	$\mu\text{g/L}$	E26F	Superfície	14	43,4	43,2	25,5	71,8	11,2	25,9
IET médio		E26F	Superfície	14	54,8	55,1	51,4	58,9	2,4	4,4
Reservatório Aimorés										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	mg/L	ERA	Superfície	13	0,66	0,70	0,10	2,00	0,50	75,47
Ptotal	mg/L	ERA	Superfície	12	53,68	52,45	33,00	86,40	13,86	25,83
IET médio		ERA	Superfície	11	54,15	55,40	45,00	56,80	3,41	6,29
Reservatório de Mascarenhas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	mg/L	ERM	Superfície	14	0,65	0,50	0,10	1,60	0,48	73,35
Ptotal	mg/L	ERM	Superfície	14	61,21	47,90	35,00	205,50	43,16	70,50
IET médio		ERM	Superfície	10	55,55	55,90	50,80	59,60	2,57	4,63
Lago do Limão										
Parâmetro	Unidade	Estação	profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	$\mu\text{g/L}$	E18	Superfície	32	2,51	1,90	1,13	14,47	2,35	93,63
Ptotal	$\mu\text{g/L}$	E18	Superfície	32	109,46	72,34	23,33	393,13	80,28	73,34
IET médio		E18	Superfície	32	57,97	57,51	55,22	63,77	2,14	3,69

Lago Nova										
Parâmetro	Unidade	Estação	profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	µ/L	E19	Superfície	46	1,32	1,15	0,50	3,70	0,69	52,38
Ptotal	µ/L	E19	Superfície	46	68,60	35,60	9,70	221,70	60,26	87,84
IET médio		E19	Superfície	46	55,30	55,35	50,80	62,60	2,10	3,79
Lago Juparanã										
Parâmetro	Unidade	Estação	profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	µ/L	E20	Superfície	46	3,04	2,80	0,60	16,00	2,50	82,29
Ptotal	µ/L	E20	Superfície	46	100,07	50,10	16,90	400,00	96,83	96,76
IET médio		E20	Superfície	46	58,15	58,25	51,90	66,90	2,96	5,09
Lago Palmas										
Parâmetro	Unidade	Estação	profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila	µ/L	E28	Superfície	14	6,44	6,55	3,90	9,10	1,78	27,59
Ptotal	µ/L	E28	Superfície	13	32,44	29,90	22,20	52,50	8,07	24,89
IET médio		E28	Superfície	14	59,29	59,30	55,60	61,90	1,41	2,38
Lagoa Areão										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila- a	mg/L	E23	Meio	11	0,95	0,90	0,50	1,30	0,36	37,95
Ptotal	mg/L	E23	Meio	11	160,27	173,20	110,40	187,20	30,61	19,10
IET médio		E23	Meio	11	55,09	55,20	52,30	56,80	1,16	2,11
Lagoa Areal										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila- a	mg/L	E24	Meio	45	3,58	2,78	0,30	15,20	2,95	82,34
Ptotal	mg/L	E24	Meio	45	116,40	63,03	16,91	649,63	119,79	102,92
IET médio		E24	Meio	45	59,72	59,72	52,37	77,17	3,79	6,35
Lagoa Monsarás										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila- a	mg/L	E25	Meio	46	3,51	2,66	0,34	15,69	3,56	101,33
Ptotal	mg/L	E25	Meio	46	133,23	67,96	19,00	744,41	136,03	102,10
IET médio		E25	Meio	33	59,57	59,00	46,50	68,6	3,49	5,86
Clorofila- a	mg/L	E25a	Meio	33	3,97	2,50	0,90	22,20	3,89	97,87
Ptotal	mg/L	E25a	Meio	33	159,71	169,70	22,70	782,20	145,75	91,26
IET médio		E25a	Meio	33	59,39	59,20	52,10	68,10	3,13	5,27
Lagoa Cacimbas										
Parâmetro	Unidade	Estação	Profundidade	N Amostral	Média	Mediana	Mínima	Máxima	D.P.	C.V. (%)
Clorofila- a	mg/L	E27	Meio	14	9,64	9,50	2,10	16,90	5,16	53,58
Ptotal	mg/L	E27	Meio	14	30,59	30,95	15,80	58,00	12,15	39,73
IET médio		E27	Meio	14	59,54	59,65	55,10	63,20	2,35	3,95

Figura 7: Matriz – água. Período amostral de outubro/2018 a março/2023. Gráficos de Linha 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. A) variação sazonal e anual do IET médio nos Rios: Manhuaçu (E2), Guandu (E17) e Rio Doce (E0a, E0, E21, E22, E26 e E26F); B) variação sazonal e anual do IET médio dos Reservatórios: Aimorés (ERA) e Mascarenhas (ERM); C) variação sazonal e anual do IET médio nos Lagos: Limão (E18), Nova (E19 e E19L), Juparanã (E20 e E20L) e Palmas (E28 e E28L); D) variação sazonal e anual do IET médio nas lagoas: Areão (E23), Areal (E24 e E24L), Cacimbas (E27 e E27L) e na Lagoa Monsarás (E25, E25a e E25L). Profundidades para reservatório e lagos: superfície. C1 e S1 = Períodos chuvoso e seco do Ano 1, respectivamente; C2 e S2 = Períodos chuvoso e seco do Ano 2, respectivamente; C3 e S3 = Períodos chuvoso e seco do Ano 3, respectivamente; C4 e S4 = Períodos chuvoso e seco do Ano 4, respectivamente e C5 = Período chuvoso do Ano 5, e C6= Período chuvoso Ano 6. Linha tracejada rosa = limite para ambiente eutrófico; Linha tracejada lilás = limite para ambiente oligotrófico. Lacuna de dados entre março/2020 a novembro/2020 é referente à interrupção monitoramento em decorrência da pandemia da COVID-19.



Apesar das estações fluviais do Rio Doce (E0a, E0, E21, E22, E26F) serem predominantemente mesotróficas ($52 < IET \leq 59$), em alguns momentos, também, foram consideradas oligotróficas ($47 < IET \leq 52$). As estações E21, E22, E26 foram classificadas como eutróficas ($59 < IET \leq 63$) e, também, como ultraoligotrófico ($IET \leq 47$; Quadro 6; Figura 7A). Não foram observadas diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Nota-se uma tendência a redução dos valores do IET do Ano 1 ao Ano 6 de monitoramento em E22 e aumento do IET em E0 (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$; Quadro 6; Figura 7A). Em E21 e E26, o IET diminui até o ano 4 e volta a aumentar. Entre as estações do Rio Doce, foi possível identificar o aumento das concentrações da Clorofila-*a* e Ptotal de montante à jusante (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$; Quadro 6; Figura 7A). Na calha do Rio Doce as concentrações de clorofila-*a* e Ptotal foram estatisticamente diferentes entre os anos (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$) e entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Na estação E26F foram encontradas as menores concentrações de Ptotal (Quadro 6). Os Rios Manhuaçu (E2) e Guandu (E17) foram classificados como mesotróficos e ultraoligotróficos ao longo do monitoramento. Em E17 registraram-se as maiores concentrações de Ptotal com média de $230,2 \pm 331,8 \mu\text{g/L}$ (Quadro 6).

Os reservatórios foram classificados predominantemente como mesotróficos, porém, em janeiro de 2023 observou-se a condição de ambiente oligotrófico (Quadro 6; Figura 7B). As concentrações médias de Clorofila-*a* e Ptotal foram próximas entre as estações ERA e ERM com Clorofila-*a* de $0,66 \pm 0,50$ e $0,65 \pm 0,48 \mu\text{g/L}$ e Ptotal de $53,68 \pm 13,86$ e $61,21 \pm 43,16 \mu\text{g/L}$, respectivamente (Quadro 6). Não foram observadas diferenças estatísticas entre os períodos seco e chuvoso e (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

Os lagos foram classificados predominantemente como mesotróficos, mas se comportaram como oligotróficos (Quadro 6; Figura 7C). A maior variabilidade de estado trófico foi registrada no Lago Juparanã (E20) variando de oligotrófico a hipereutrófico, também, nesta estação foram registradas as maiores concentrações médias de Clorofila-*a* ($3,04 \pm 2,50 \mu\text{g/L}$) e Ptotal ($100,07 \pm 96,83 \mu\text{g/L}$), dentre os lagos (Quadro 6).

No geral, as lagoas comportam-se como sistemas entre mesotróficos a hipereutróficos (IET médio > 62 ; (Quadro 6; Figura 7D). Foram identificadas diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso (Mann-Whitney, $p < 0,05$) nas estações E23 e E24. Diferenças estatísticas entre os anos foram identificadas apenas em E25 com a redução do IET entre os anos (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$). A estação E24 apresentou tendência de aumento do IET (Figura 7D). Na lagoa Cacimbas (E27) foram registradas as menores concentrações médias de Ptotal com $30,59 \pm 12,15 \mu\text{g/L}$ e maiores médias de Clorofila-*a* com $9,64 \mu\text{g/L}$ (Quadro 6). A lagoa Monsarás (E25) apresenta as maiores médias de Ptotal com $133,23 \mu\text{g/L}$ (Quadro 6).

3.7 TESTEMUNHO DE SEDIMENTOS EM LAGOS E LAGOAS

Quadro 7: 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 do Lago do Limão (E18), Lago Nova (E19), Lago Juparanã (E20), Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24) e Lagoa Monsarás (E25). Parte 2: Teste estatístico não paramétrico de Spearman para granulometria: 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 10³), As (mg/kg), Ba(mg/kg), Cr (mg/kg), Cu (mg/kg), Fe(mg/kg x 10³), 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

Parte 1					
Lago do 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 ³)	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 ³)	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
Caulinita (%)	34	81,36	76,00	86,00	2,72

Lago Nova (E19)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
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 ³)	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 ³)	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 ³)	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 ³)	34	78,95	32,83	97,25	11,39
La (mg/kg)	35	43,08	32,46	54,24	6,32
Mn(mg/kg)	35	934,34	626,77	1705,87	251,77

Lago Juparanã (E20)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
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 do 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 ³)	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 ³)	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 do 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
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

Lagoa do Areal (E24)					
Parâmetros	N amostral	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão
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 ³)	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 ³)	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 ³)	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 ³)	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
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

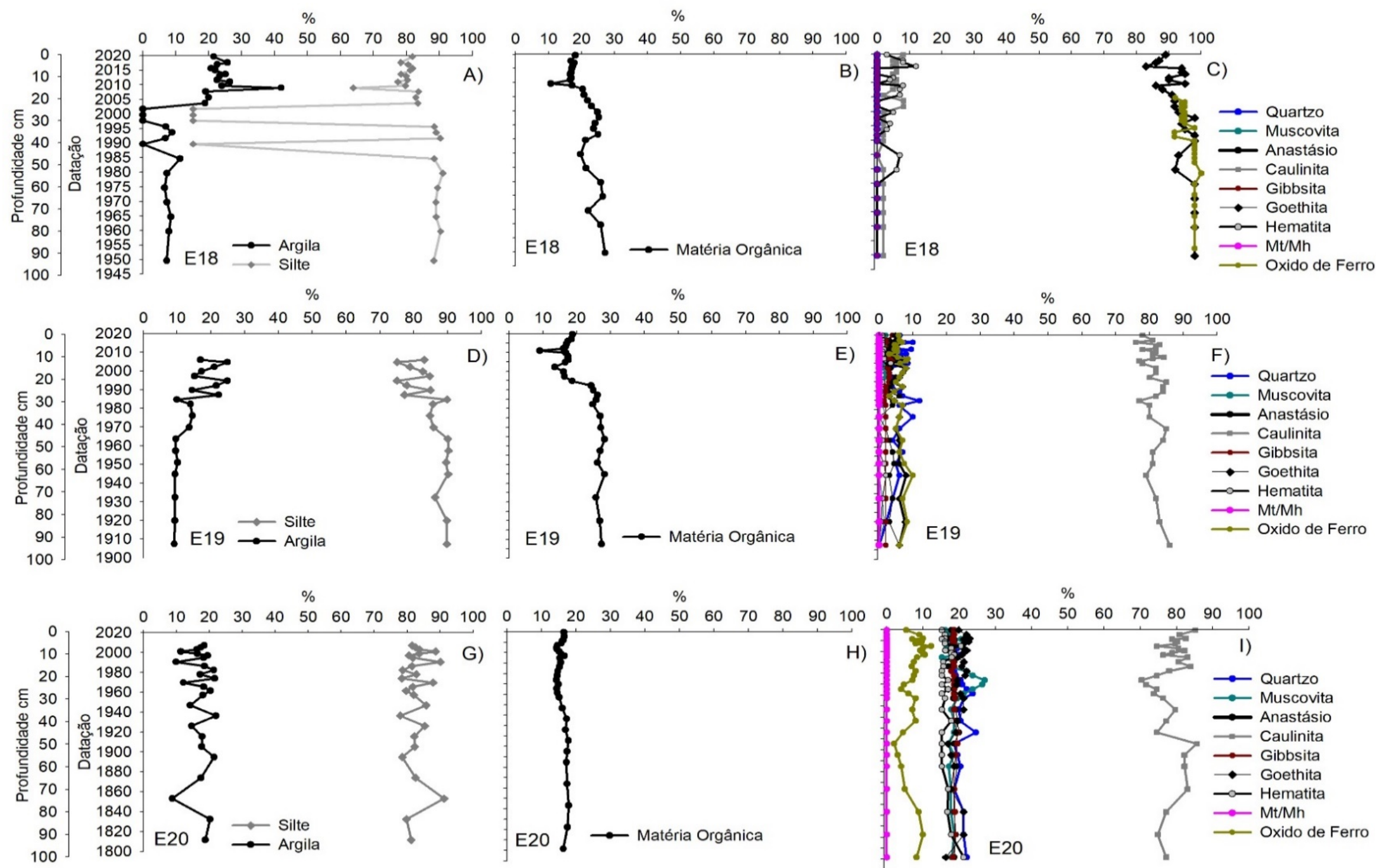
Parte 2																								
Lago do Limão - E18																								
	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
MO	1,00				-0,61		0,65	-0,42		0,61	0,49	-0,82	-0,91	-0,51	0,43	-0,55	0,64	-0,64	0,69	0,05	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	-0,70	0,08	-0,38	0,44	-0,82	-0,22	-0,69	-0,67	-0,05	-0,79
Gibbsita						1,00																		
Goethita							1,00	-0,83		0,63	0,36	-0,59	-0,75	-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	0,70	-0,08	0,38	-0,44	0,82	0,22	0,69	0,67	0,05	0,79
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	0,80	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	-0,70	0,65	-0,75	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	0,81	0,39	0,61	0,83	0,18	0,81
Cr																1,00	-0,21	0,16	0,05	0,23	0,02	0,29	0,77	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	0,81	0,92	0,23	0,94
Mn																				1,00	0,15	0,40	0,07	0,25
Ni																					1,00	0,75	0,23	0,80
Pb																						1,00	0,42	0,93
V																							1,00	0,25
Zn																								1,00
Lago do Limão - 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	0,81	0,74	0,07	0,82	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		0,84	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	-0,93	-0,79	-0,19	0,04	-0,45	0,57	0,70	-0,41	0,82	0,45	-0,72	0,17	0,16
Argila												1,00	0,79	0,23	-0,07	0,38	-0,51	-0,74	0,36	-0,82	-0,59	0,78	-0,18	0,01
Al													1,00	0,22	0,15	0,27	-0,59	-0,74	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

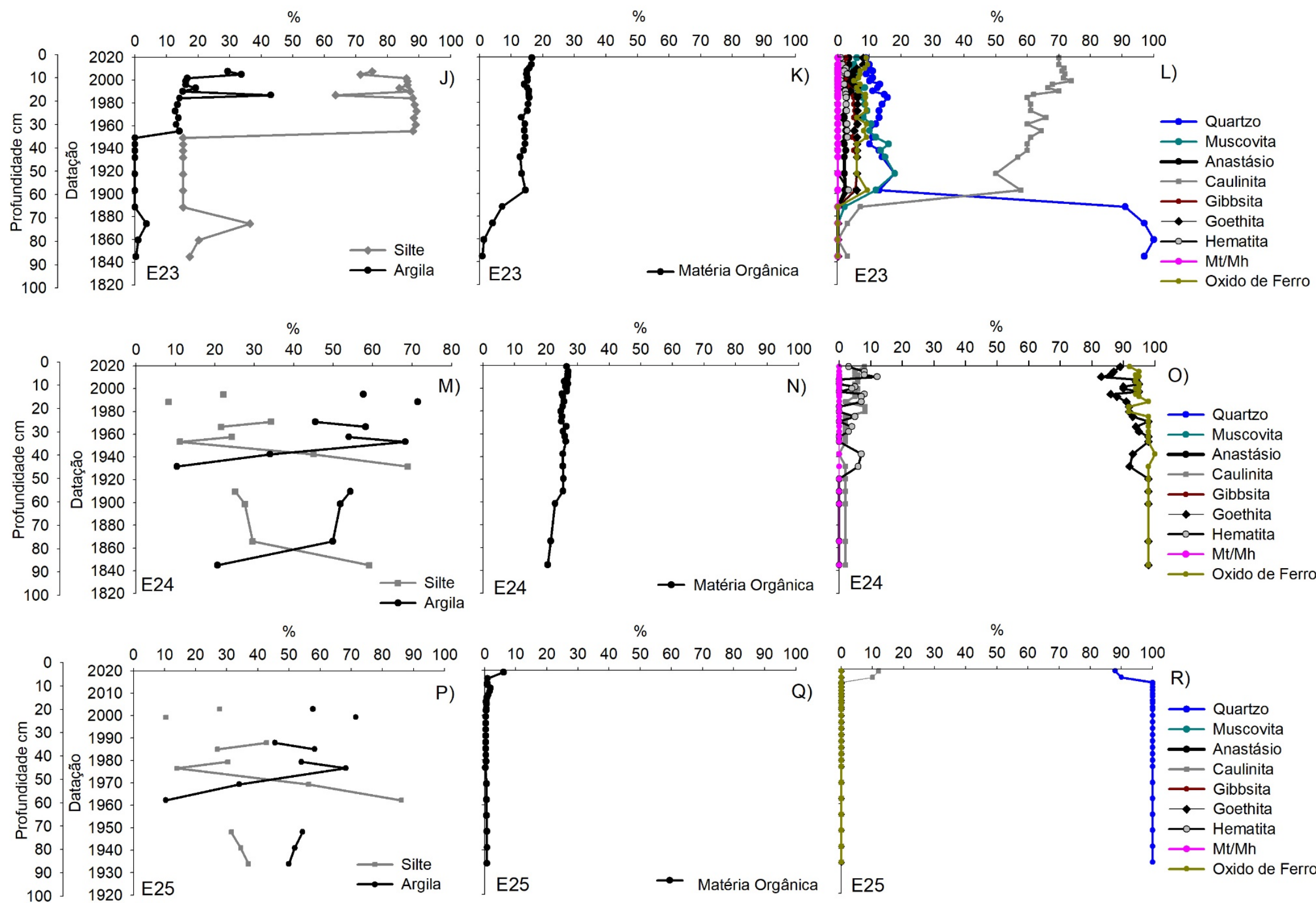
Lago do Limão - E19																								
	MO	Quartzo	Muscovita	Anatásio	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Mt/Mh	Óxidos de Fe	Silte	Argila	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	La	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Cr																1,00	0,02	-0,10	0,63	0,02	0,35	0,34	0,31	0,19
Cu																	1,00	0,72	0,24	0,74	0,68	-0,31	0,70	0,72
Fe																		1,00	0,07	0,76	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	0,80
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	-0,82	-0,18	-0,74	-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	-0,80	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	0,72	-0,43	0,62	0,26	-0,03	0,15	-0,11
As														1,00	0,35	0,89	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	0,78	0,68	0,25
Cr																1,00	0,32	0,46	0,08	0,47	0,79	0,57	0,83	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	0,72	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	0,81	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	0,89	0,73	0,09	0,59	0,51		0,66	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	-0,79	-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	0,94	0,55	0,24		0,39	-0,14	-0,38	0,10	0,92	0,72	0,90	0,38	0,41	0,91	0,65	0,74	0,88	0,58	0,62
Anatásio				1,00	0,83	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
Caulinita					1,00	-0,05	0,21	0,40		0,39	0,51	0,76	0,80	-0,12	0,16	0,00	-0,19	0,49	-0,03	0,20	0,06	0,03	0,40	0,18

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
Gibbsita						1,00	0,55	0,27		0,38	0,05	-0,28	0,14	0,86	0,78	0,90	0,42	0,36	0,92	0,62	0,76	0,87	0,64	0,64
Goethita							1,00	0,33		0,75	0,24	0,03	0,19	0,56	0,38	0,53	0,20	0,55	0,55	0,61	0,74	0,55	0,41	0,51
Hematita								1,00		0,81	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	0,89	0,36	0,39	0,91	0,67	0,77	0,87	0,50	0,69
Ba															1,00	0,75	0,26	0,21	0,79	0,52	0,56	0,69	0,49	0,55
Cr																1,00	0,47	0,35	0,97	0,61	0,79	0,98	0,65	0,73
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	0,77	0,96	0,64	0,71
Mn																				1,00	0,61	0,62	0,27	0,55
Ni																					1,00	0,79	0,55	0,79
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	-0,72	0,11	-0,59	-0,32	0,60	-0,27	0,48	-0,57	0,56
Gibbsita						1,00																		
Goethita							1,00	-0,83		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	0,72	-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	0,92	-0,32	0,55	0,37	-0,74	0,13	-0,19	0,95	-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	0,83	-0,43
Cu																	1,00	-0,08	0,05	0,36	0,28	0,22	-0,38	0,37
Fe																		1,00	0,76	-0,22	0,24	-0,47	0,36	-0,57
La																			1,00	-0,08	0,15	-0,21	0,26	-0,32
Mn																				1,00	0,06	0,09	-0,81	0,38
Ni																					1,00	0,11	0,04	-0,01

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
Pb																						1,00	-0,05	0,72
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	0,71	0,12	0,20
Quartzo	-0,40	1,00			-1,00								-0,04	-0,62	0,09	-0,72	-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	0,72	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	0,93	-0,03	0,47	0,93	0,53
La																			1,00	0,17	-0,32	0,24	0,00	0,32
Mn																				1,00	-0,04	0,42	0,92	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

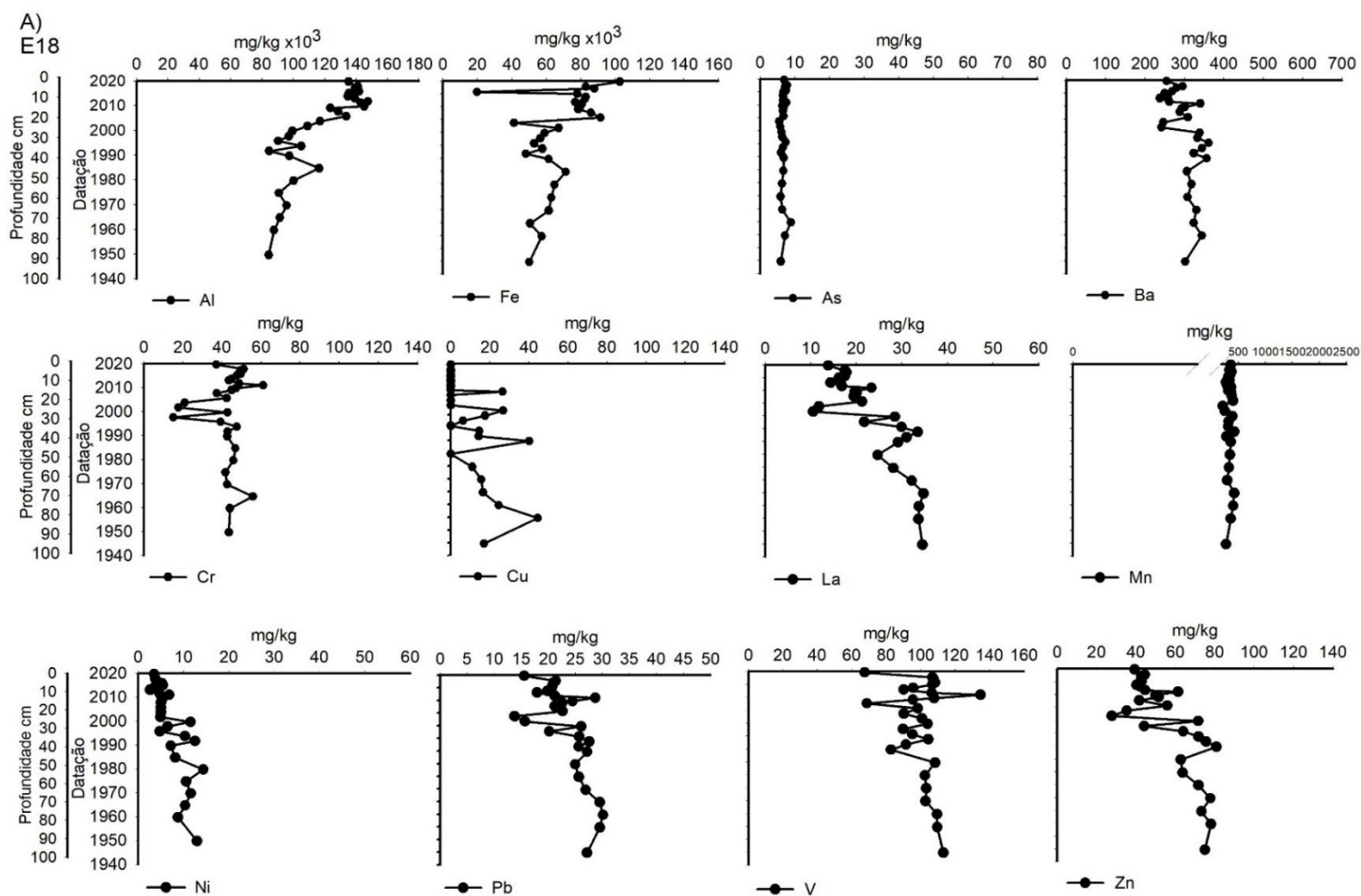
Figura 8: Matriz – sedimento. Perfilagem com datação da granulometria, matéria orgânica (MO), composição mineralógica. Gráficos de linha com datação (ano), profundidade (m), granulometria (%), matéria orgânica (MO) (%), composição mineralógica (%) do indicador Testemunho dos Sedimentos nos lagos e lagoas: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



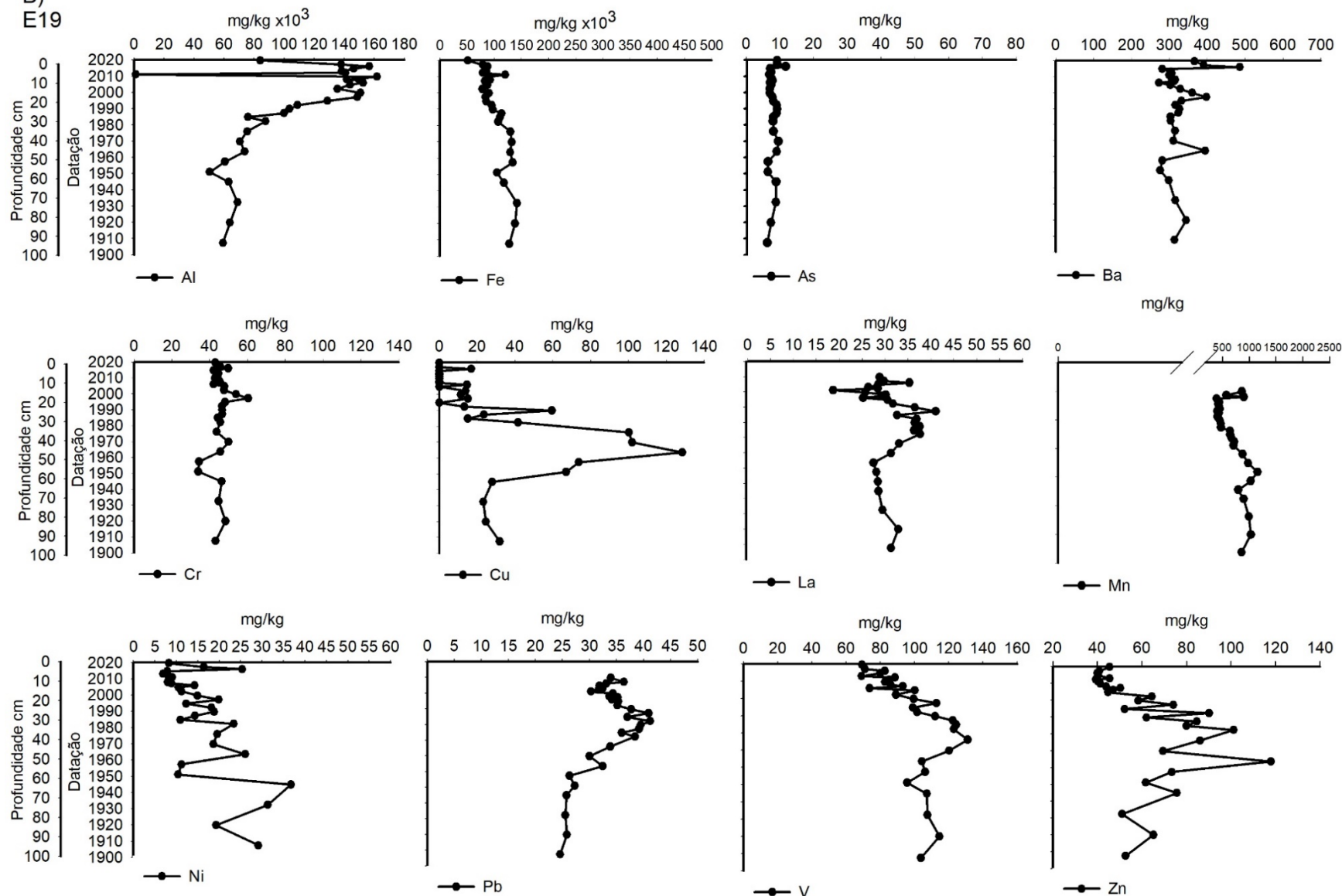


Com exceção do testemunho da Lagoa Monsarás (E25), cuja composição é basicamente mineral com conteúdo médio de matéria orgânica $0,86 \pm 1,08$ % (Quadro 7 - Parte 1) e composta por quartzo (Figura 8R), os demais testemunhos apresentaram composição orgânica com conteúdo médio de matéria orgânica entre $12,64 \pm 4,67$ a $21,61 \pm 5,17$ % Quadro 7 - Parte 1). A composição mineralógica predominante do sedimento é de caulinita seguida por variações nos teores de gibbsita, goethita, anatásio, quartzo e muscovita (Quadro 7; Figura 8, F, I, L, O).

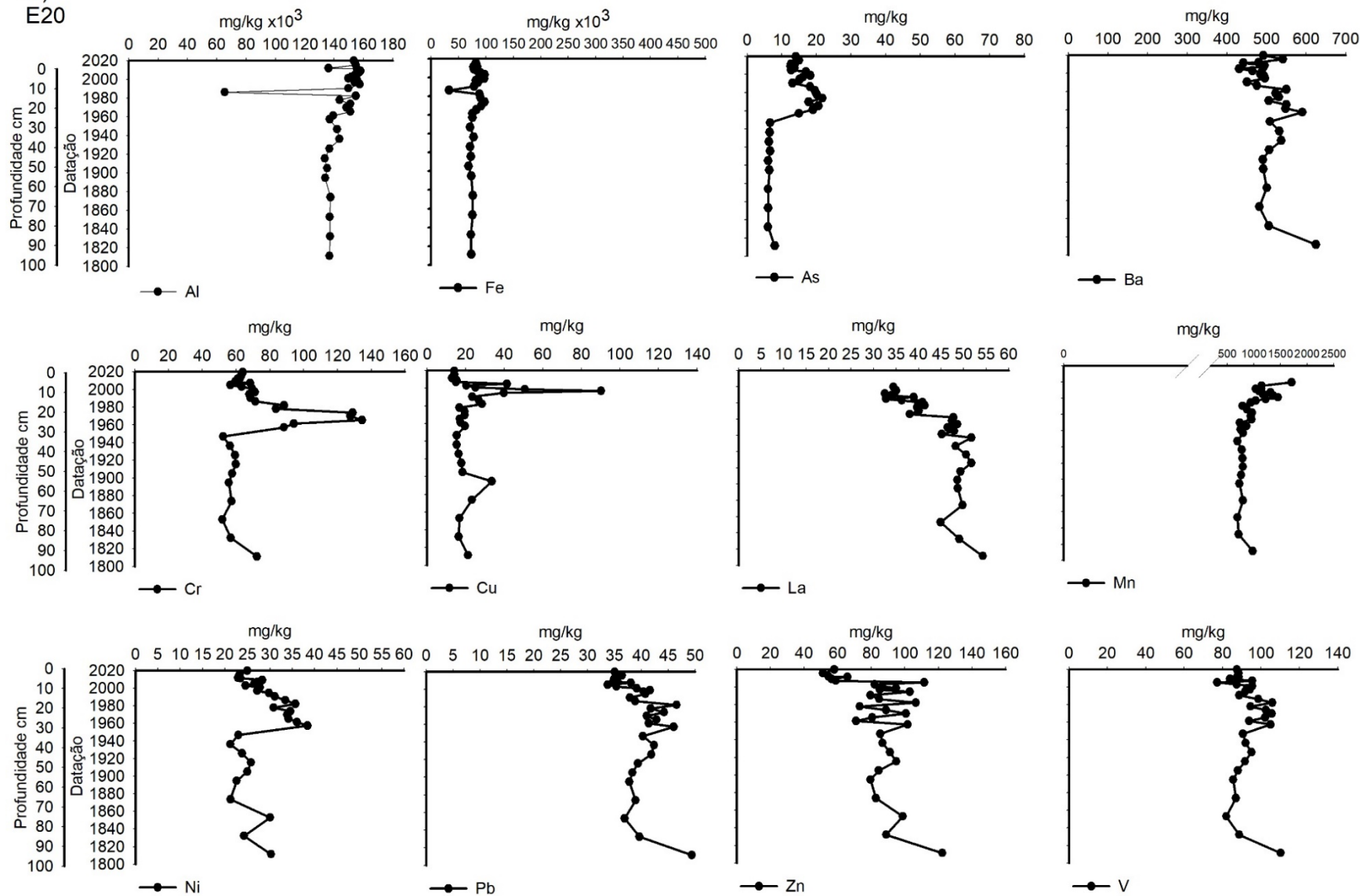
Figura 9: Matriz – Sedimento. Gráficos de linha com datação (ano), profundidade (m), e conteúdo de metais em (mg/kg) do indicador Testemunho dos Sedimentos: A) conteúdo de metais no Lago do Limão (E18); B) conteúdo de metais no Lago Nova (E19); C) conteúdo de metais no Lago Juparanã (E20); D) conteúdo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



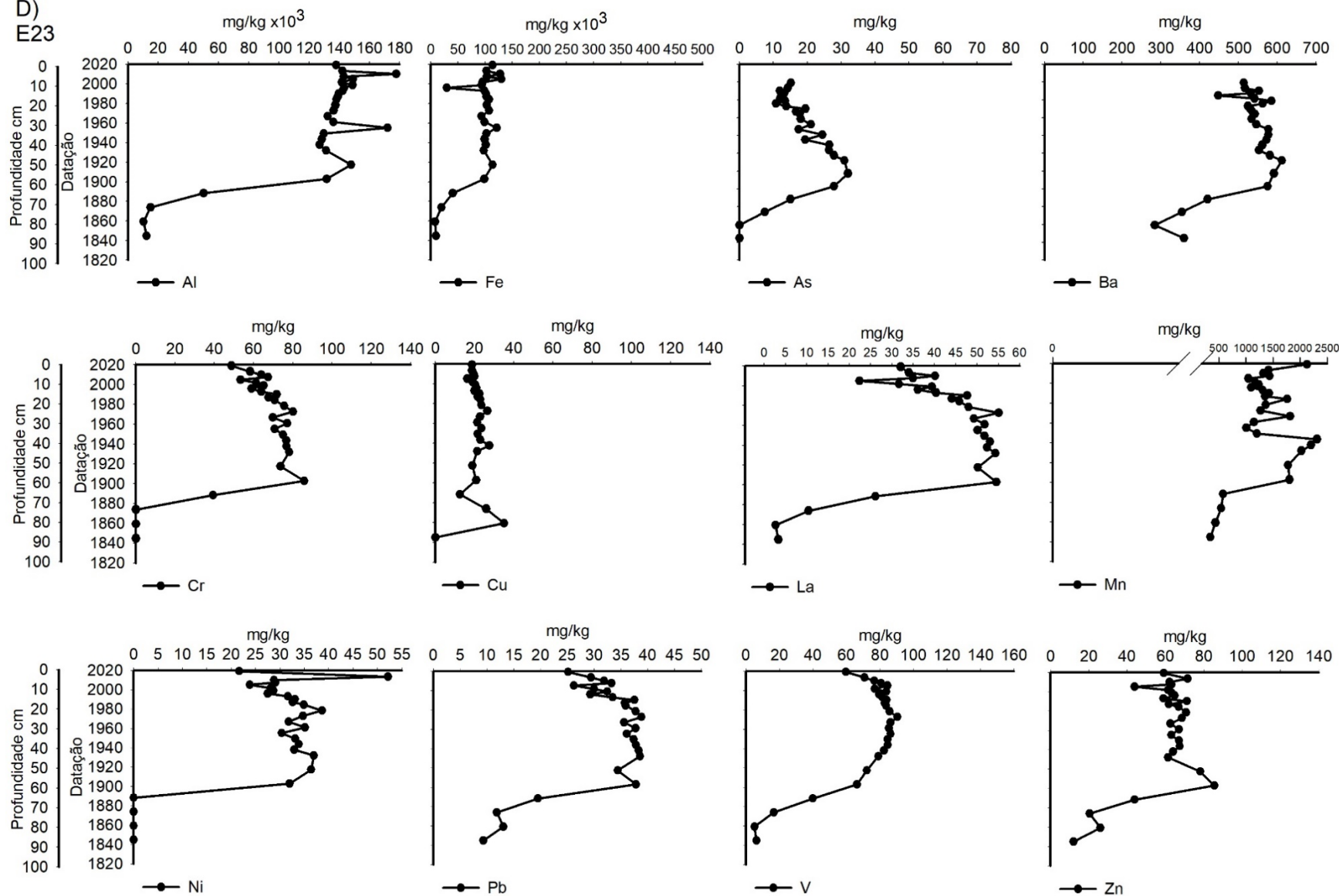
B)
E19



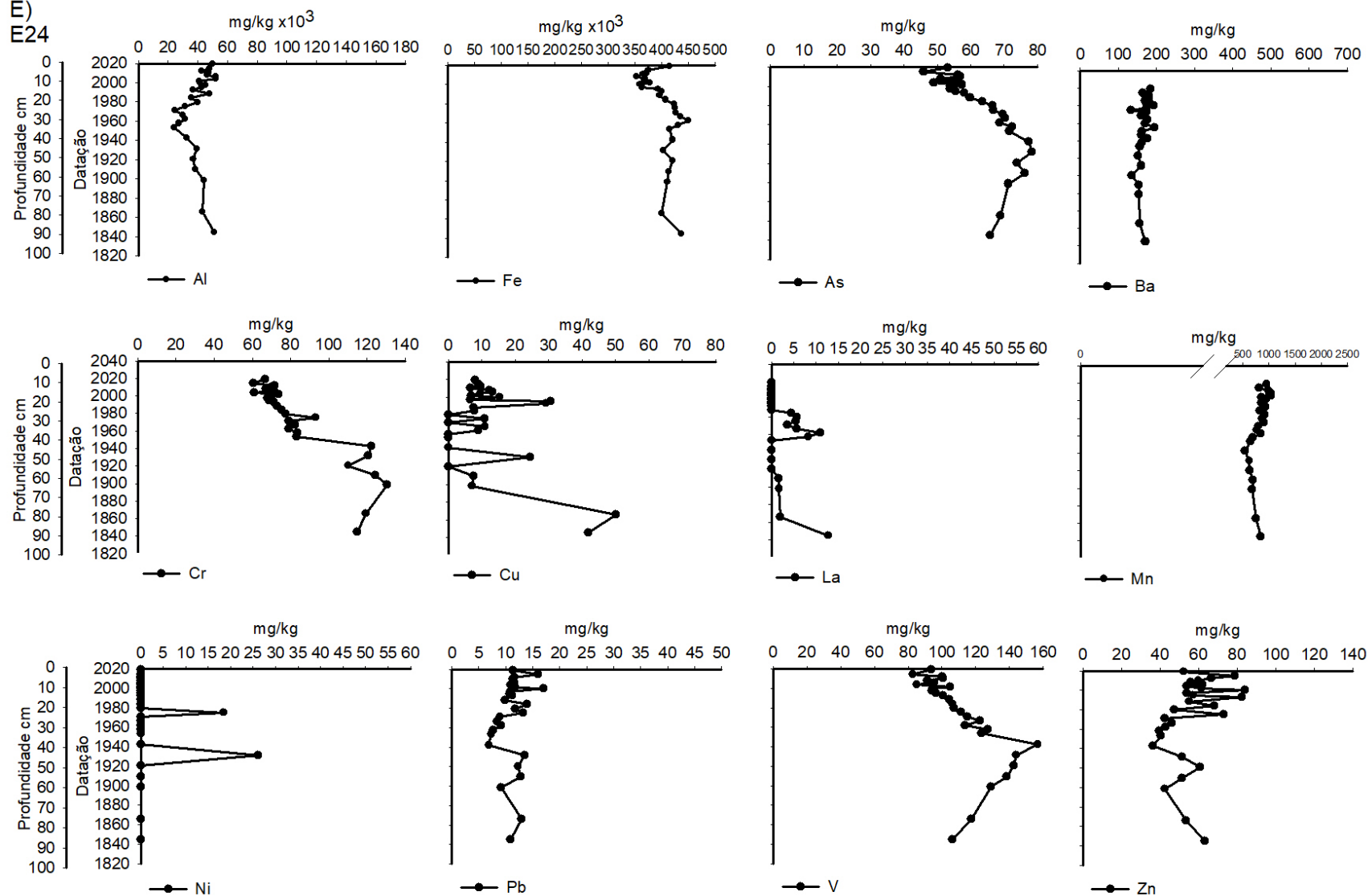
C)
E20



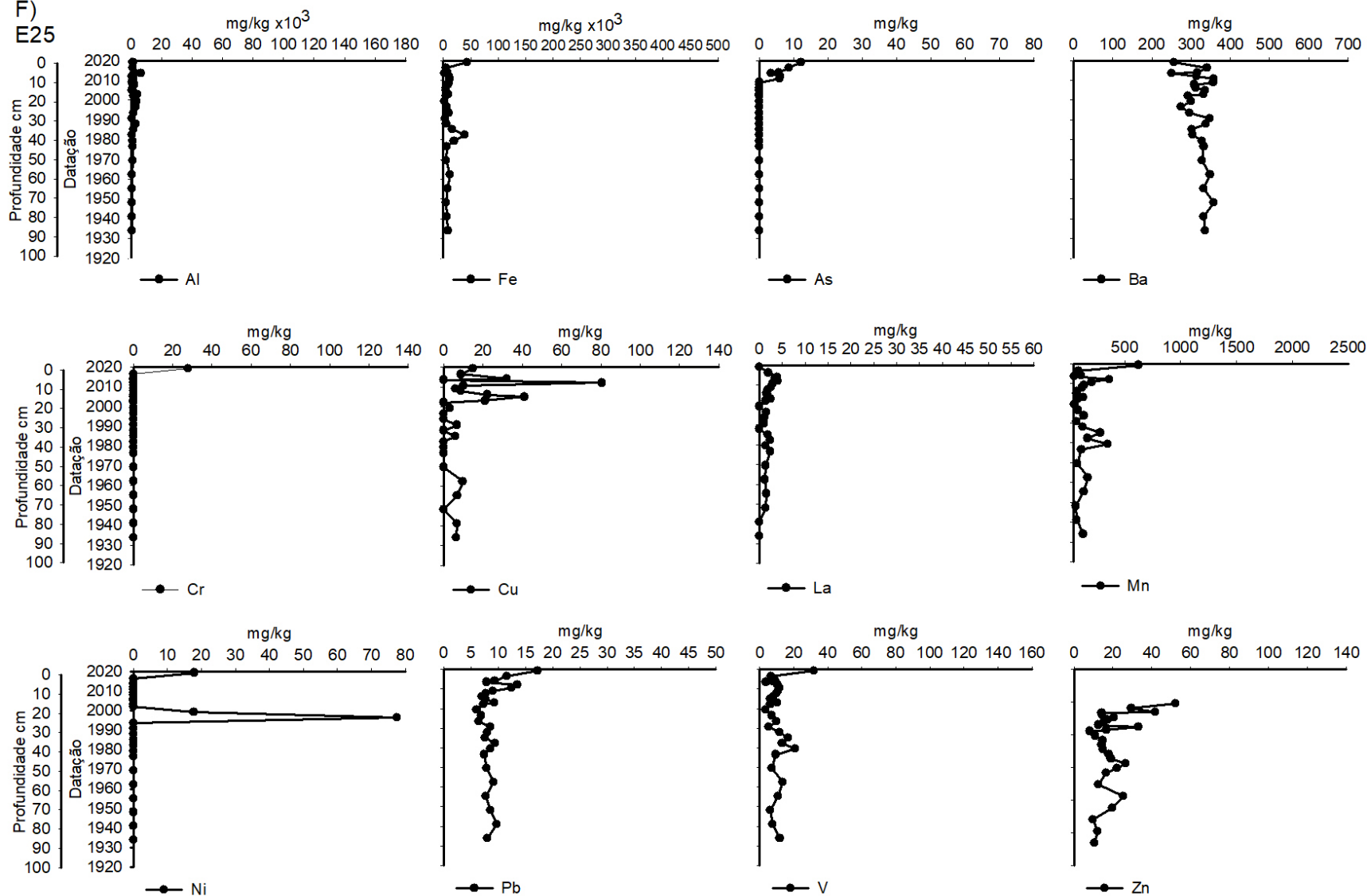
D)
E23



E)
E24



F)
E25



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 7 – parte 1; Figura 9, 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 5 ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO

Ao longo de cinco anos de monitoramento do PMBA/Fest 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, suas para conectividade hidrológica lateral entre o Rio Doce e os ecossistemas lacustres das planícies fluviais e costeira. Considerando que desastres tecnológicos, como ocorreu em 2015 pelo rompimento da Barragem de Fundão (Mariana, MG), provocam um significativo fluxo de rejeitos de minério, que não ficam restritos apenas a fase aguda (observáveis apenas logo após o desastre), têm efeitos crônicos que poderão permanecer por tempo indeterminado. Por exemplo, logo após o desastre é prevista a redução do fluxo de rejeitos em suspensão, sendo que por muitos anos após o desastre, 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 cinco anos de monitoramento. Os parâmetros do indicador claridade da água turbidez e MPS são significativamente correlacionados (0,05, 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 cinco anos é superior ao limite máximo admissível para Classe 2 da Resolução CONAMA N^o 357 de 2005, 100 UNT.

O indicador “acidez/alcalinidade” monitorado pelos parâmetros pH e Alcalinidade total (mg CaCO_3/L) tem sido eficaz revelando as alterações observada ao longo dos anos, dentre as diferentes estações na calha do Rio Doce, assim como, nos ecossistemas lacustres, principalmente no fundo 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 RTRi são correlacionados

com condições hipóxicas ($<2,0$ mg de oxigênio dissolvido/L) e anóxicas no fundo da coluna d'água e potencial de oxiredução, por exemplo, para os 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 está com condições redutoras (valores negativos de ORP) há um incremento da condutividade elétrica e concentração de NH_4^+ devido à amonificação no fundo do Lago Nova durante o período de estratificação. Assim, tem sido observado que a estabilidade térmica da coluna d'água indica significativa estratificação térmica ($\text{RTRI} > 100$) dos lagos do Limão (E18), Nova (E19) e Palmas (E28) durante o período chuvoso.

O indicador “Estado Trófico” é observado pelo índice de Estado Trófico – IET médio calculado pelas concentrações de P_{total} ($\mu\text{g/L}$) e clorofila-*a* ($\mu\text{g/L}$). A partir desse indicador é possível identificar a flutuação do estado nutricional, 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 ($47 < \text{IET} \leq 52$), indicando um metabolismo mais equilibrado a eutróficos ($59 < \text{IET} \leq 63$) com o metabolismo intensificado e consequente decomposição da matéria orgânica e redução de oxigênio dissolvido e condições mais ácidas.

O indicador “fluxos de nutrientes”, calculados por meio das concentrações de N_{total} , NID, P_{total} , PID e Silicato em t/d e a vazão fluvial na 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; Morales-García et al., 2024). Considerando que parte do rejeito de minério de Fe é composto por SiO_2 e éter-aminas, o contínuo fluviomarinho é enriquecido destes materiais. 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 identificar que ocorreu aumento 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 (Bindford, 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 ($\text{IE} > 10$) de níquel (Ni) e arsênio (As) na Lagoa

Monsarás (E25) a partir de 1996 e 2011; de As e Fe na Lagoa do Areal (E24) a partir dos anos de 1845 e 2019, respectivamente. Também, no Lago do 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); 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. <https://doi.org/10.1002/lom3.10085>

APHA (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21st 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*. 23rd 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>

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

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>

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.

Sakan, S.; Sakan, N.; Dorđević, 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.

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>

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>

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.

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)

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.scitotenv.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. 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>

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>
- 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>
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.21715/gb.v17i2.205>
- 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>