

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

Material Suplementar Ambiente Marinho

Tema: Sedimentação Marinha

RT- 44/ NOV 23

RSE2023 PMBA/Fest

Vitória,

Novembro de 2023

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	3
2	RESULTADOS DOS INDICADORES	3
2.1	MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO - (MPS) E TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA (% MO)	4
2.2	POTENCIAL DE MOBILIDADE DO SEDIMENTO SUPERFICIAL DE FUNDO	26
2.3	VALORES DE IMS (<i>IRON MINERALOGICAL SET</i>) E PRESENÇA DO SINAL DE REJEITO NO SEDIMENTO DE FUNDO	33
2.4	EXTENSÃO E INTEGRIDADE DE HABITAT MARINHO	43
3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

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

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

2 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – março/2023) na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte aos gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

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

2.1 MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO - (MPS) E TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA (% MO)

Figura 1: **(A)** Vazões medianas mensais (m^3/s) do Rio Doce. **(B)** Carga de sedimento em suspensão total mensal (QSS - ton/mês) do Rio Doce. Os dados foram coletados na estação P21 em Linhares (Ambiente Dulcícola - PMBA/Fest) e representam o período do Ano 1 (barra preta; outubro de 2018 a setembro de 2019), do Ano 2 (barra cinza; outubro de 2019 a setembro de 2020), do Ano 3 (barra azul escuro; outubro de 2020 a setembro de 2021), Ano 4 (barra azul; outubro de 2021 a setembro de 2022) e do Ano 5 (barra verde; outubro de 2022 a março de 2023 (período chuvoso)) PMBA/Fest.

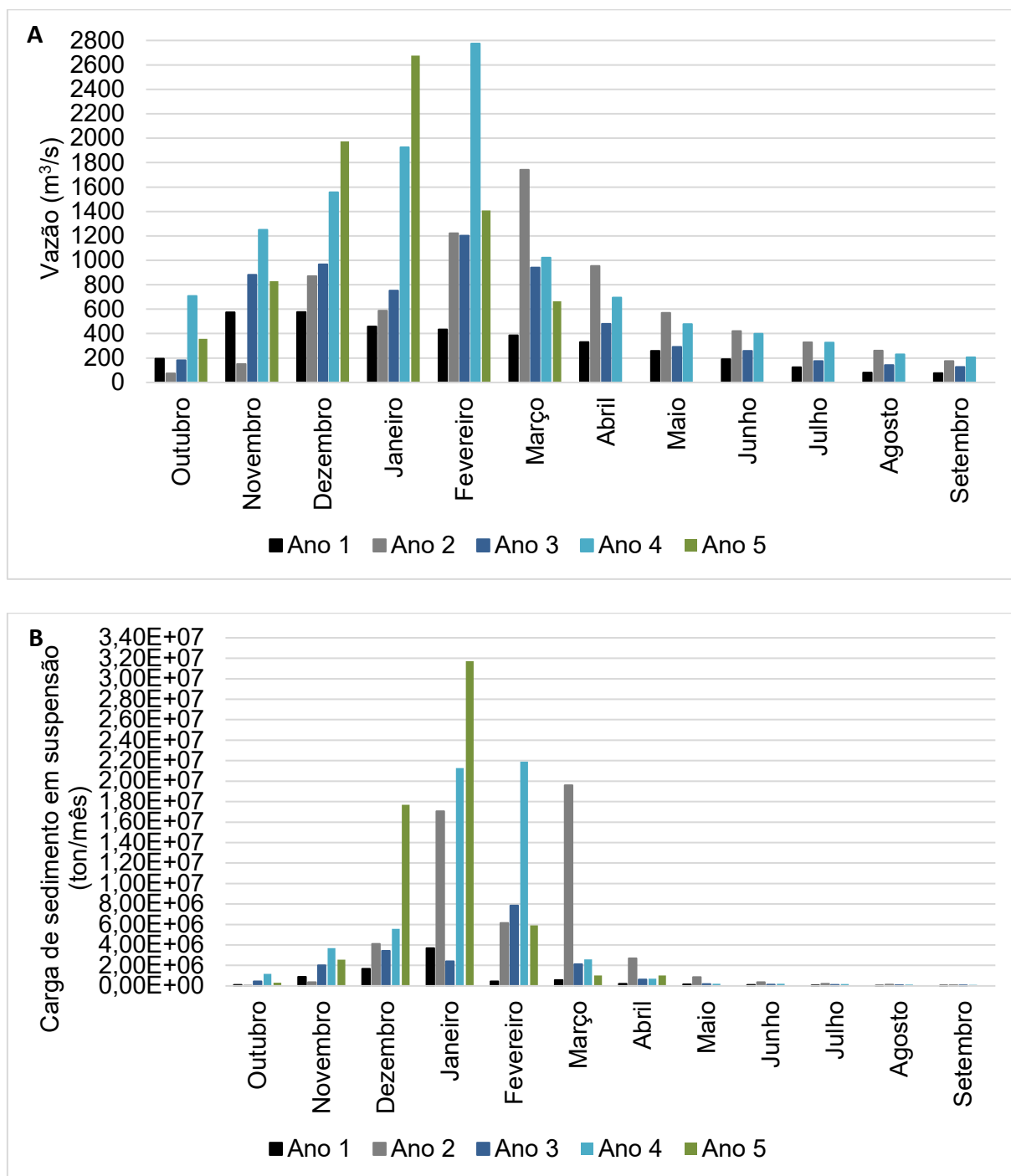


Figura 2: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS; caixas pretas) e teor de matéria orgânica (MO; caixas azuis) do MPS para amostras de água coletadas **(A)** superfície, **(B)** meio e **(C)** fundo (a 1 m do sedimento) da coluna d'água para o Setor Abrolhos. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Pontos pretos correspondem aos valores de cada estação amostral. Não há dados pretéritos de teor de matéria orgânica (MO) para esse setor. Os últimos dados coletados foram no período chuvoso do ANO 4 (janeiro/2021) e não ocorreram mais coletas para esse setor devido a uma alteração da malha amostral, a qual não abrange mais o setor.

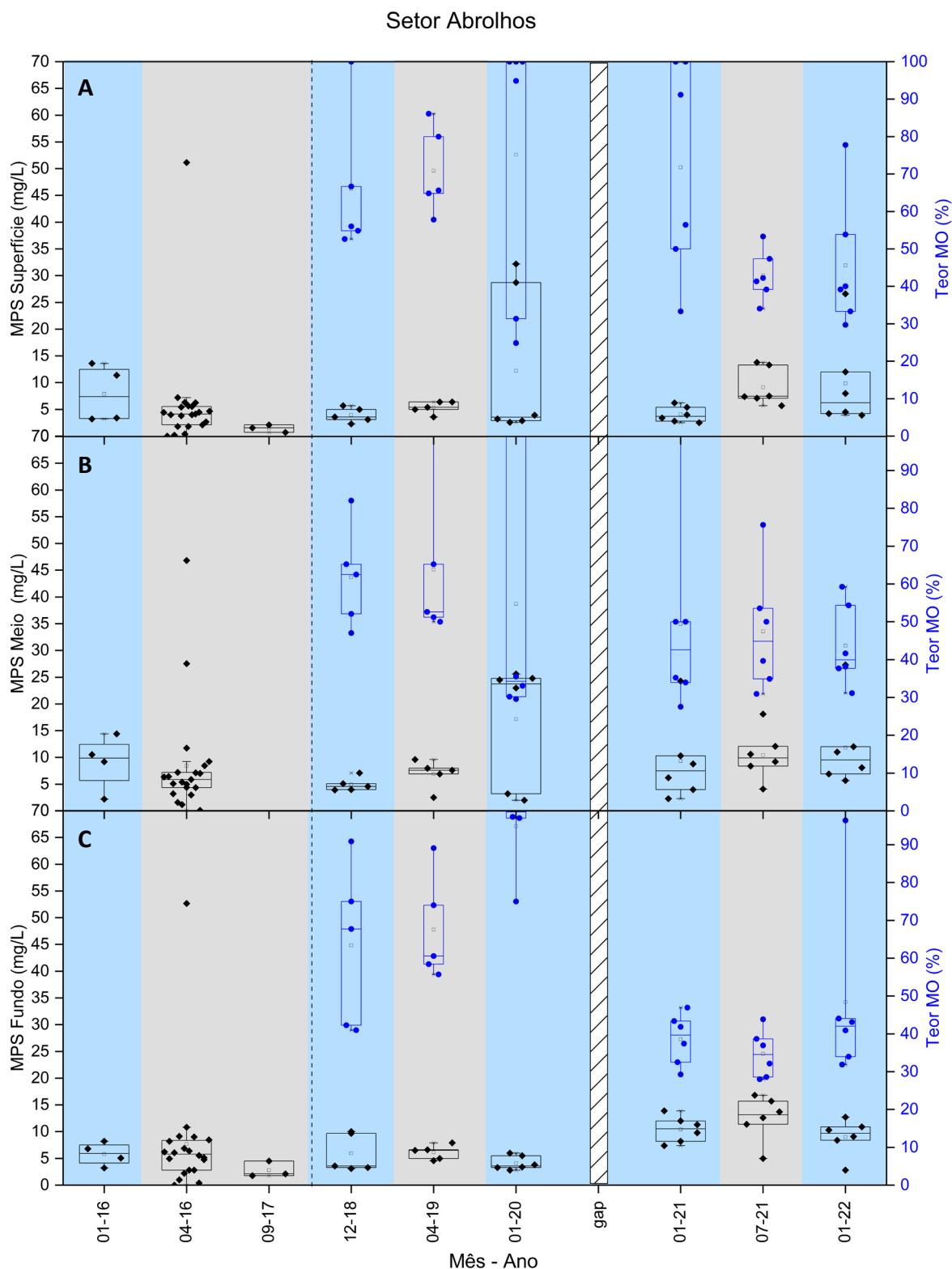
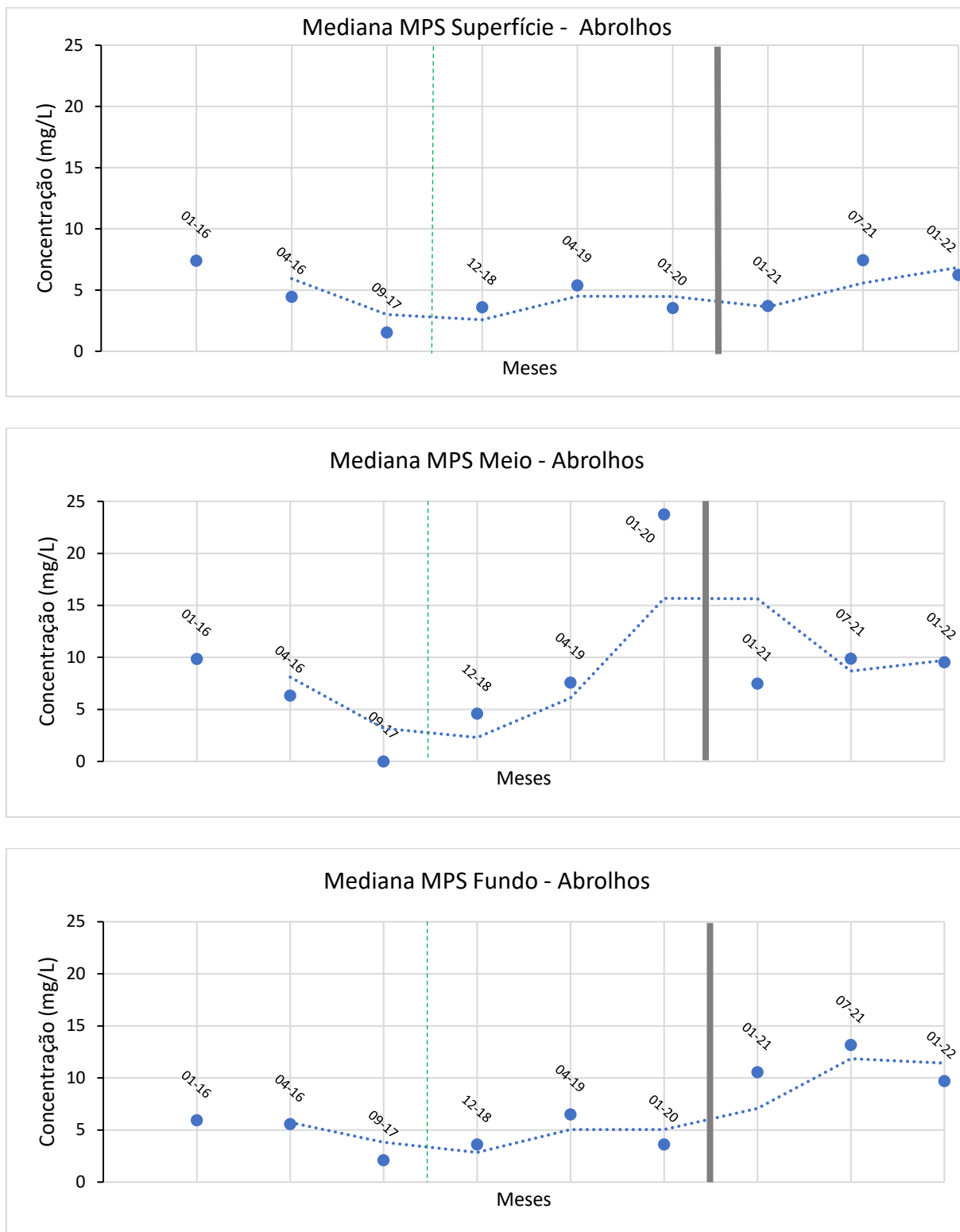


Figura 3: Médias móveis das medianas das concentrações do Material Particulado em Suspensão (MPS), em mg/L, superfície, meio e fundo, da coluna d'água para o Setor Abrolhos. A linha verde tracejada indica o início do PMBA e a linha cinza indica gap de dados devido à pandemia. Não ocorreram coletas para esse setor a partir de 01/22 devido a uma alteração da malha amostral, a qual não abrange mais o setor.



O Setor Abrolhos tem mostrado influência dos eventos hidrológicos dos rios que deságuam no próprio setor, assim o aumento das concentrações de MPS foram observadas durante ou logo após chuvas de moderada a forte intensidade no centro – norte do Espírito Santo e sul da Bahia (Figura 1). A Figura 2 e Figura 3 mostram que o Setor Abrolhos apresentou as maiores concentrações de MPS para as profundidades Superfície e Meio no Ano 2 e Ano 4, enquanto as maiores concentrações de MPS próximo ao fundo (Fundo) foram observados no Ano 3 (setembro de 2021). As maiores concentrações de MPS na superfície e meio da coluna d'água no Ano 2 e 4 decorrem do fato dos meses mais chuvosos terem sido dezembro de 2019, janeiro 2020 (Ano 2), dezembro de 2021 e janeiro de 2022 (Ano 4), quando comparados aos meses de dezembro de 2018, janeiro de 2019 (Ano 1), dezembro de 2020 e janeiro de 2021 (Ano 3), para todo centro – norte do Espírito-Santo e sul da Bahia.

Figura 4: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS; caixas pretas) e teor de matéria orgânica (MO; caixas azuis) do MPS para amostras de água coletadas na **(A)** superfície, **(B)** meio e **(C)** fundo (a 1 m do sedimento) da coluna d'água para o Setor Norte. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Pontos pretos correspondem aos valores de cada estação amostral. Não há dados pretéritos de teor de matéria orgânica (MO) para esse setor.

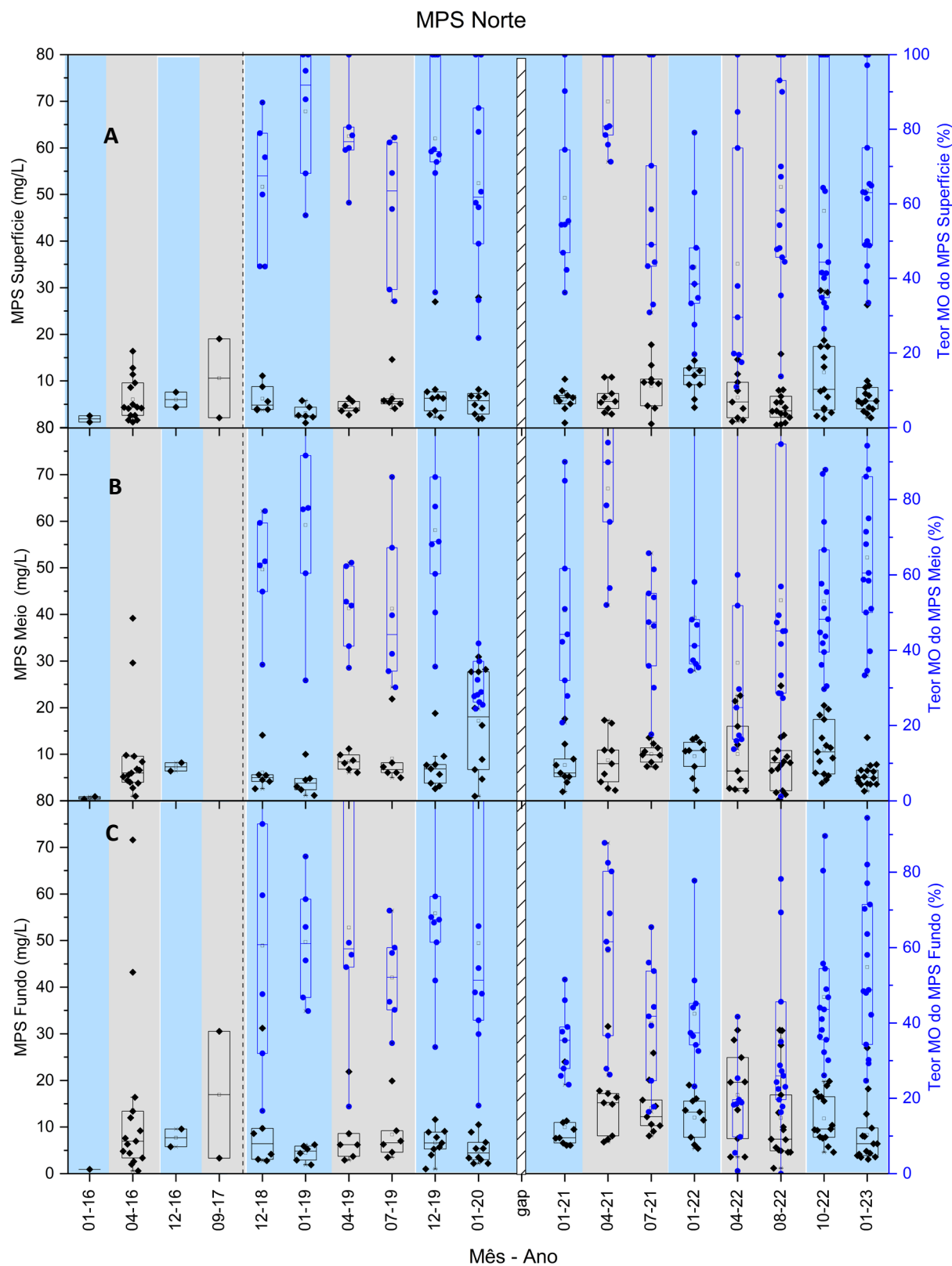
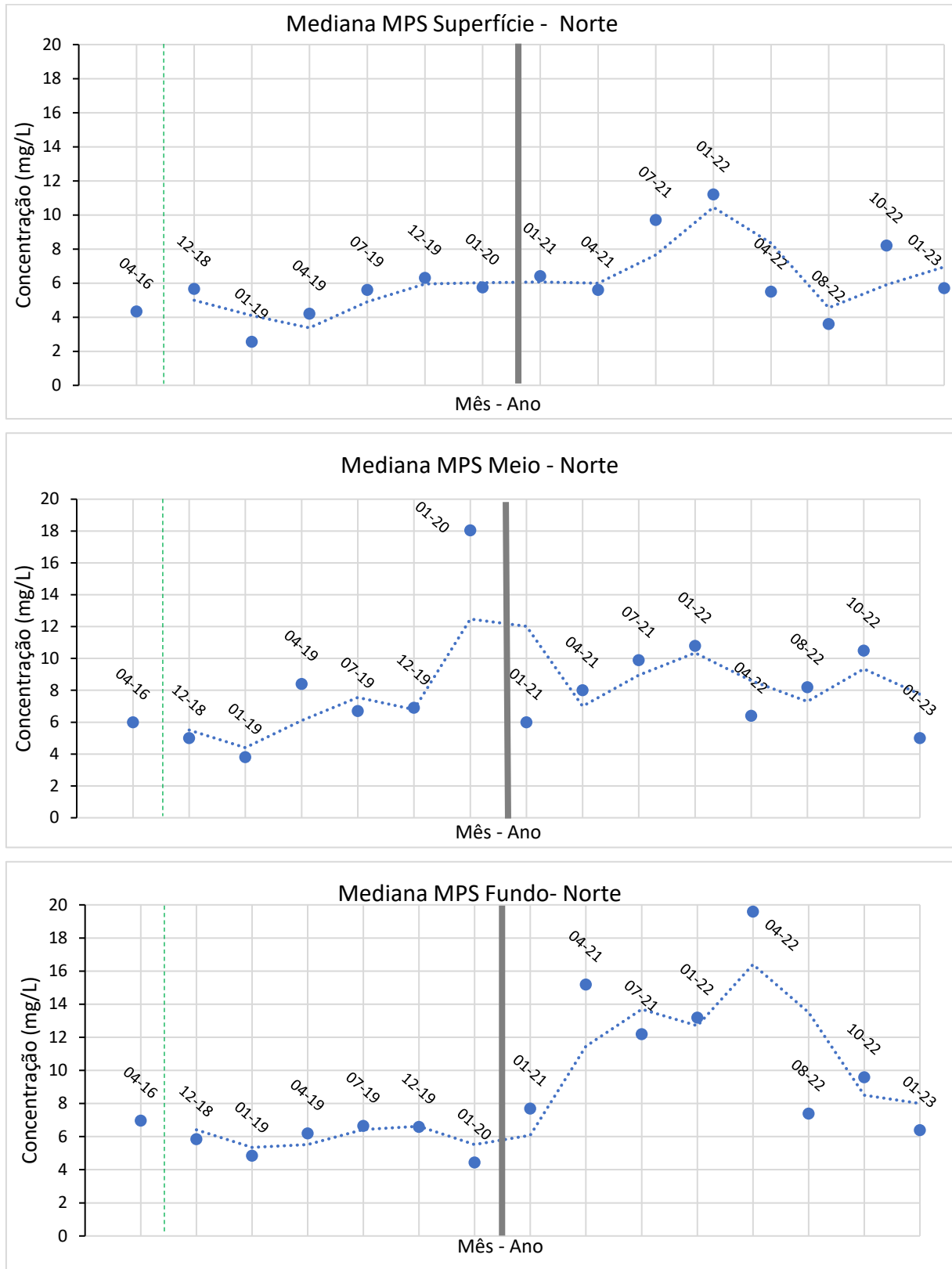


Figura 5: Médias móveis das medianas das concentrações do Material Particulado em Suspensão (MPS), em mg/L, superfície, meio e fundo, da coluna d'água para o Setor Norte. A linha verde tracejada indica o início do PMBA/Fest e a linha cinza indica gap de dados devido à pandemia.



As estações que apresentaram aumento significativo da concentração de MPS no Setor Norte ao longo do monitoramento foram as estações de Barra Nova e Itaúnas. De maneira geral, para esse setor as maiores concentrações de MPS (Figura 4 e Figura 5) para as profundidades Superfície e Meio ocorreram no Ano 2, resultantes de um período chuvoso mais intenso para todo centro – norte do Espírito Santo. Considerados os dados das campanhas do período seco do Ano 4 (campanhas de abril e agosto 2022), foi observado um aumento das concentrações de MPS, principalmente para o fundo da coluna d'água, ligados aos eventos de ressuspensão de fundo. Entretanto, para o período chuvoso do Ano 5 (campanhas de outubro de 2022 e janeiro de 2023) foi observado uma diminuição do MPS da superfície, meio e fundo da coluna d'água em relação ao Ano 4. Vale ressaltar que no Setor Norte, a análise da variação espaço-temporal da concentração de MPS e do teor de MO no MPS mostra o efeito significativo dos eventos de ressuspensão de sedimentos do fundo marinho.

Figura 6: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) para amostras de água coletadas na **(A)** superfície, **(B)** meio e **(C)** fundo (a 1 m do sedimento) da coluna d'água para o Setor Foz Norte. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em vermelho indica o rompimento da barragem de Fundão. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Pontos sólidos correspondem aos valores de cada estação amostral. Os limites superiores para os eixos Y são diferentes entre cada profundidade da coluna d'água e para parte da série de dados (dados em vinho são correspondentes ao eixo Y à esquerda; dados em azul são correspondentes ao eixo Y à direita) devido à grande diferença entre as concentrações.

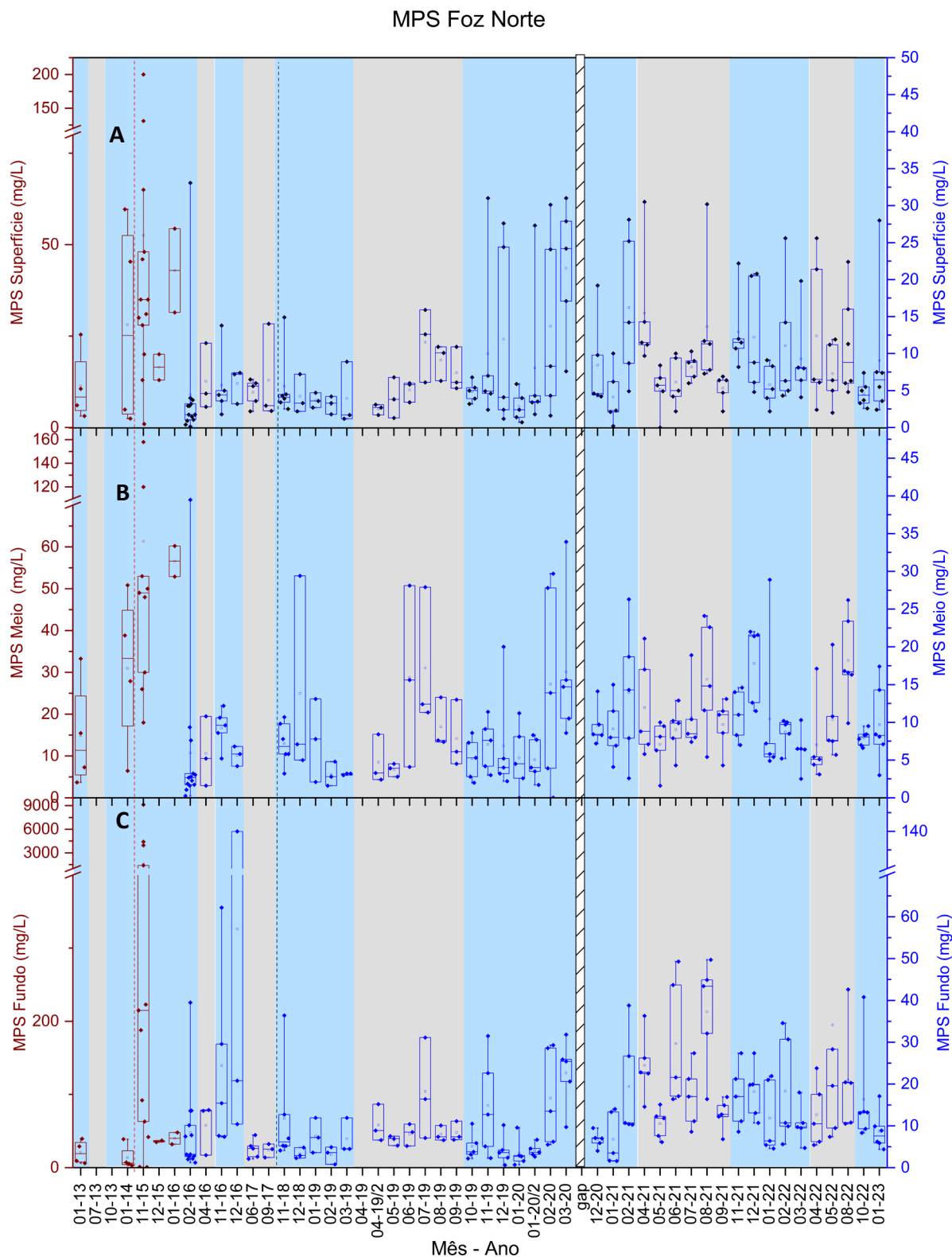


Figura 7: Médias móveis das medianas das concentrações do Material Particulado em Suspensão (MPS), em mg/L, superfície, meio e fundo, da coluna d'água para o Setor Foz Norte desde janeiro/2013. A linha vermelha indica o rompimento da Barragem de fundão, a linha verde tracejada indica o início do PMBA/Fest e a linha cinza indica gap de dados devido à pandemia.

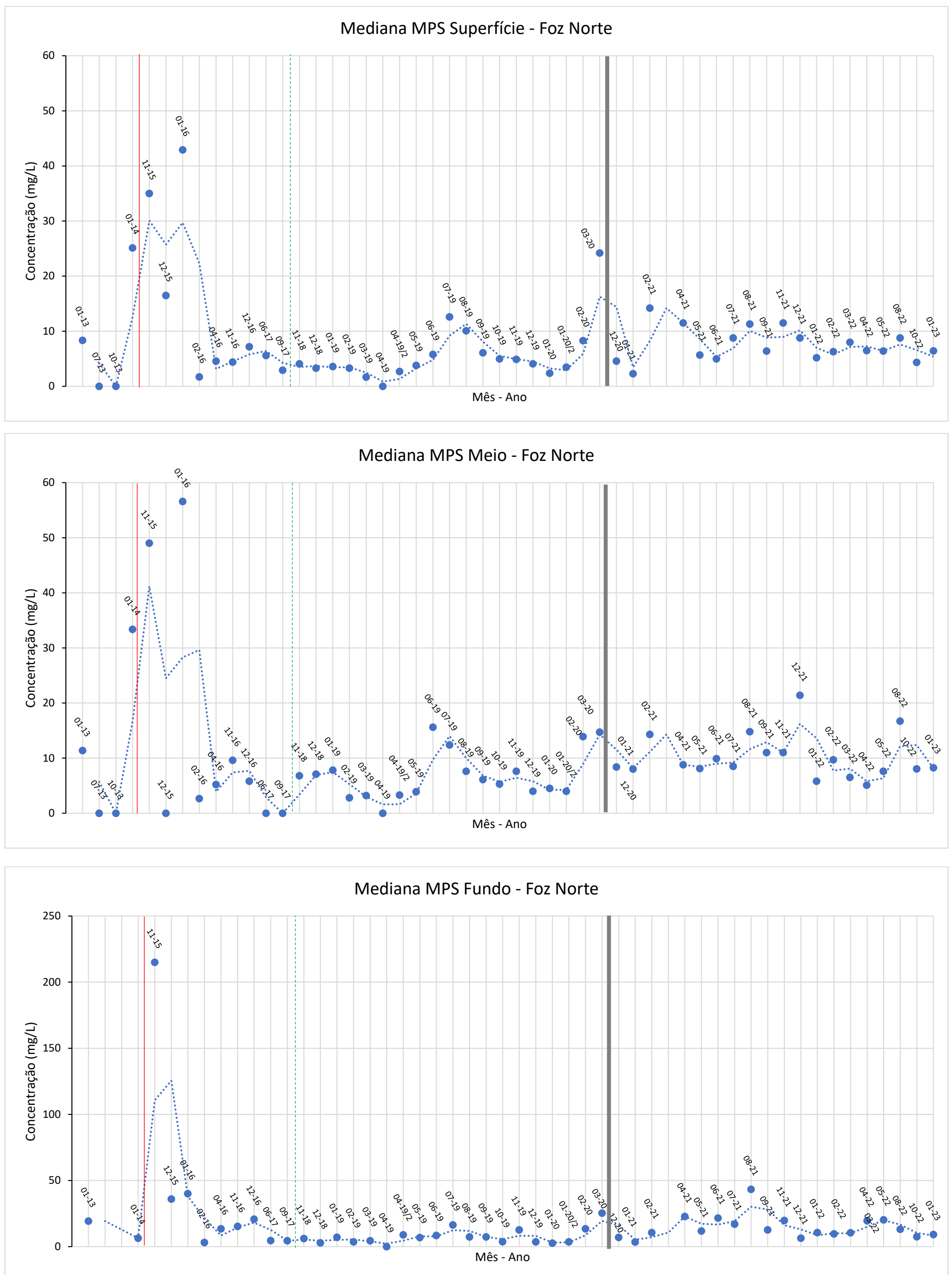
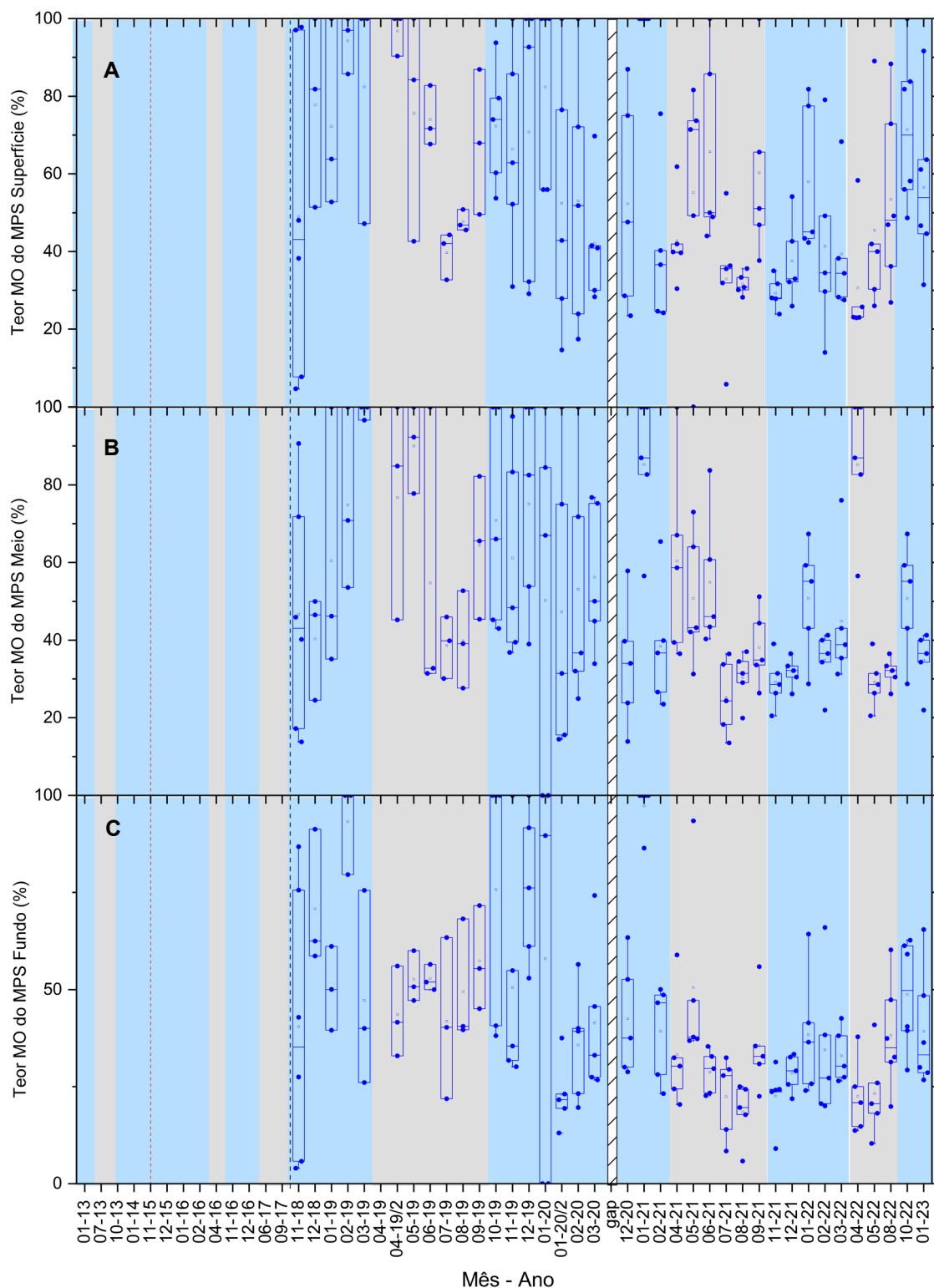


Figura 8: Teor de matéria orgânica (MO) do MPS para amostras de água coletadas, (A) superfície, (B) meio, (C) fundo (a 1 m do sedimento), da coluna d'água para o Setor Foz Norte. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em vermelho indica o rompimento da barragem de Fundão. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Pontos sólidos correspondem aos valores de cada estação amostral. Não há dados pretéritos de teor de matéria orgânica (MO) para esse setor.

Teor de MO do MPS Foz Norte



As condições conjuntas de vazão do Rio Doce e vento sobre a plataforma continental são determinantes na evolução espaço-temporal das concentrações de MPS. Dessa forma, o aumento da concentração de MPS associada às condições de vento propicia dispersão do material em suspensão. Para a Foz Norte ocorre, principalmente durante ventos do quadrante sul. Pode-se observar na Figura 1 que, ao longo do PMBA/Fest, o comportamento da vazão foi próximo à climatologia (Oliveira e Quaresma, 2017), com aumento das vazões máxima diária e mediana mensal, entre outubro e março (período chuvoso), e redução da vazão entre abril e setembro (período seco; Oliveira e Quaresma, 2017). Como esperado, esse momento de pico de vazão foi acompanhado por um aumento no aporte de sedimento em suspensão, que refletiu no aumento da concentração do MPS, principalmente para a superfície da coluna d'água, para esse setor (Figura 6 a Figura 8).

Ao longo do PMBA/Fest, os valores máximos de vazão foram observados em janeiro (5179 m³/s) no Ano 2; e janeiro (5595 m³/s) de 2022 no Ano 4. Para o período chuvoso do Ano 5 as medianas das vazões dos meses de dezembro e janeiro foram superiores aos anos anteriores, porém as vazões máximas não atingiram valores como os registrados para os Anos 2 e 4. Dessa forma, as maiores concentrações de MPS ocorreram no Ano 2 e Ano 4, no entanto para o Ano 5 as concentrações de MPS para o mês de janeiro na superfície e meio da coluna de água foram superiores aos registrados no mesmo mês do Ano 4. Além disso, as concentrações de MPS no Setor Foz Norte, para todas as profundidades, apresentaram tendência de aumento significativo ao longo do período do monitoramento.

Figura 9: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) para amostras de água coletadas, **(A)** superfície, **(B)** meio, **(C)** fundo (a 1 m do sedimento), da coluna d'água para o Setor Foz Central. Áreas em azul indicam período chuvoso.

Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em vermelho indica o rompimento da barragem de Fundão. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Pontos sólidos correspondem aos valores de cada estação amostral. Os limites superiores para os eixos Y são diferentes entre para cada profundidade da coluna d'água e para parte da série de dados (dados em vinho são correspondentes ao eixo Y à esquerda; dados em azul são correspondentes ao eixo Y à direita) devido à grande diferença entre as concentrações.

MPS Foz Central

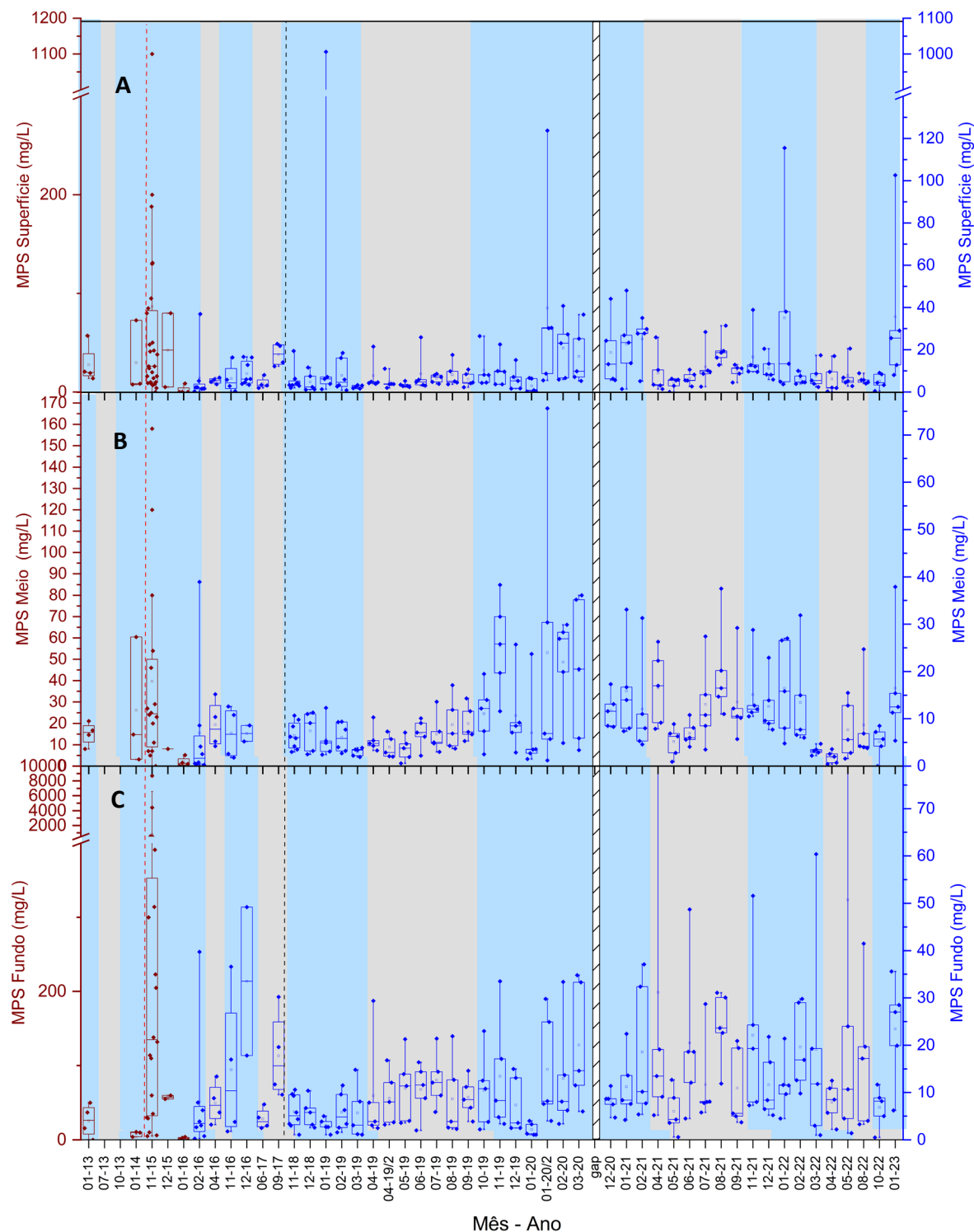


Figura 10: Médias móveis das medianas das concentrações do Material Particulado em Suspensão (MPS), em mg/L, superfície, meio, **fundo** da coluna d'água, para o Setor Foz Central desde janeiro/2013. A linha vermelha indica o rompimento da Barragem de fundão, a linha verde tracejada indica o início do PMBA e a linha cinza indica gap de dados devido à pandemia.

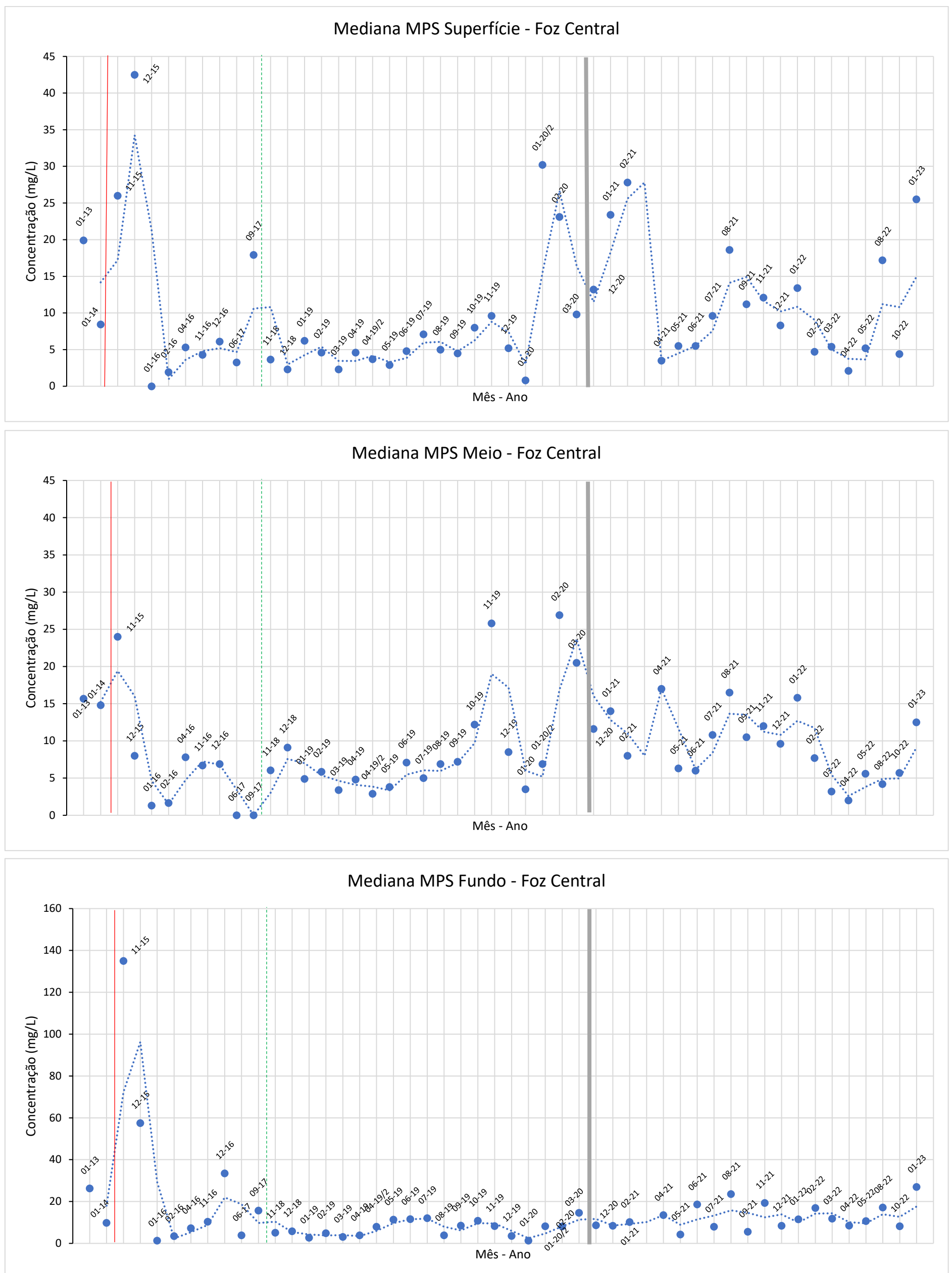
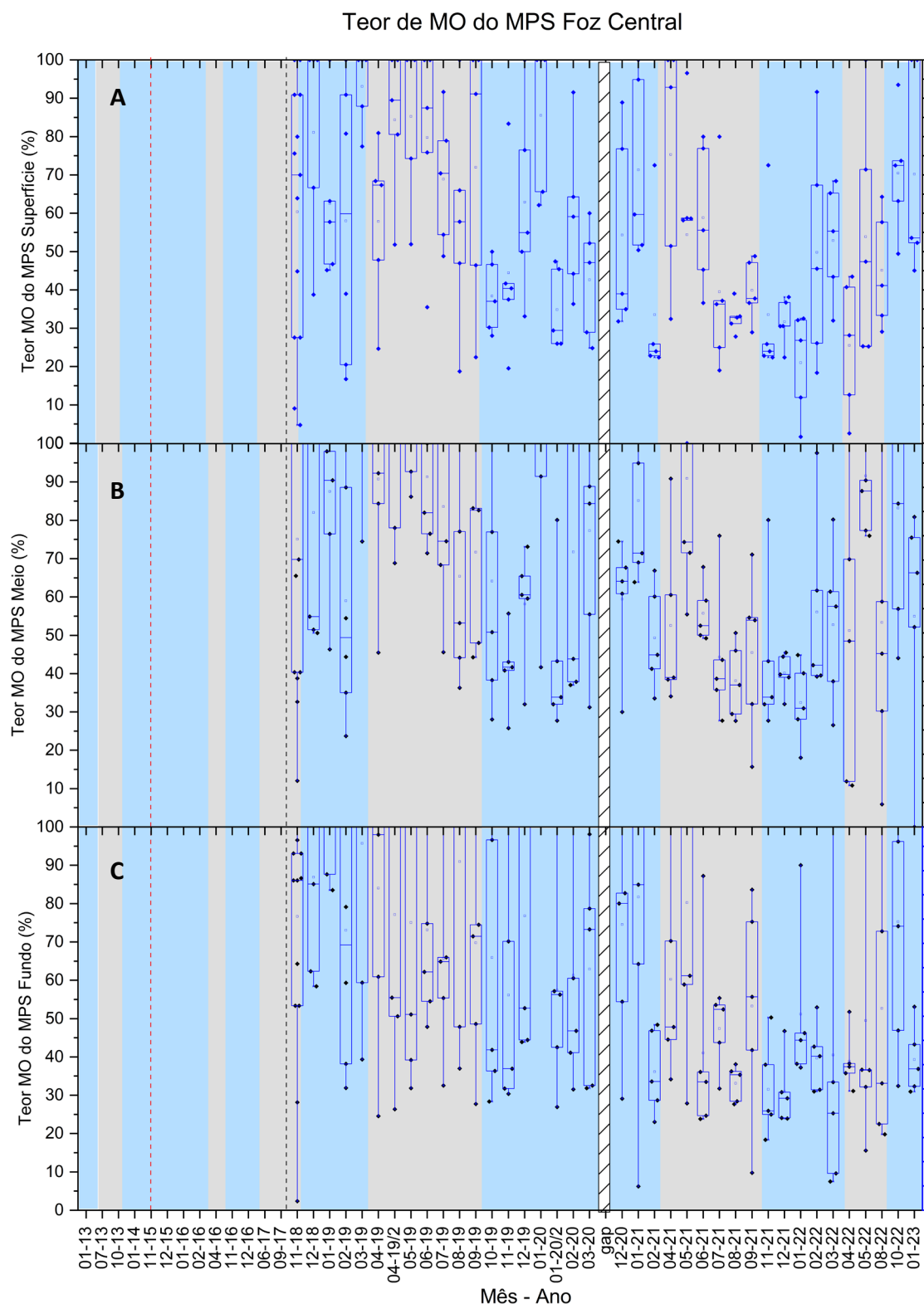


Figura 11: Teor de matéria orgânica (MO) do MPS para amostras de água coletadas, **(A)** superfície, **(B)** meio, **(C)** fundo (a 1 m do sedimento) da coluna d'água, para o Setor Foz Central. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em vermelho indica o rompimento da barragem de Fundão. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Pontos sólidos correspondem aos valores de cada estação amostral. Não há dados pretéritos de teor de matéria orgânica (MO) para esse setor.



As concentrações de MPS no Setor Central (Figura 9 a Figura 11) para todas as profundidades apresentaram tendência de aumento significativo ao longo do período do monitoramento. Com maiores concentrações de MPS na superfície da coluna d'água no período chuvoso (aporte fluvial), e no fundo durante os períodos secos (ressuspensão do sedimento do fundo). O comportamento das concentrações de MPS da Foz Central do Rio Doce mostra a influência direta das condições hidro-meteoceanográficas (Figura 1). As concentrações de MPS no Ano 2 e Ano 4 foram superiores, porém, ocorreu um aumento das medianas das concentrações de MPS para a superfície e fundo da coluna d'água no Ano 5. Este aumento na concentração foi devido ao maior aporte de sedimento do Rio Doce para dezembro de 2022 e janeiro de 2023, tornando evidente a influência do aporte de sedimentar do Rio Doce no comportamento do MPS nesse setor. A título de exemplificação, a campanha de janeiro de 2022 na Foz do Rio Doce começou no dia seguinte ao pico do evento hidrológico de cheia (vazão máxima de 5595 m³/s no dia 13/01/2022) (estação P21 em Linhares (Tema – Integração Fluvio-Estuarina/PMBA). No dia do pico do evento em questão a carga de sedimento em suspensão do Rio Doce atingiu 1,5 x10⁵ toneladas/dia; (estação P21 em Linhares (Tema – Integração Fluvio-Estuarina/PMBA). Destaque para o Setor Foz Central, na qual a concentração de MPS atingiu 115 mg/L (estação SD 01 na Superfície da coluna d'água) durante o período chuvoso do Ano 04 e 102 mg/L (estação SD 01 na Superfície da coluna d'água) no período chuvoso do Ano 5.

Figura 12: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) para amostras de água coletadas, **(A)** superfície, **(B)** meio, **(C)** fundo (a 1 m do sedimento) da coluna d'água, para o Setor Foz Sul. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em vermelho indica o rompimento da barragem de Fundão. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Pontos sólidos correspondem aos valores de cada estação amostral. Os limites superiores para os eixos Y são diferentes entre para cada profundidade da coluna d'água e para parte da série de dados (dados em vinho são correspondentes ao eixo Y à esquerda; dados em azul são correspondentes ao eixo Y à direita) devido à grande diferença entre as concentrações.

MPS Foz Sul

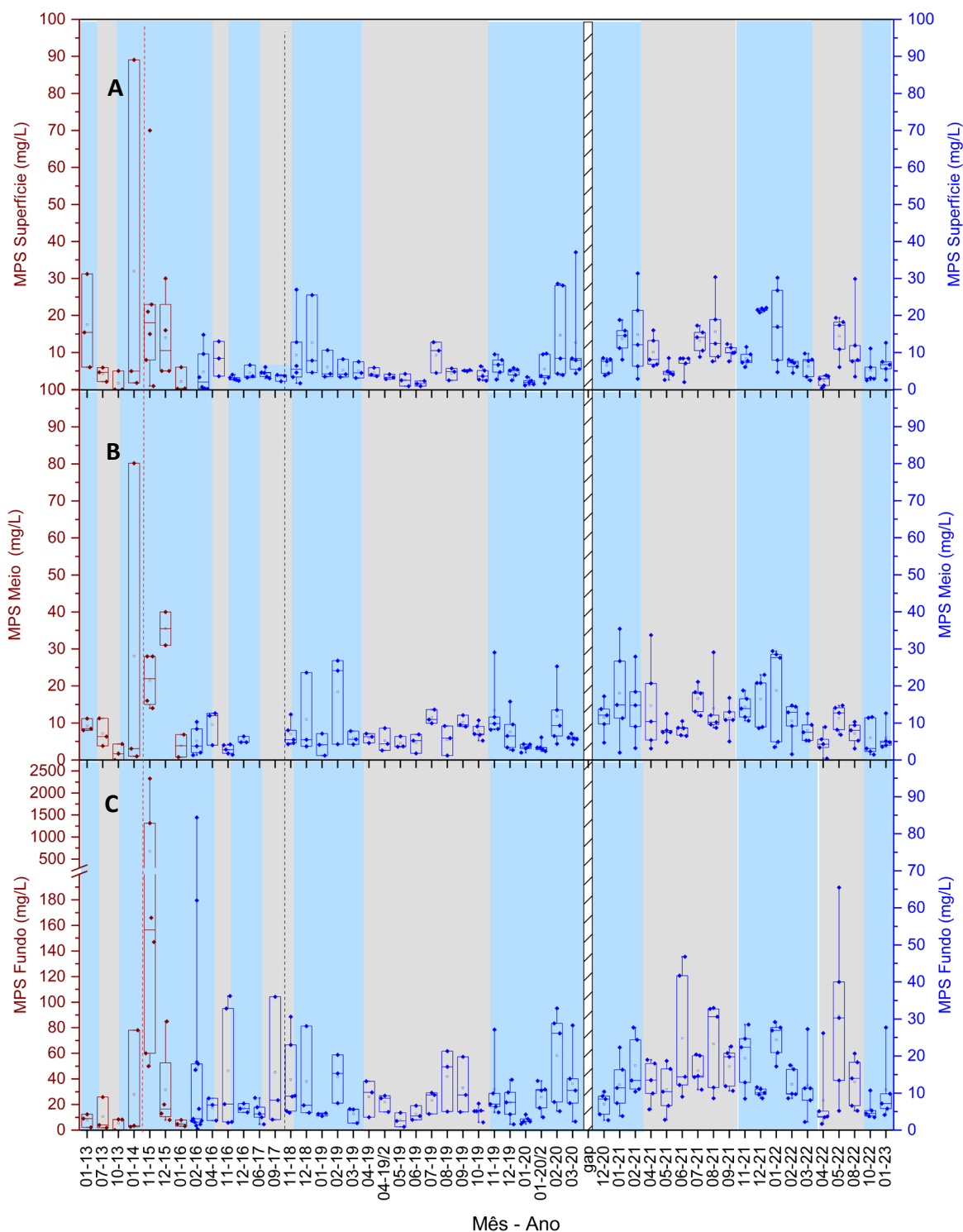


Figura 13: Médias móveis das medianas das concentrações do Material Particulado em Suspensão (MPS), em mg/L, superfície, meio, fundo da coluna d'água, para o Setor Foz Central desde janeiro/2013. A linha vermelha indica o rompimento da Barragem de Fundão, a linha verde tracejada indica o início do PMBA e a linha cinza indica gap de dados devido à pandemia.

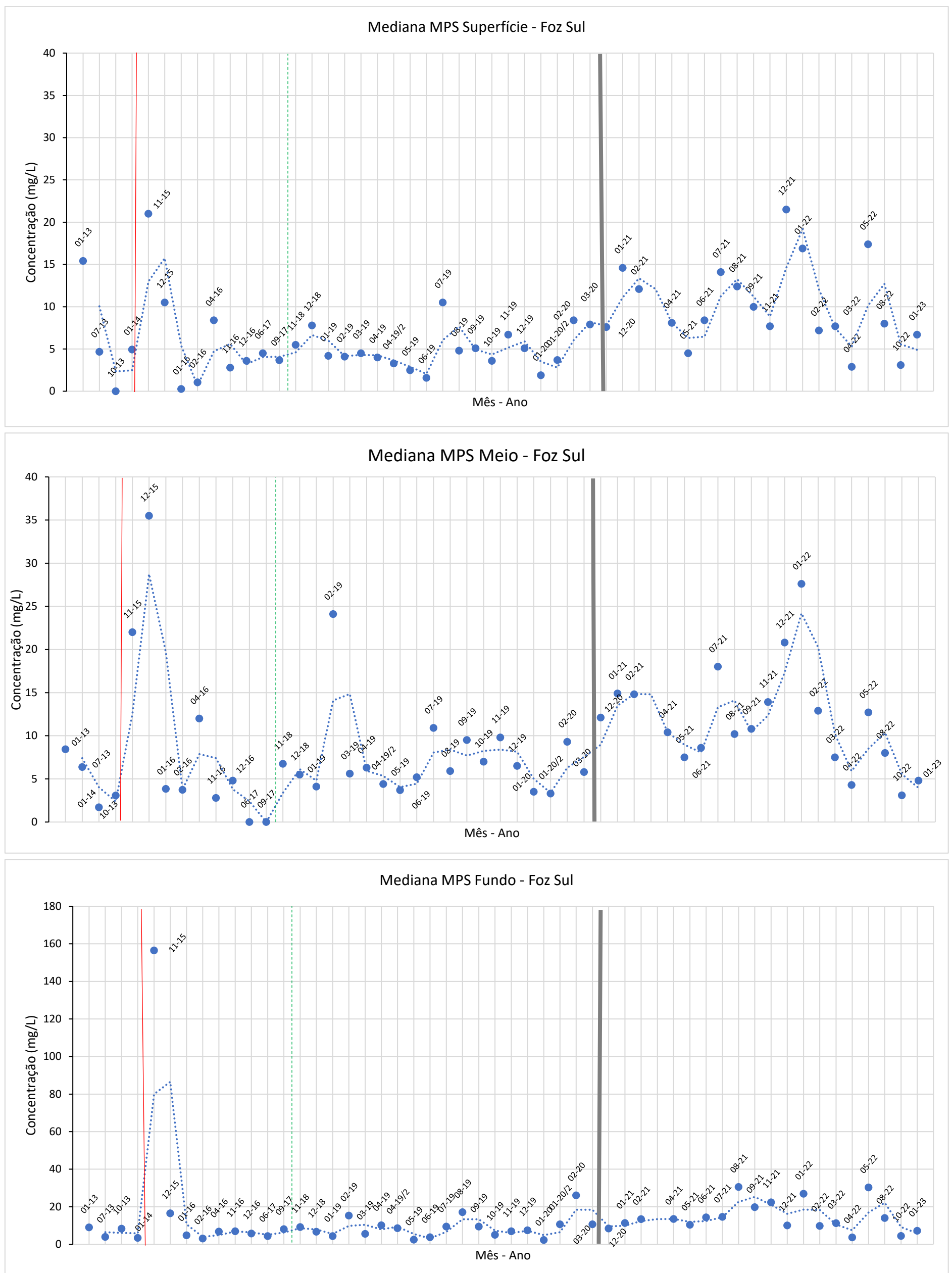
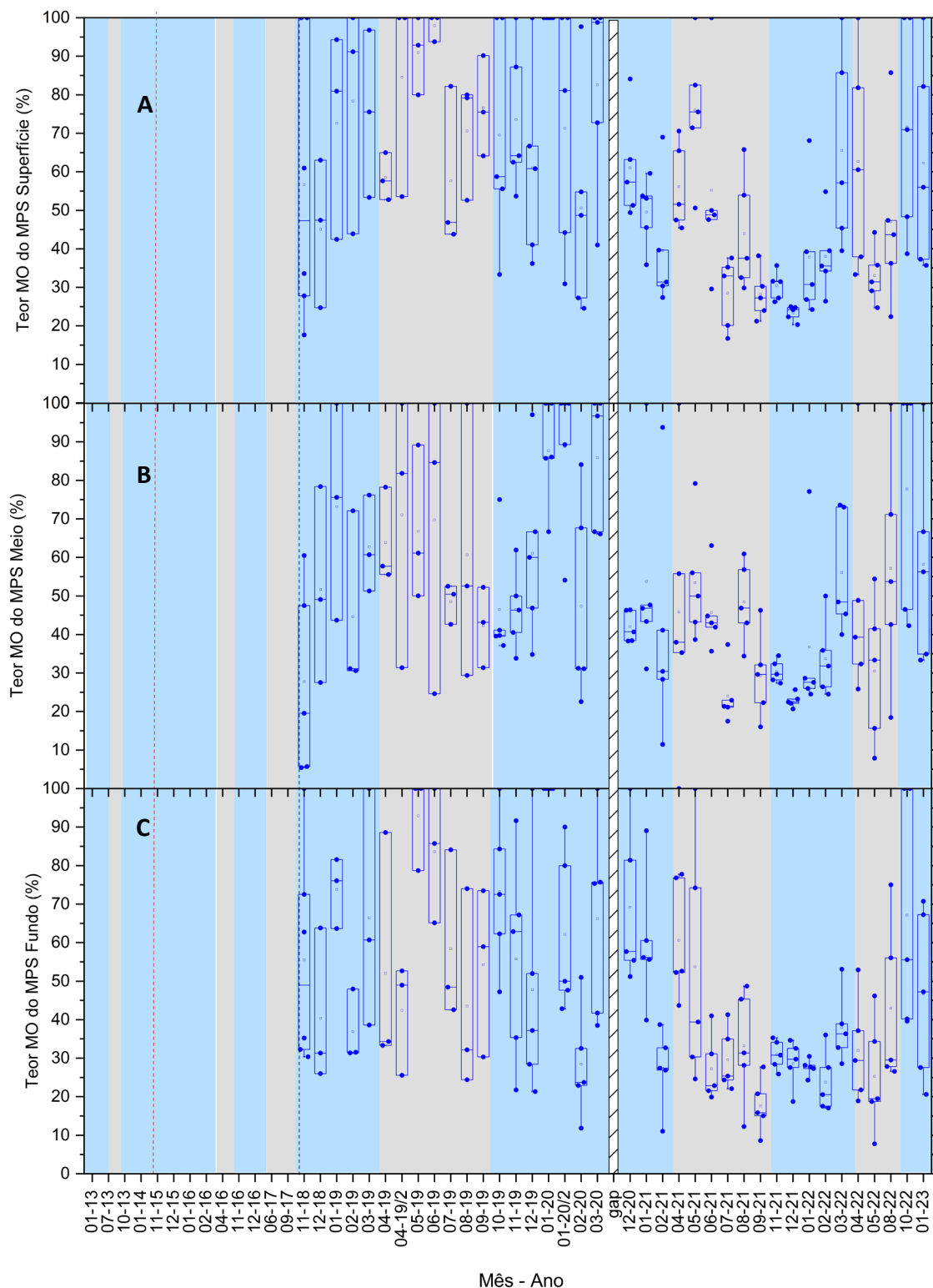


Figura 14: Teor de matéria orgânica (MO) do MPS para amostras de água coletadas, **(A)** superfície, **(B)** meio, **(C)** fundo (a 1 m do sedimento) da coluna d'água, para o Setor Foz Sul. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em vermelho indica o rompimento da barragem de Fundão. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Pontos sólidos correspondem aos valores de cada estação amostral. Não há dados pretéritos de teor de matéria orgânica (MO) para esse setor.

Teor de MO do MPS Foz Sul



As concentrações de MPS para o Setor Foz Sul (Figura 12 a Figura 14) também apresentam tendência de aumento significativo ao longo do período do monitoramento. Entretanto, embora o comportamento das concentrações de MPS no período chuvoso do Ano 5 na Foz Sul continua mostrando a influência direta das condições hidro-meteoceanográficas, o período chuvoso do Ano 5 mostra uma diminuição das medianas das concentrações de MPS em relação às medianas do Ano 4. Esse comportamento foi inverso nos outros setores da Foz do Rio Doce.

Figura 15: Concentração de Material Particulado em Suspensão (MPS) para amostras de água coletadas, **(A)** superfície, **(B)** meio, **(C)** fundo (a 1 m do sedimento) da coluna d'água, para o Setor APA Costa das Algas. As estações rasas estão localizadas mais próximas à costa até 36 m de profundidade e as estações profundas estão localizadas a partir de 36 m até cerca de 55m de profundidade. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Não há dados pretéritos de MPS para esse setor. Dados em vinho correspondem às estações Rasas. Dados em azul correspondem às estações Profundas. Pontos sólidos correspondem aos valores de cada estação amostral.

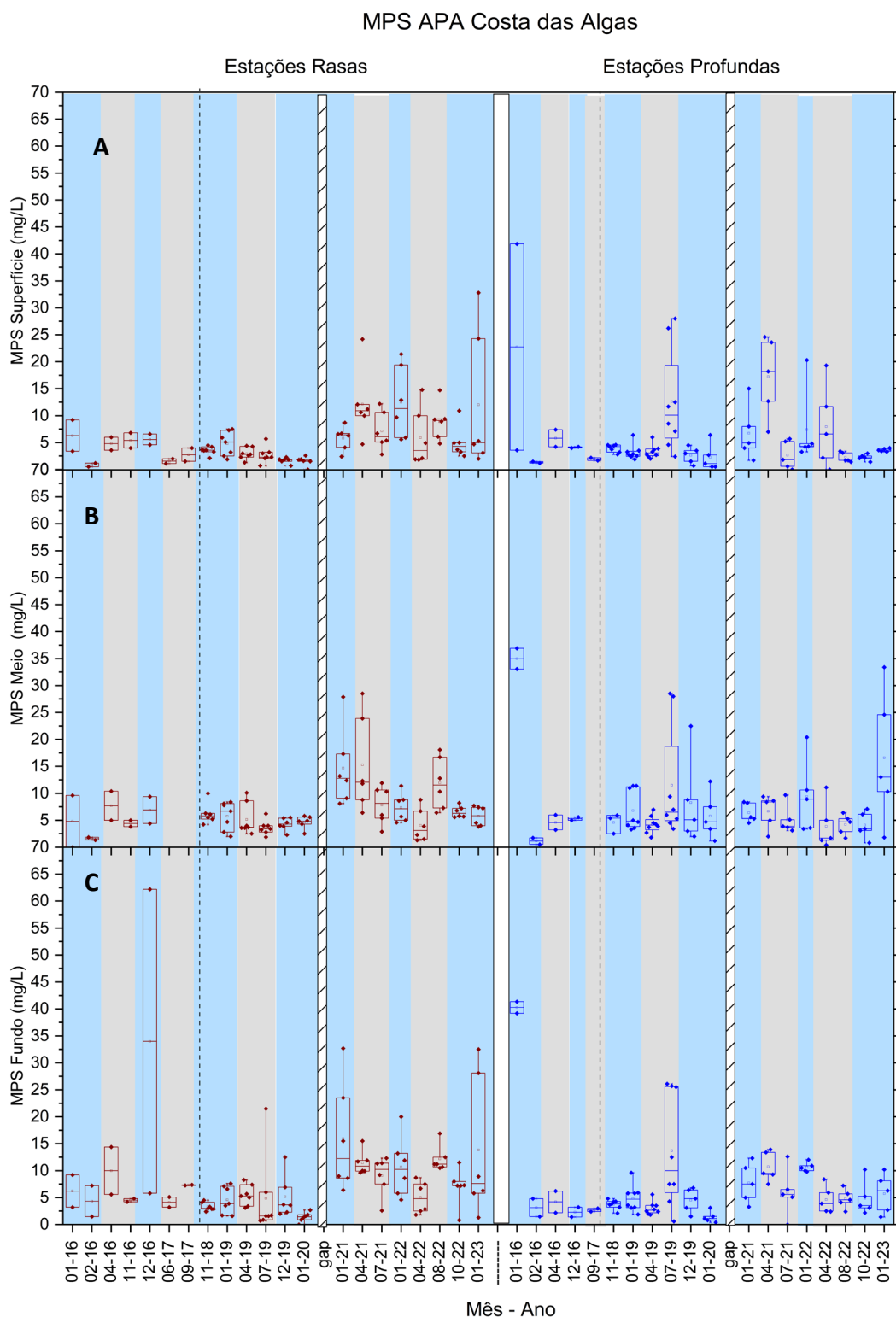


Figura 16: Médias móveis das medianas das concentrações do Material Particulado em Suspensão (MPS), em mg/L, superfície, meio, fundo da coluna d'água, para o Setor APA Costa das Algas. A linha verde tracejada indica o início do PMBA e a linha cinza indica gap de dados devido à pandemia.

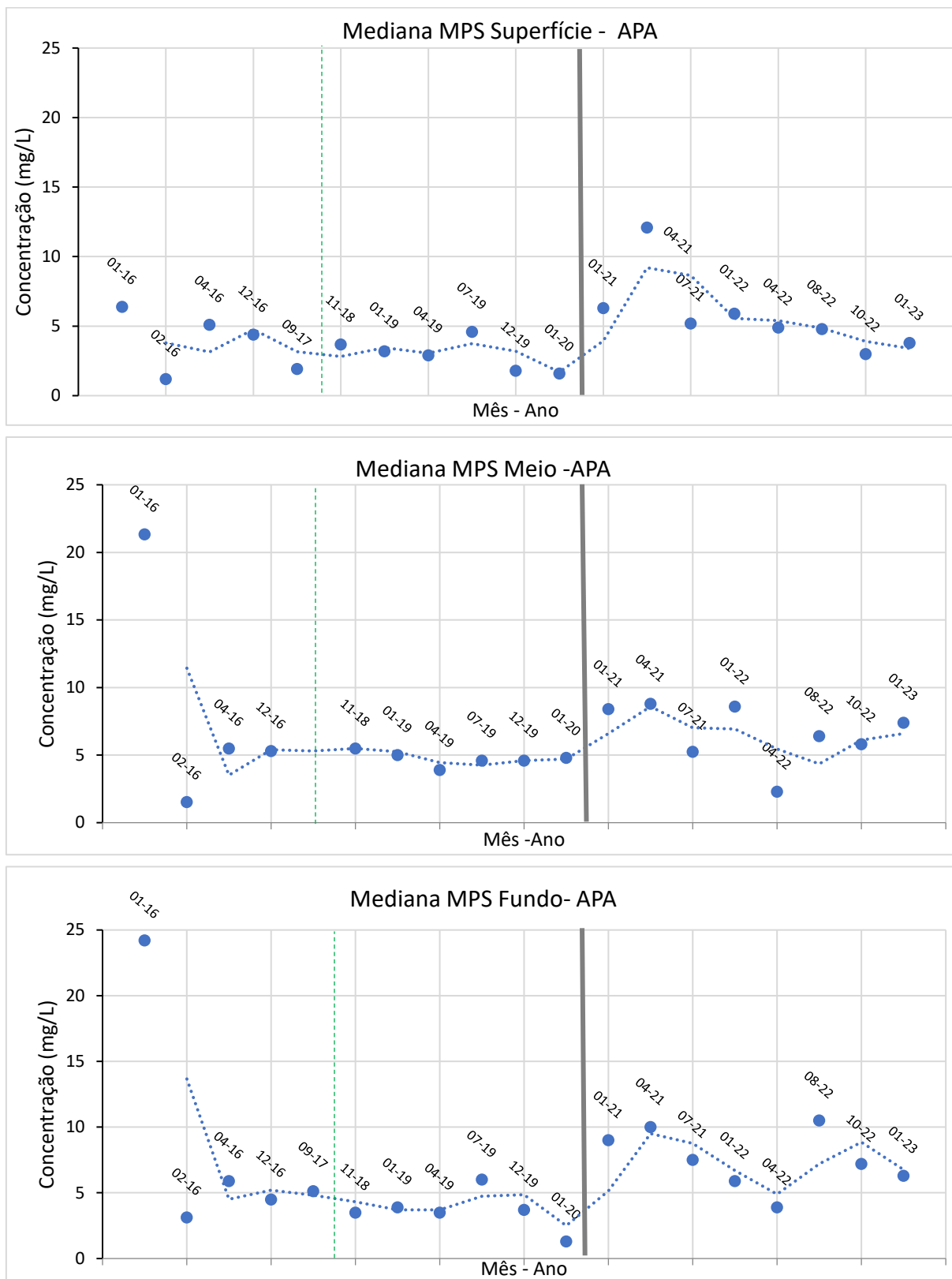
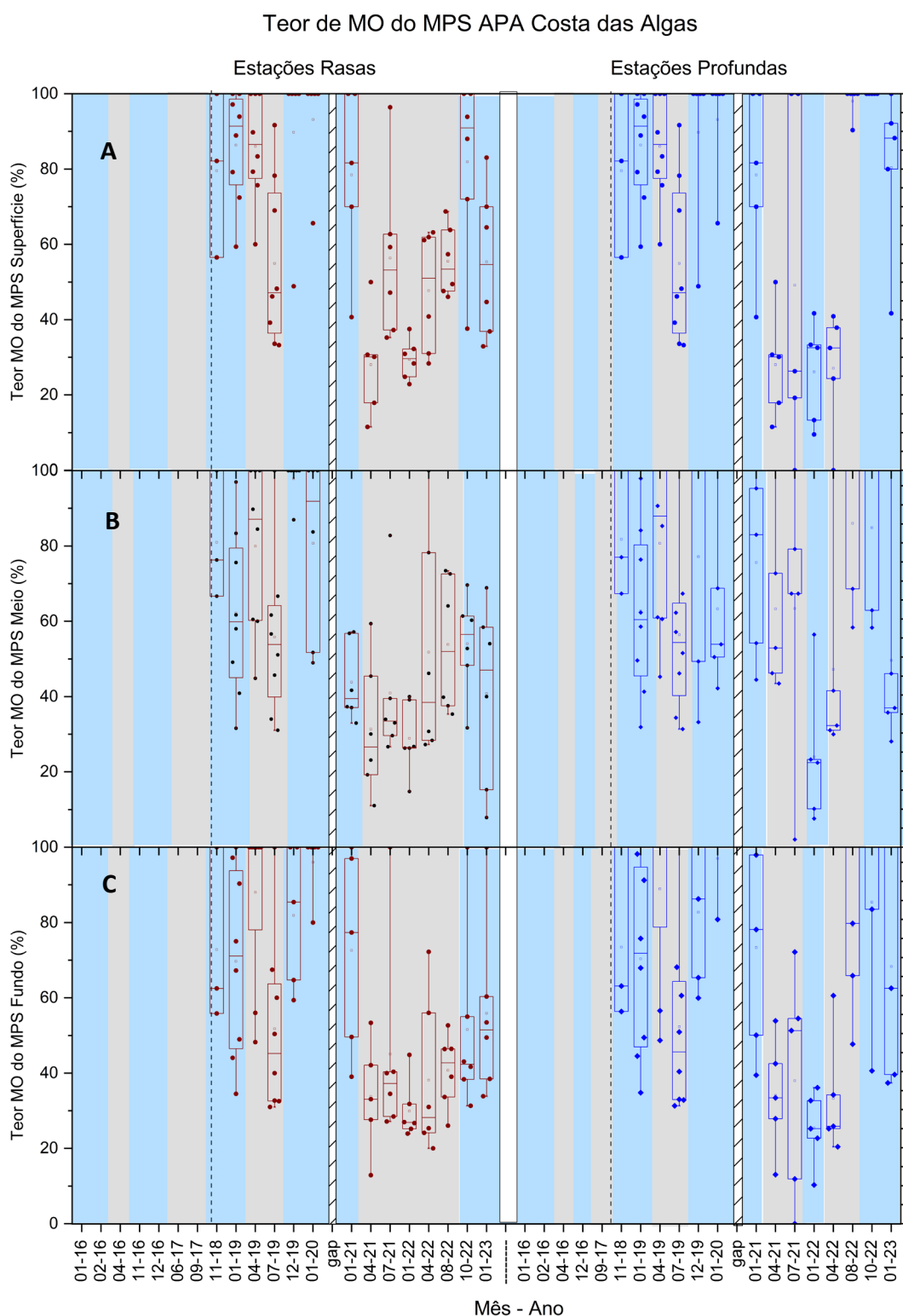


Figura 17: Teor de matéria orgânica (MO) do MPS para amostras de água coletadas, **(A)** superfície, **(B)** meio, **(C)** fundo (a 1 m do sedimento) da coluna d'água, para o Setor APA Costa das Algas. As estações rasas estão localizadas mais próximas à costa até 36 m de profundidade e as estações profundas estão localizadas a partir de 36 m até cerca de 55m de profundidade.

Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Não há dados pretéritos de teor de MO do MPS para esse setor. Dados em vinho correspondem às estações Rasas. Dados em azul correspondem às estações Profundas.

Pontos sólidos correspondem aos valores de cada estação amostral.



Nas estações APA Rasa (até 36m) foi observado um aumento significativo das concentrações de MPS ao longo do período do Monitoramento (Figura 15 e Figura 17). Nas estações APA profunda (36m<profundidade<55m) não foi observado esse padrão. Como discutido por estudos prévios e em relatórios anteriores, no Setor APA Costa das Algas a concentração de MPS é fortemente influenciada pelo material exportado pelo Rio Doce durante condições conjuntas de eventos de cheia e ventos do quadrante norte. Dessa forma, as maiores concentrações de MPS para as estações rasas ocorreram em janeiro de 2022 (Ano 4). Essa campanha foi realizada 5 dias após um evento hidrológico de cheia no Rio Doce, com a vazão do Rio Doce entre 4531 e 5390 m³/s (estação P21 em Linhares (Tema – Integração Fluvio-Estuarina/PMBA). Durante o evento hidrológico de cheia e nos dias subsequentes, ventos do quadrante norte e correntes para sul e sudoeste foram observados na região da foz do Rio Doce (Climate Forecast System Reanalysis, 2023). Essa situação favorece à dispersão de MPS para sul. Comparativamente, as menores concentrações foram observadas em janeiro de 2020 (Ano 2), quando a vazão do Rio Doce apresentava baixos valores (entre 400 e 700 m³/s) nos dias que antecederam a coleta. Para o Ano 5, assim como no setor Foz Sul, as concentrações de MPS foram menores quando comparadas ao período chuvoso do ano anterior.

2.2 POTENCIAL DE MOBILIDADE DO SEDIMENTO SUPERFICIAL DE FUNDO

Figura 18: Percentual de Mobilidade do sedimento superficial (base) ao longo do PMBA/Fest, para os setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul. Áreas em azul indicam o período chuvoso e em cinza, o período seco. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia.

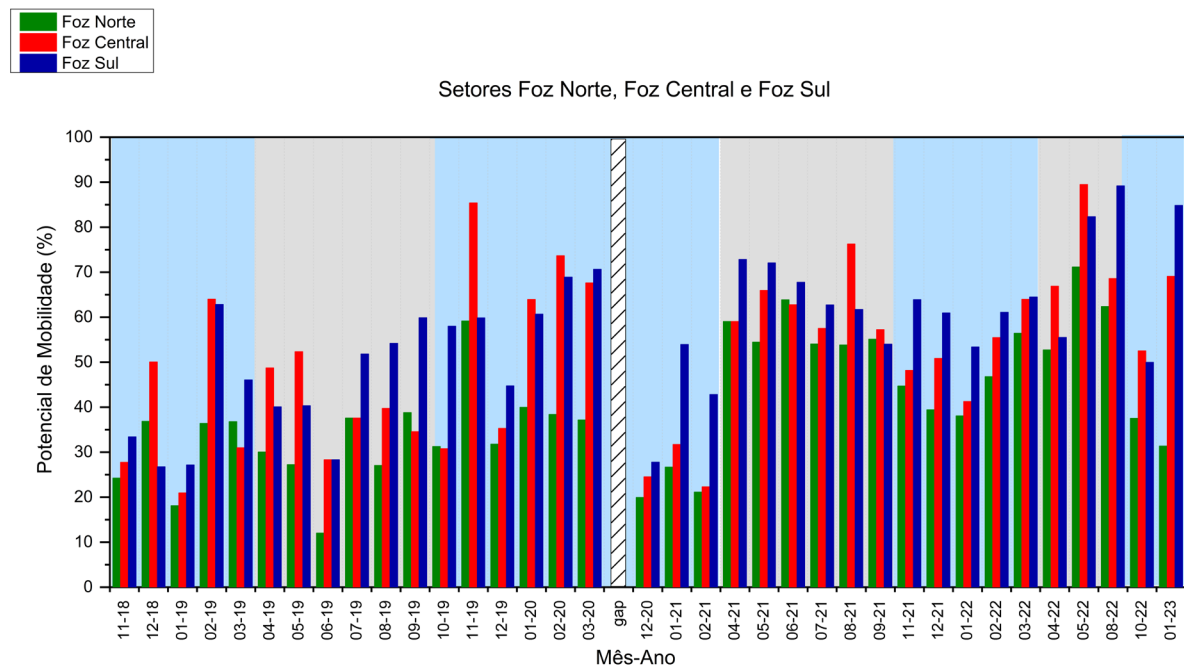
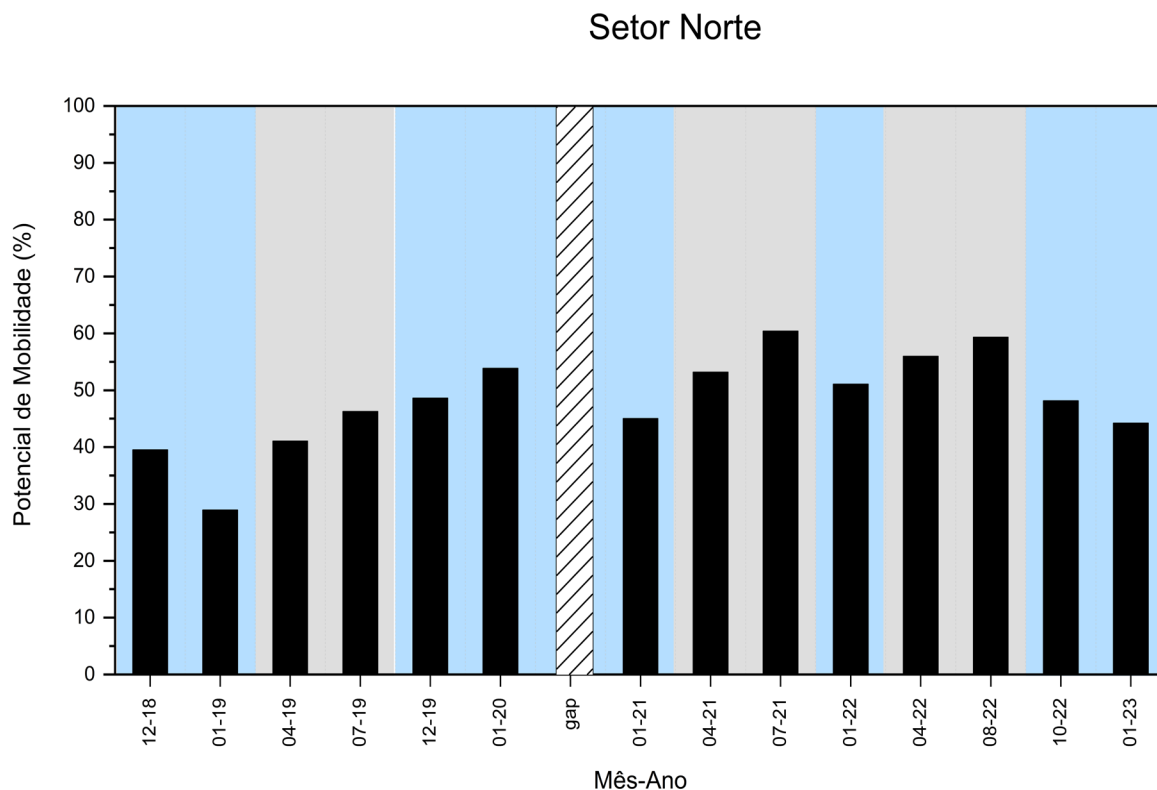


Figura 19: Percentual de Mobilidade do sedimento superficial (base) ao longo do PMBA/Fest, para o setor Norte. Áreas em azul indicam o período chuvoso e em cinza, o período seco. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia.



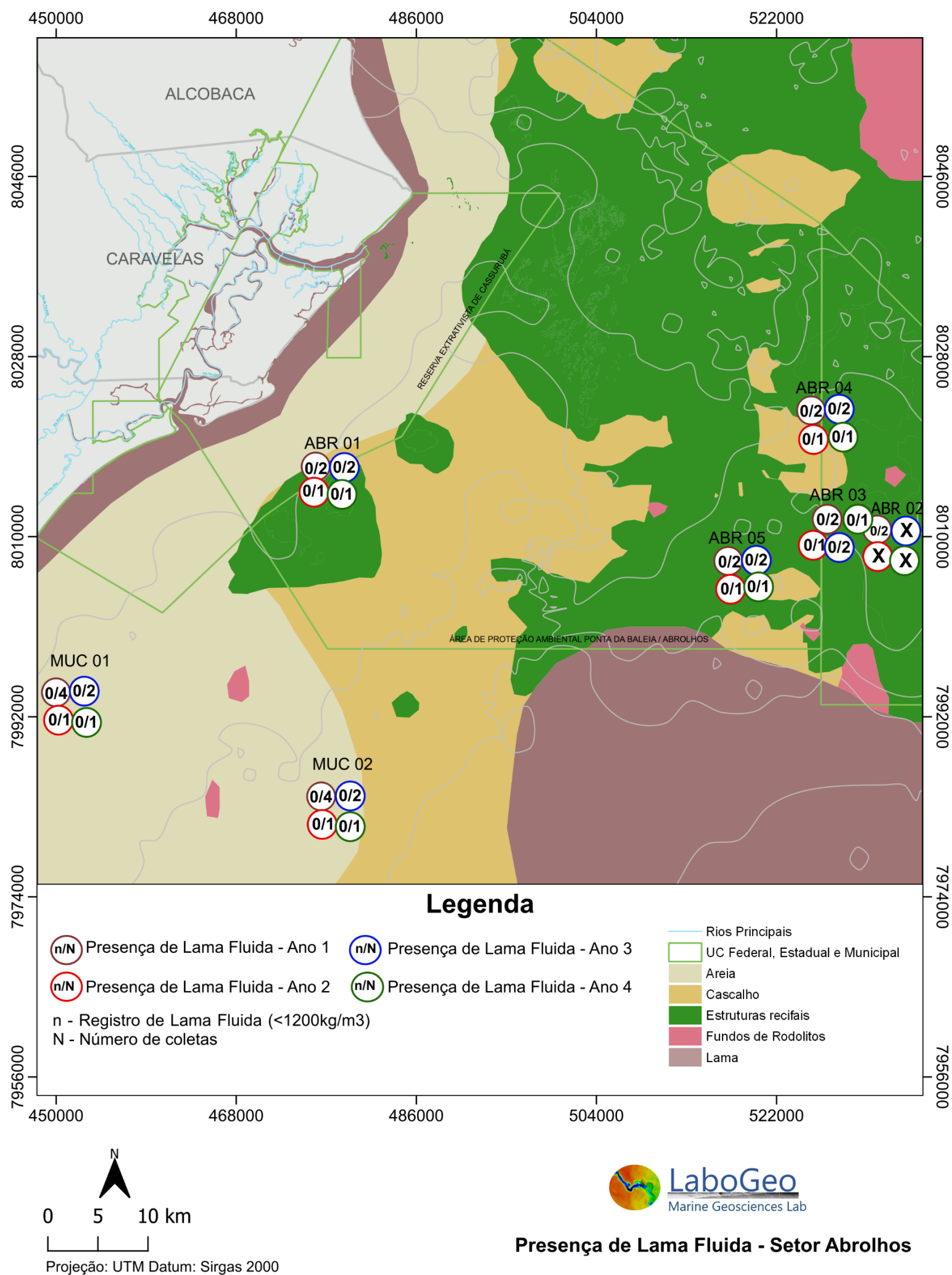
A densidade do sedimento superficial tem sido utilizada na identificação de fundos com lama fluida (Figura 20 a Figura 23), que já vinham sendo encontrados na região da Foz do Rio Doce em estudos prévios ao rompimento da Barragem de Fundão (Quaresma et al., 2015). Após o rompimento da Barragem de Fundão, em novembro de 2015, fundos de lama fluída foram observados na região da Foz do Rio Doce, apresentando valores nunca registrados (densidade úmida $\leq 1099 \text{ kg/m}^3$; Quaresma et al., 2020). Ao longo do monitoramento, fundos com lama fluída foram identificados nos setores, Foz Norte, Foz Central e Foz Sul e APA Costa das Algas, com destaque para os setores Foz Central e Foz Sul, com o maior número de observações de fundos com lama fluida. Na escala interanual, houve um aumento no número de ocorrência de fundos com lama fluida no Ano 2 quando comparados ao Ano 1, com posterior redução no Ano 3, aumento no Ano 4 e, para o período chuvoso do Ano 5, a ocorrência de fundos de lama fluida continuou aumentando, indicando um ciclo de aumento e redução desse tipo de ocorrência.

Além da identificação de fundos com lama fluida, a densidade é utilizada no cálculo do potencial de mobilidade do sedimento superficial. A partir dos resultados, foi observada uma tendência de aumento significativa ($p\text{-valor} < 0,05$) na mobilidade do sedimento de fundo nos Setores da Foz do Rio Doce (Figura 18) e Setor Norte (Figura 19), associados a uma redução nos valores de densidade do sedimento superficial do fundo e um aumento da tensão de cisalhamento de fundo.

Este indicador é marcado por uma variabilidade sazonal, com tendência de maiores valores de mobilidade sendo observados nos períodos secos. Nos Setores da foz do Rio Doce, os maiores

potenciais de mobilidade ocorreram no período seco do Ano 4. Para o período chuvoso, os potenciais de mobilidade do Ano 5 superaram aos do Ano 4. Especialmente, a Foz Norte foi a que apresentou os menores potenciais de mobilidade, enquanto os maiores potenciais de mobilidade ocorreram na Foz Sul, resultado da menor densidade do sedimento superficial observada no setor e, consequentemente, da tensão crítica de ressuspensão. Para o Setor Norte também foi observado aumento no percentual de mobilidade do sedimento de fundo nos períodos secos com maiores valores observados no período seco do Ano 3 e 4. Enquanto para o período chuvoso ocorreu uma diminuição do potencial de mobilidade no Ano 5 quando comparado ao período chuvoso do Ano 4.

Figura 20: Indicativo da presença de lama fluida para o Setor Abrolhos para os Anos 1, 2, 3 e 4 do PMBA/Fest. As campanhas assinaladas com um "X" são decorrentes da não realização de amostragem devido remoção da estação do monitoramento. Os últimos dados coletados foram no período chuvoso do ANO 4 (janeiro/2021). Não ocorreram coletas para esse setor devido uma alteração da malha amostral, na qual não abrange mais esse setor. A informação de tipos de fundo foi produzida através de dados compilados do Labogeo/UFES.



Anita Ruschi - 27/02/2023

Figura 21: Indicativo da presença de lama fluida para o Setor Norte para os Anos 1, 2, 3, 4 e 5 do PMBA/Fest. As campanhas assinaladas com um “X” são decorrentes da não realização de amostragem devido a inserção do ponto amostral apenas após o Ano 1 de monitoramento. O mosaico com detalhamento de tipos de fundo foi produzido pelo tema Sedimentação Marinha (Mapeamento de Habitat) do PMBA-Fest e os demais dados foram compilados do Labogeo/UFES.

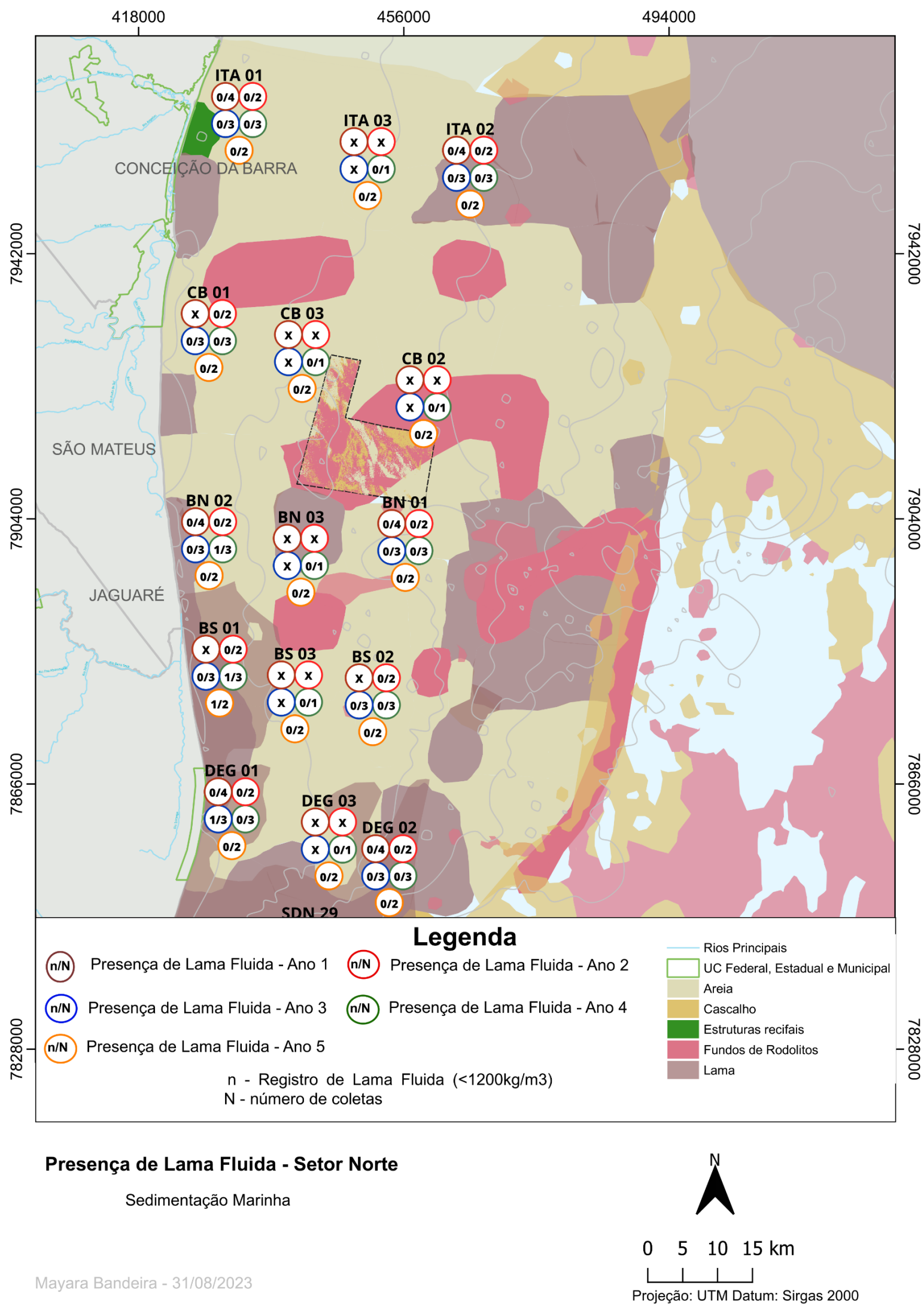


Figura 22: Indicativo da presença de lama fluida para o Setores da Foz para os Anos 1, 2, 3, 4 e 5 do PMBA/Fest. As campanhas assinaladas com um "X" são decorrentes da não realização de amostragem devido inserção após o Ano 1 de monitoramento. O mosaico com detalhamento de tipos de fundo foi produzido pelo tema Sedimentação Marinha (Mapeamento de Habitat) do PMBA-Fest e os demais dados foram compilados do Labogeo/UFES.

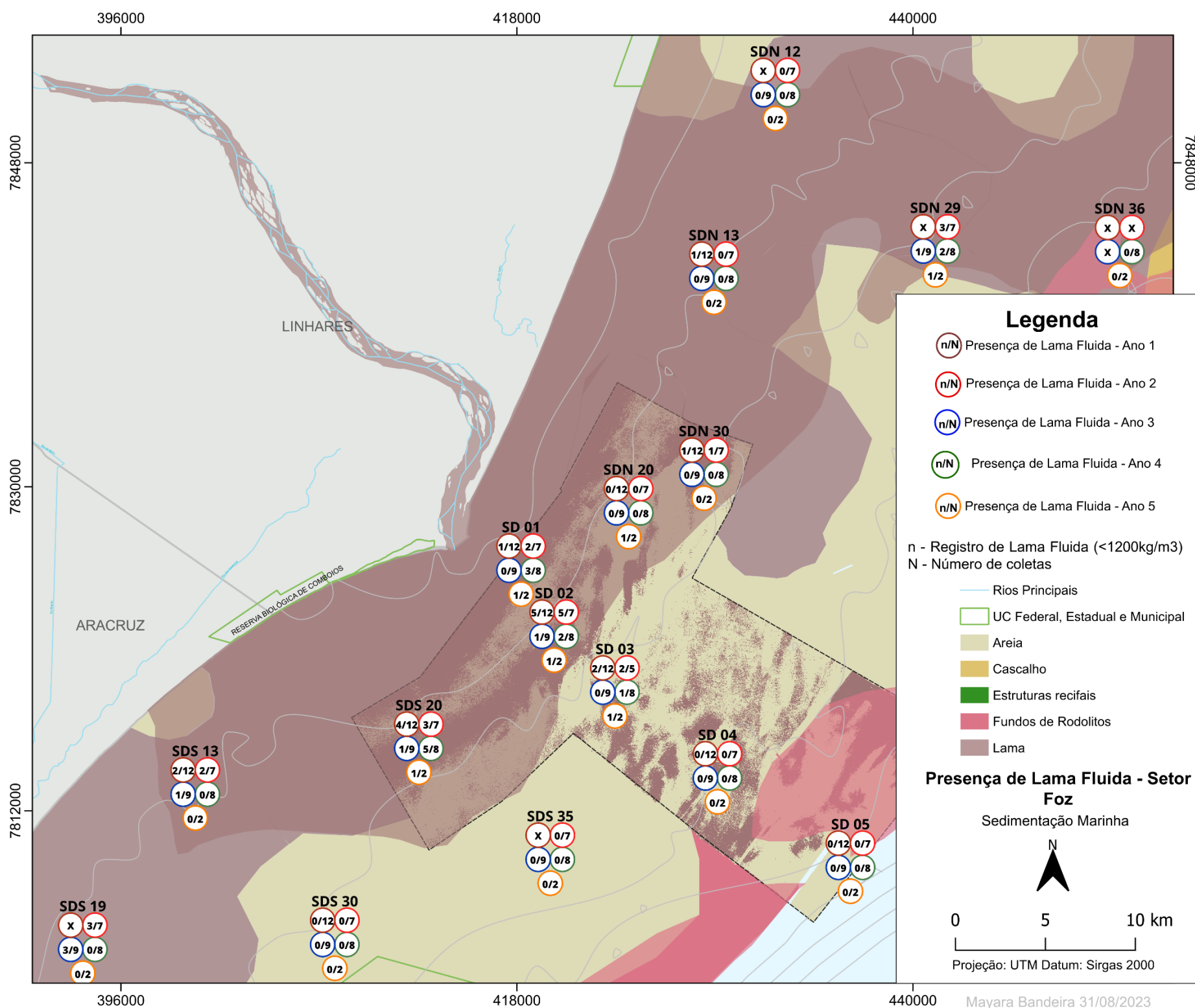
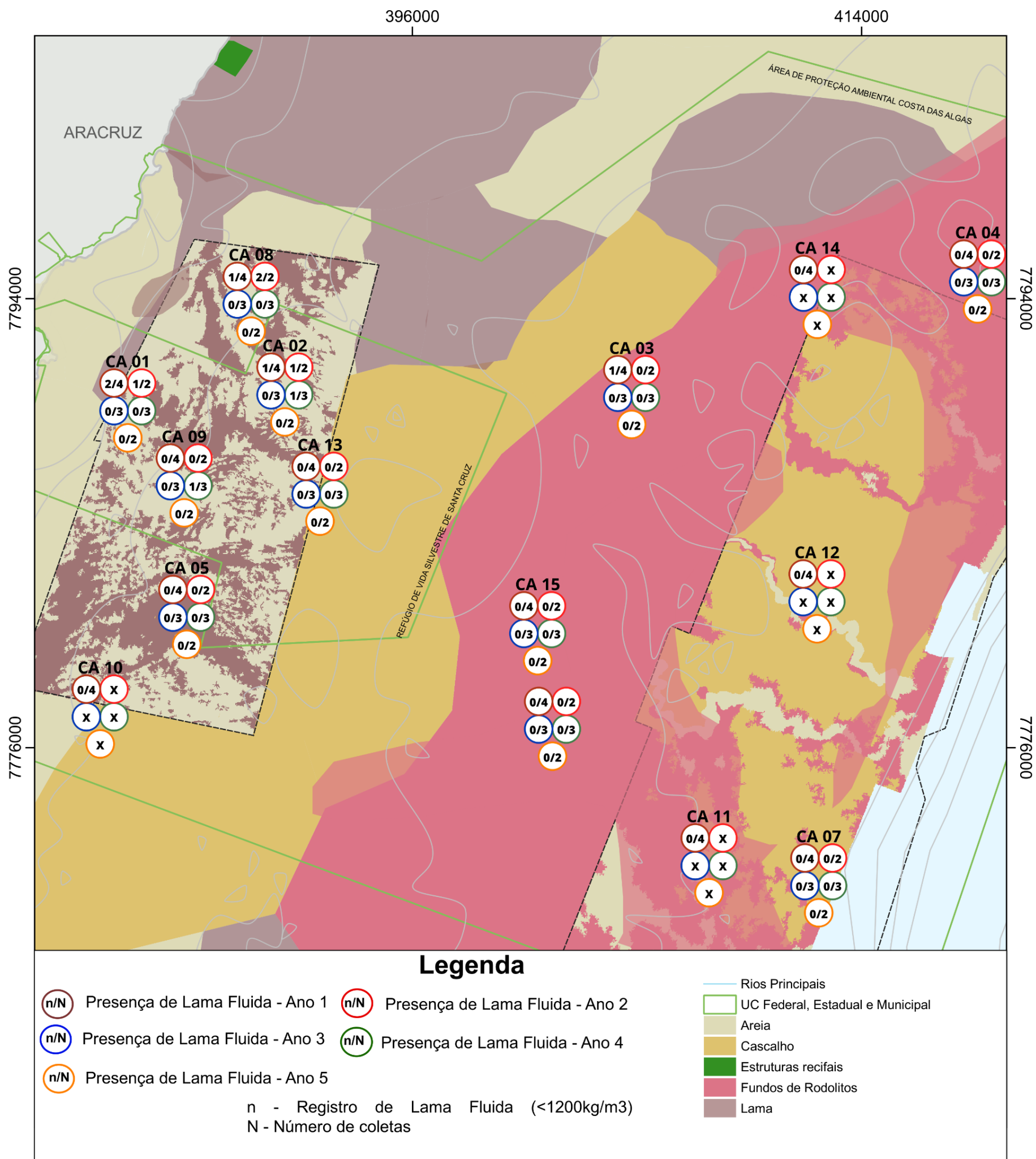
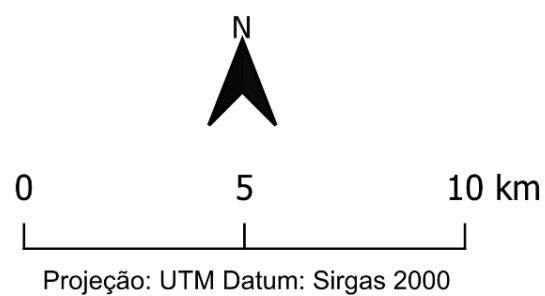


Figura 23: Indicativo da presença de lama fluida para o Setor APA Costa das Algas para os Anos 1, 2, 3, 4 e 5 do PMBA/Fest. As campanhas assinaladas com um "X" são decorrentes da não realização de amostragem devido remoção das estações do monitoramento. Os mosaicos com detalhamento de tipos de fundo foram produzidos pelo tema Sedimentação Marinha (Mapeamento de Habitat) do PMBA-Fest e os demais dados foram compilados do Labogeo/UFES.



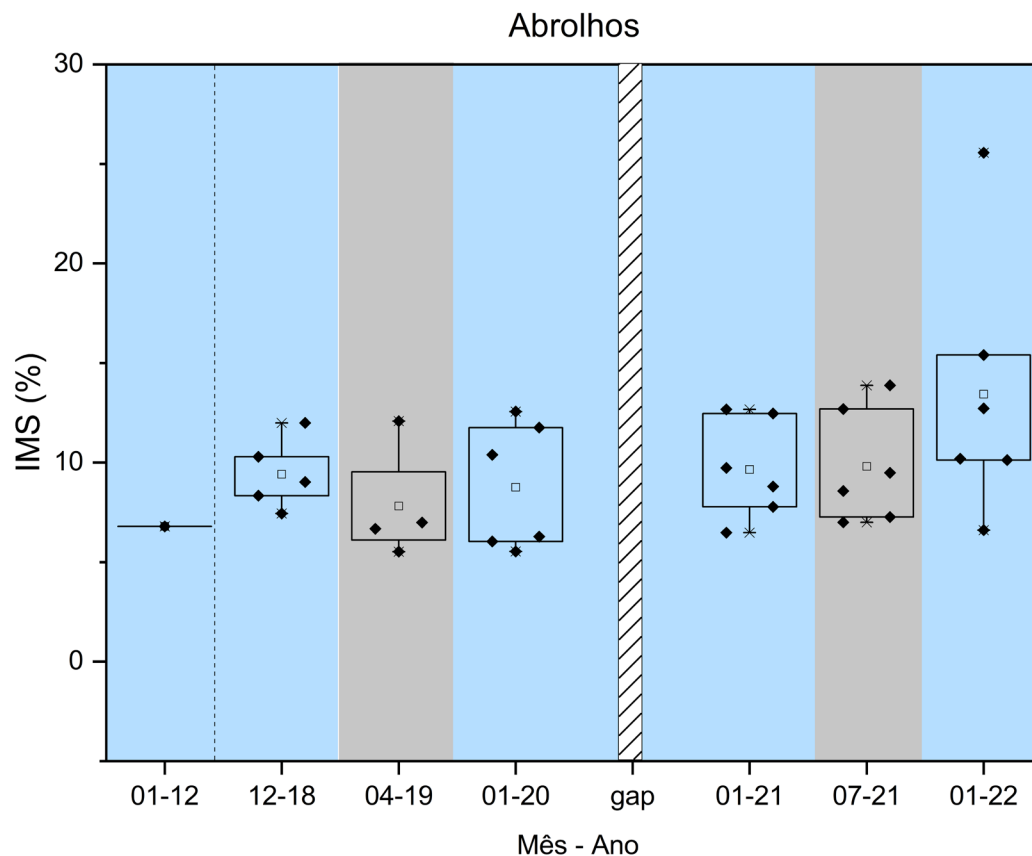
Presença de Lama Fluida - Setor APA
Sedimentação Marinha

Mayara Bandeira - 31/08/2023



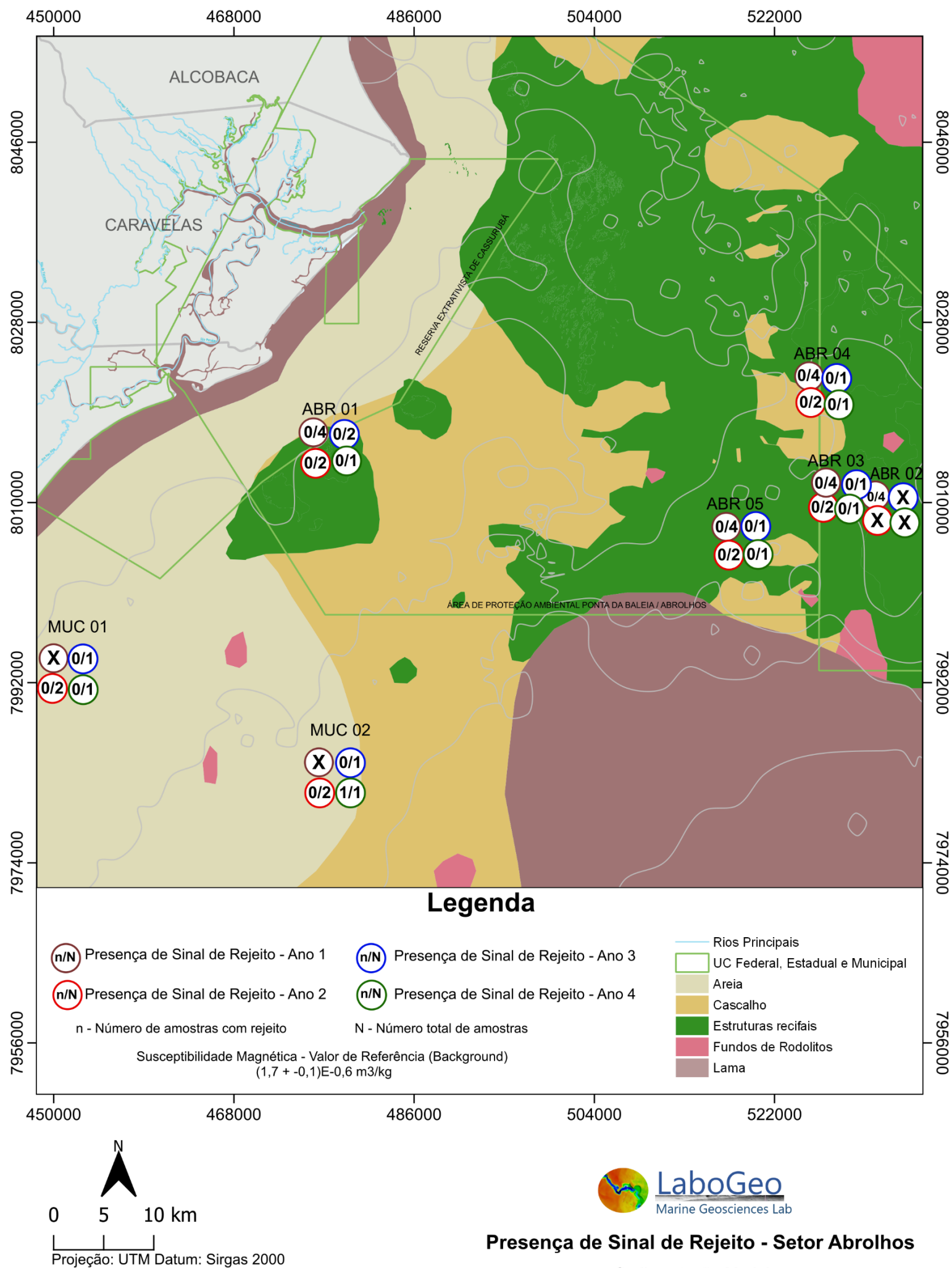
2.3 VALORES DE IMS (*IRON MINERALOGICAL SET*) E PRESENÇA DO SINAL DE REJEITO NO SEDIMENTO DE FUNDO

Figura 24: Valores de IMS (*Iron Mineralogical Set*- o marcador de rejeito no sedimento) para o Setor Abrolhos. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia. Os últimos dados coletados foram no período chuvoso do ANO 4 (janeiro/2021). A partir de janeiro de 2022 não ocorreram coletas para esse setor devido uma alteração da malha amostral, na qual não abrange mais esse setor.



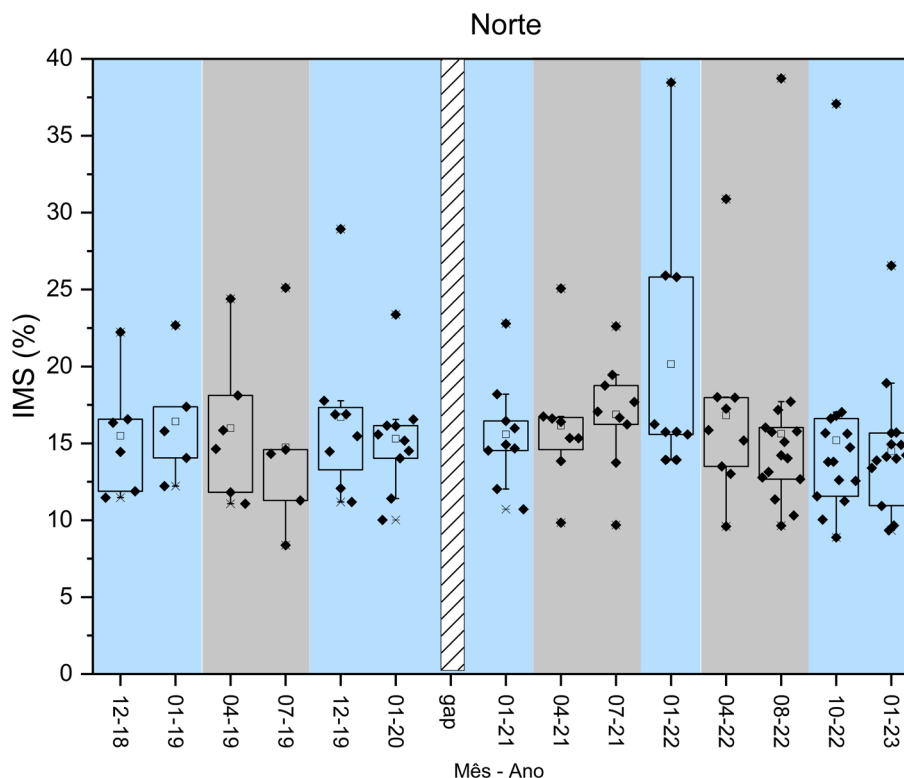
A tendência geral no Setor Abrolhos é a manutenção dos valores de IMS (Figura 24) maiores que o valor de referência nos pontos de monitoramento, principalmente nos pontos mais ao sul, com valores máximos no ponto mais próximo à costa (ABR 01). Entretanto, a presença do sinal de rejeito para esse setor é inconclusiva, uma vez que foi observado a presença do sinal do rejeito apenas no Ano 4 em uma estação amostral (MUC 02) (Figura 25).

Figura 25: Indicativo da presença de sinal rejeito para o Setor Abrolhos para os Anos 1, 2, 3 e 4 do PMBA/Fest. As campanhas assinaladas com um "X" são decorrentes da não realização de amostragem devido remoção da estação do monitoramento. Os últimos dados coletados foram no período chuvoso do ANO 4 (janeiro/2021). Não ocorreram coletas no período seco para esse setor devido uma alteração da malha amostral, na qual não abrange mais esse setor. Os tipos de fundo foram produzidos através de dados compilados do Labogeo/UFES.



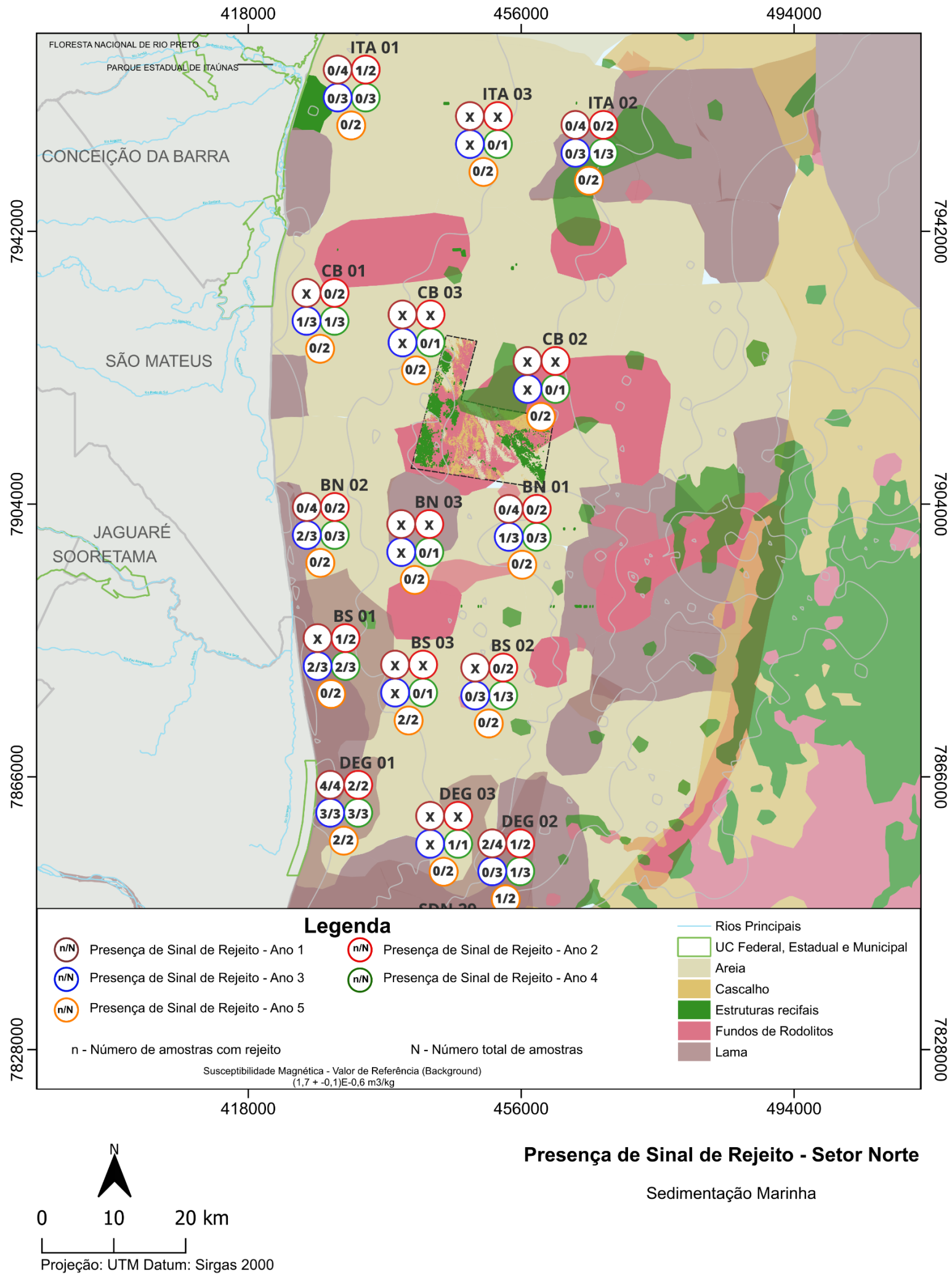
Anita Ruschi e Michele Sardinha - 24/02/2023

Figura 26: Valores de IMS (*Iron Mineralogical Set*- o marcador de rejeito no sedimento) para o Setor Norte. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia.



O Setor Norte apresenta concentrações de IMS pouco acima dos valores de referência (Figura 26). Na comparação entre período seco e chuvoso, não foram observadas variações significativas, apesar de ocorrer um aumento da concentração do IMS (%) no período chuvoso do Ano 4 em relação aos anos anteriores. Para o período chuvoso do Ano 5, os valores de IMS foram menores em relação ao mesmo período do Ano 4. Quanto a presença do sinal do rejeito (Figura 27), apesar de ser observada em todas as campanhas, ocorreram com mais frequência nas estações mais ao sul, próximas à costa como DEG 01, DEG 02 e BS 01. No período chuvoso do Ano 5 a estação BS 03 registrou pela primeira vez a presença do sinal de rejeito nas amostras coletadas. Além disso, a partir do Ano 2 foi observado uma diminuição de amostras com presença de sinal de rejeito para esse setor.

Figura 27: Indicativo da presença de sinal de rejeito para o Setor Norte para os Anos 1, 2, 3, 4 e 5 do PMBA/Fest. As campanhas assinaladas com um “X” são decorrentes da não realização de amostragem devido inserção das estações após o Ano 1 de monitoramento. O mosaico com detalhamento de tipos de fundo foi produzido pelo tema Sedimentação Marinha (Mapeamento de Habitat) do PMBA-Fest e os demais dados foram compilados do Labogeo/UFES.



Mayara Bandeira - 23/08/2023

Figura 28: Valores de IMS (*Iron Mineralogical Set*- o marcador de rejeito no sedimento) para o Setor Foz Norte. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia.

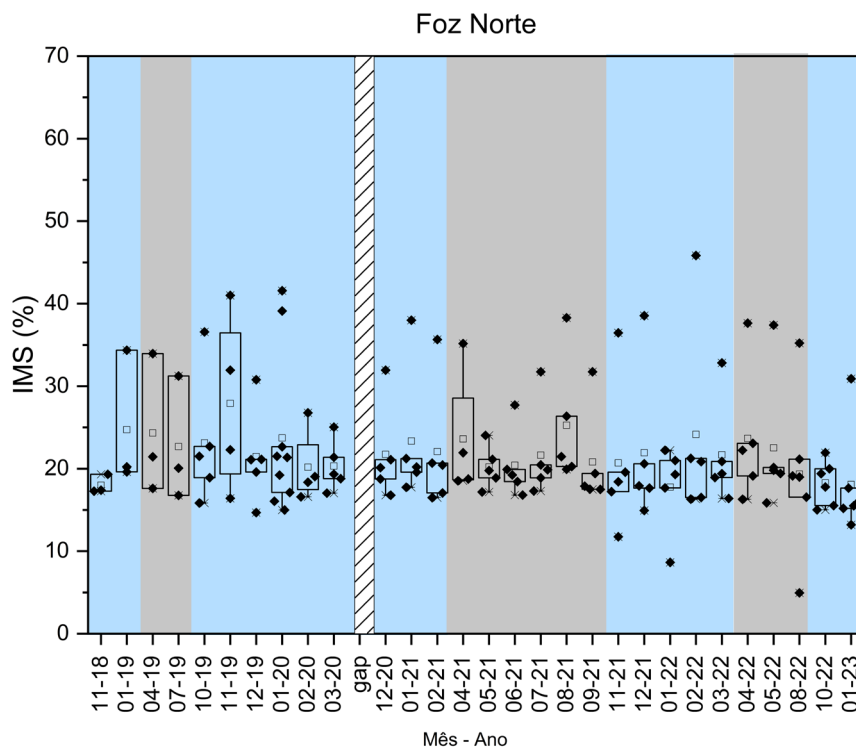


Figura 29: Valores de IMS (*Iron Mineralogical Set*- o marcador de rejeito no sedimento) para o Setor Foz Central. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em vermelho indica o rompimento da barragem de Fundão. Linha tracejada em preto indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia.

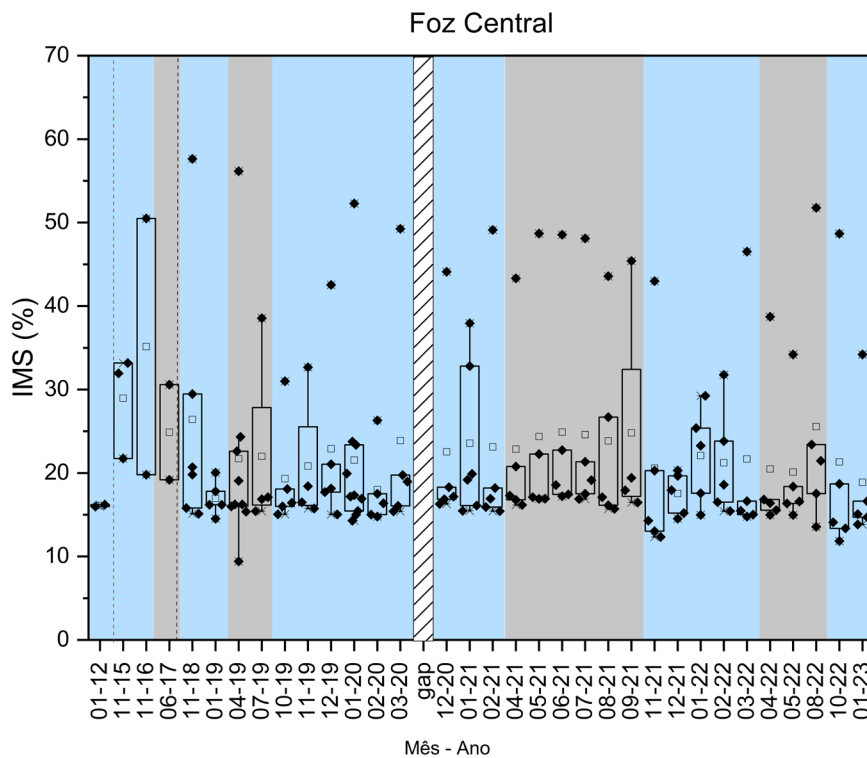
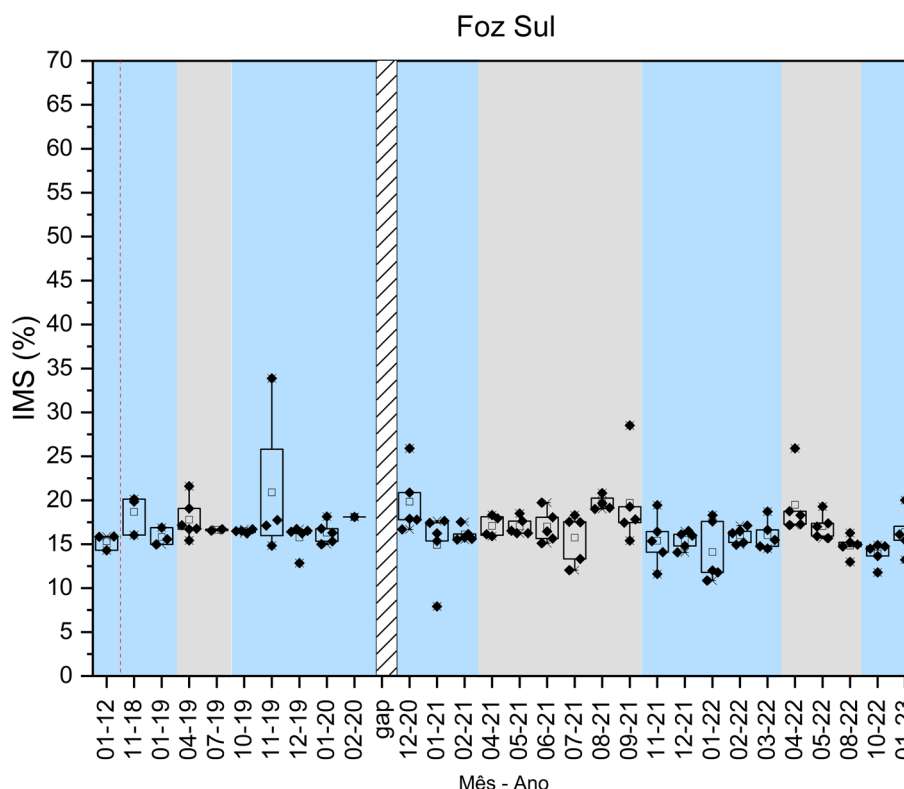


Figura 30: Valores de IMS (*Iron Mineralogical Set*- o marcador de rejeito no sedimento) para o Setor Foz Sul. Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Linha tracejada em vermelho indica o início do PMBA/Fest. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia.



A evolução espaço-temporal do sinal de rejeito para o Setor Foz do Rio Doce continua respondendo ao padrão de transporte de sedimento na região marinha adjacente à foz do Rio Doce, com os maiores volumes sendo observados na porção rasa dos setores. Além disso, o material apresenta direção preferencial de transporte para norte/nordeste, sendo transportado preferencialmente em profundidades inferiores a 20 m, a partir da Foz do Rio Doce, seguindo o padrão de transporte sedimentar na região.

Dentro dos setores da Foz do Rio Doce (Figura 28 a Figura 30), os maiores valores de IMS (%) foram observados no setor Foz Central (Figura 29). Observa-se que na Foz do Rio Doce o IMS (%) não apresentaram redução de seus valores, quando comparado aos valores de referência. Baseado nisso, acredita-se que o material que chega à foz apresenta um regime de fluxo contínuo. Esse patamar dinâmico também é possível de ser identificado nas estações do Setor Foz Norte (Figura 28).

Em relação a presença do sinal de rejeito (Figura 31), todas as estações da foz do Rio Doce apresentaram sinal de rejeito, com maior frequência nos pontos rasos (até 20m). Destaque para a estação SD 05, que apresentou pela primeira vez o indicativo da presença do sinal do rejeito no Ano 3 (julho de 2021).

Figura 31: Indicativo da presença de sinal de rejeito para os Setores da Foz para os Anos 1, 2, 3, 4 e 5 do PMBA/Fest. As campanhas assinaladas com um “X” são decorrentes da não realização de amostragem devido inserção das estações após o Ano 1 de monitoramento. O mosaico com detalhamento de tipos de fundo foi produzido pelo tema Sedimentação Marinha (Mapeamento de Habitat) do PMBA-Fest e os demais dados foram compilados do Labogeo/UFES.

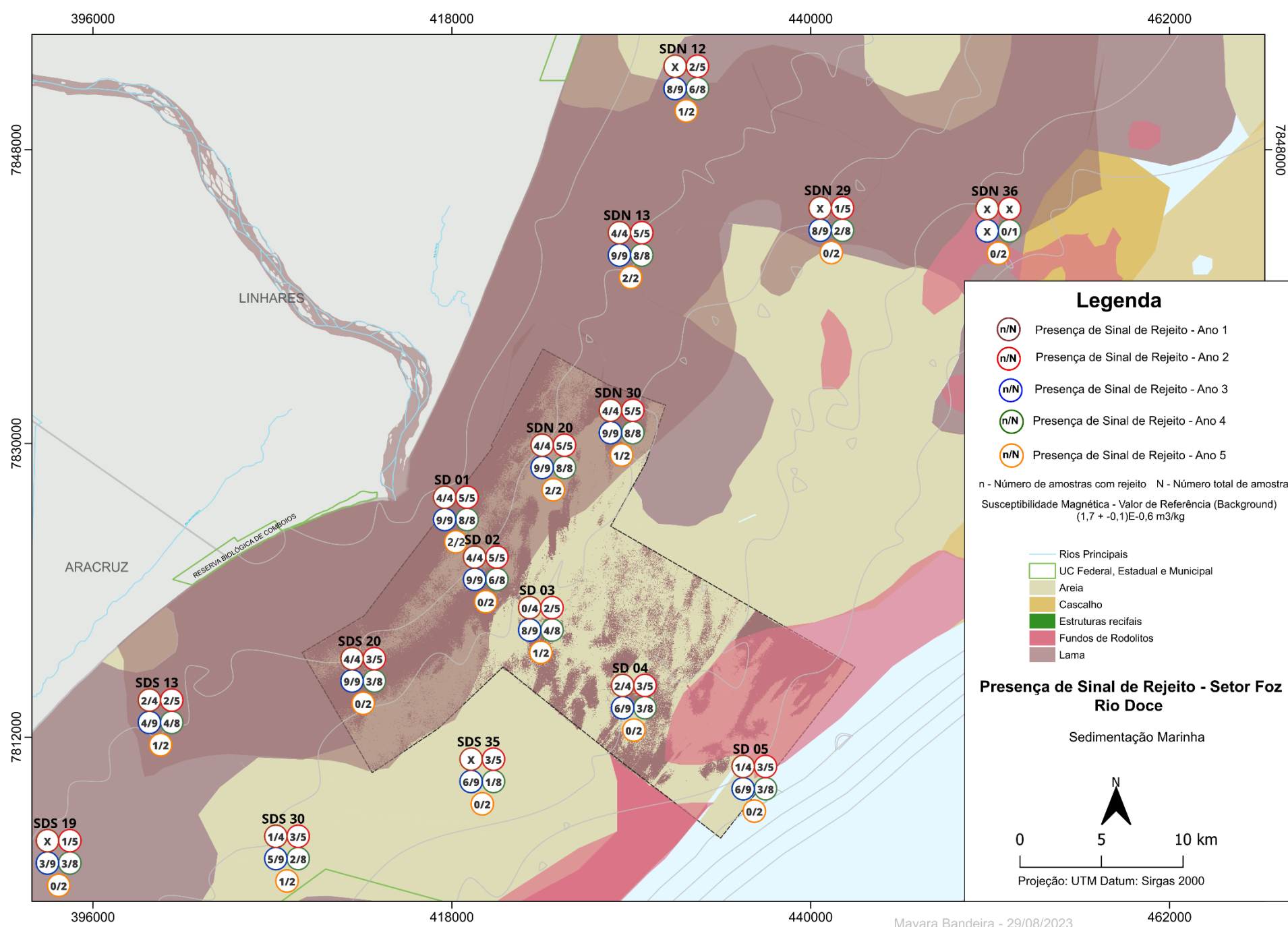
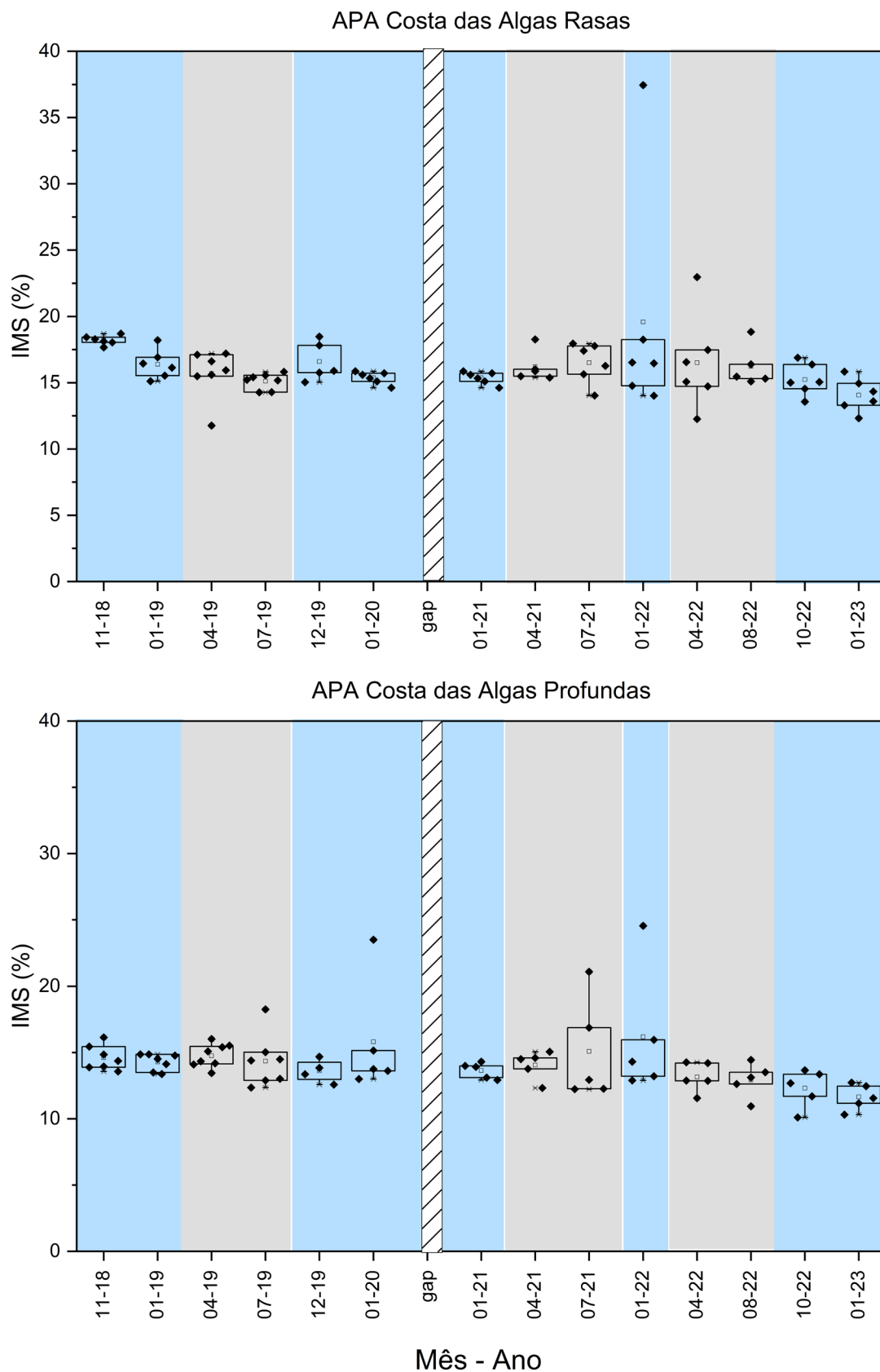
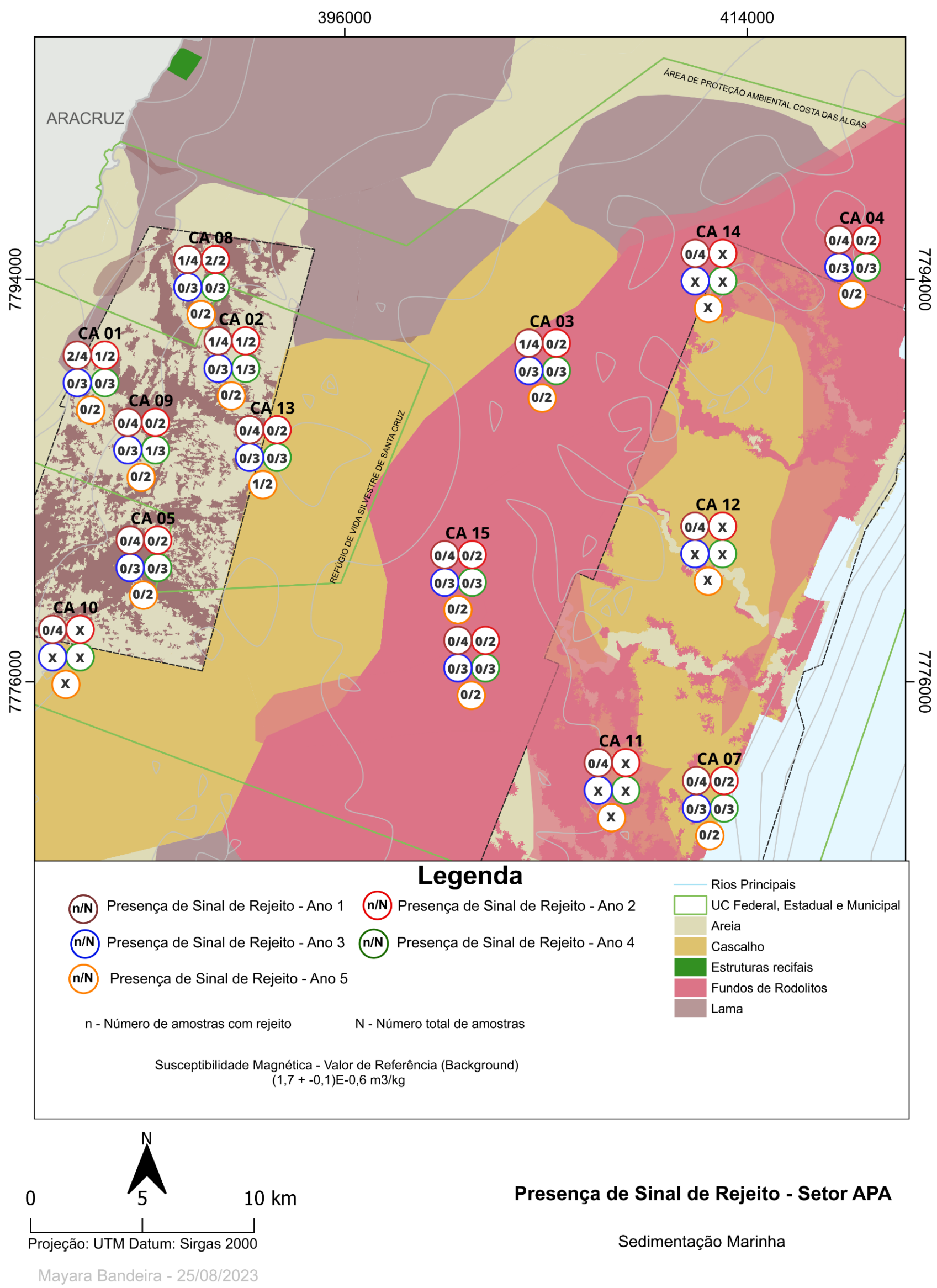


Figura 32: Valores de IMS (*Iron Mineralogical Set*- o marcador de rejeito no sedimento) para o Setor APA Costa das Algas Rasas (Topo) e Profundas (Base). Áreas em azul indicam período chuvoso. Áreas em cinza indicam período seco. Retângulo hachurado indica gap de dados devido à pandemia.



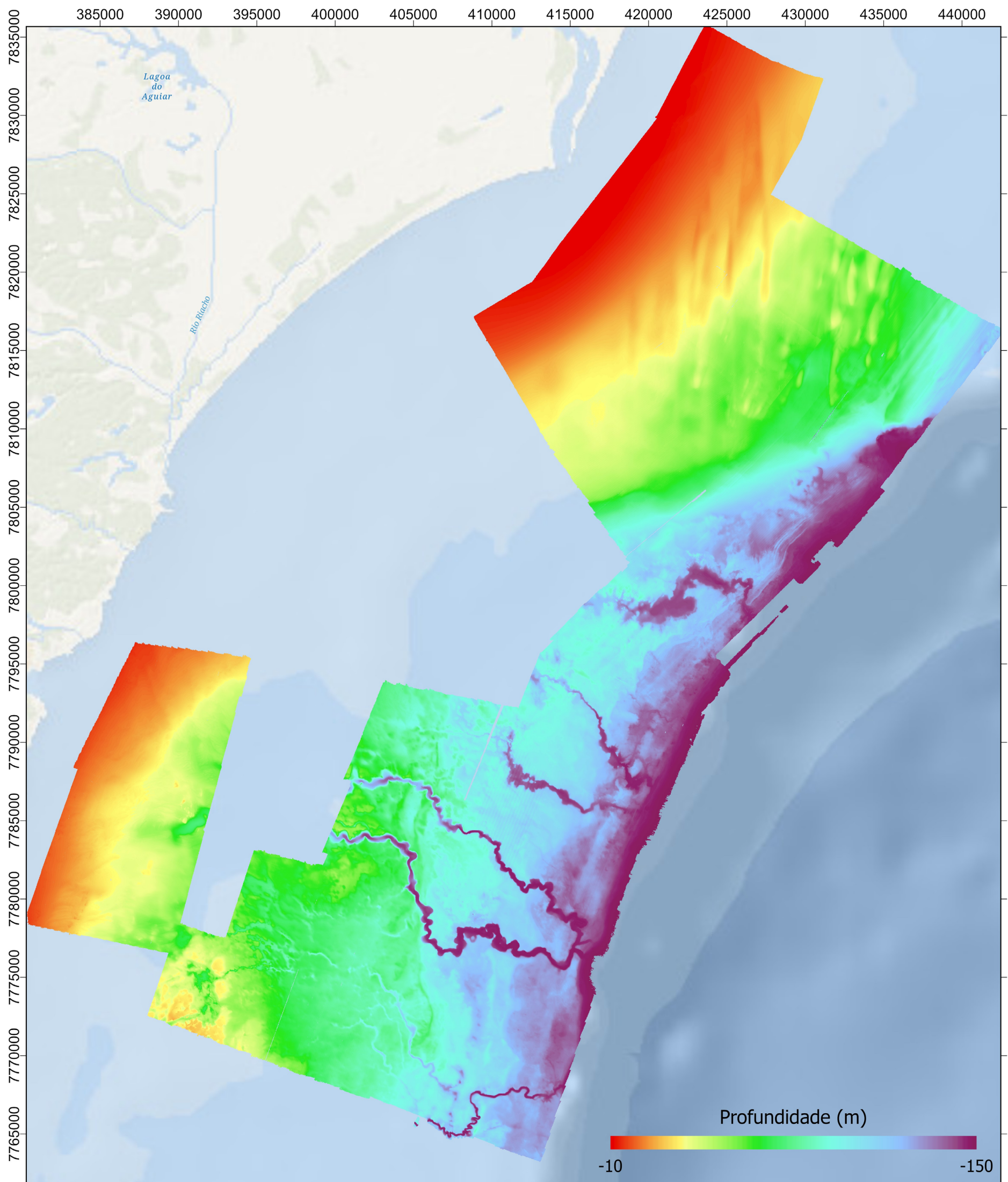
Os valores de IMS para o Setor APA Costa das Algas (Figura 32), ficaram em sua grande maioria, próximos ao valor de referência. Além disso, esses valores permaneceram no mesmo patamar ao longo do período do monitoramento. Os maiores valores de IMS (%) observados, foram para o período chuvoso do Ano 04. Em relação a presença do sinal de rejeito (Figura 33), a maior ocorrência nesse setor ao longo dos 5 anos de monitoramento foi para as estações APA rasa até 36m (CA 01, CA 02, CA05, CA08, CA09, CA10 e CA13).

Figura 33: Indicativo da presença de sinal de rejeito para o Setor APA Costa das Algas para os Anos 1, 2, 3, 4 e 5 do PMBA/Fest. As campanhas assinaladas com um “X” são decorrentes da não realização de amostragem devido remoção da estação do monitoramento. Os mosaicos com detalhamento de tipos de fundo foram produzidos pelo tema Sedimentação Marinha (Mapeamento de Habitat) do PMBA-Fest e os demais dados foram compilados do Labogeo/UFES.



2.4 EXTENSÃO E INTEGRIDADE DE HABITAT MARINHO

Figura 34: Mapa em alta resolução da batimetria (PMBA/Fest) das regiões mapeadas ao longo dos 4,5 anos de monitoramento, na APA Costa das Algas, foz do Rio Doce.



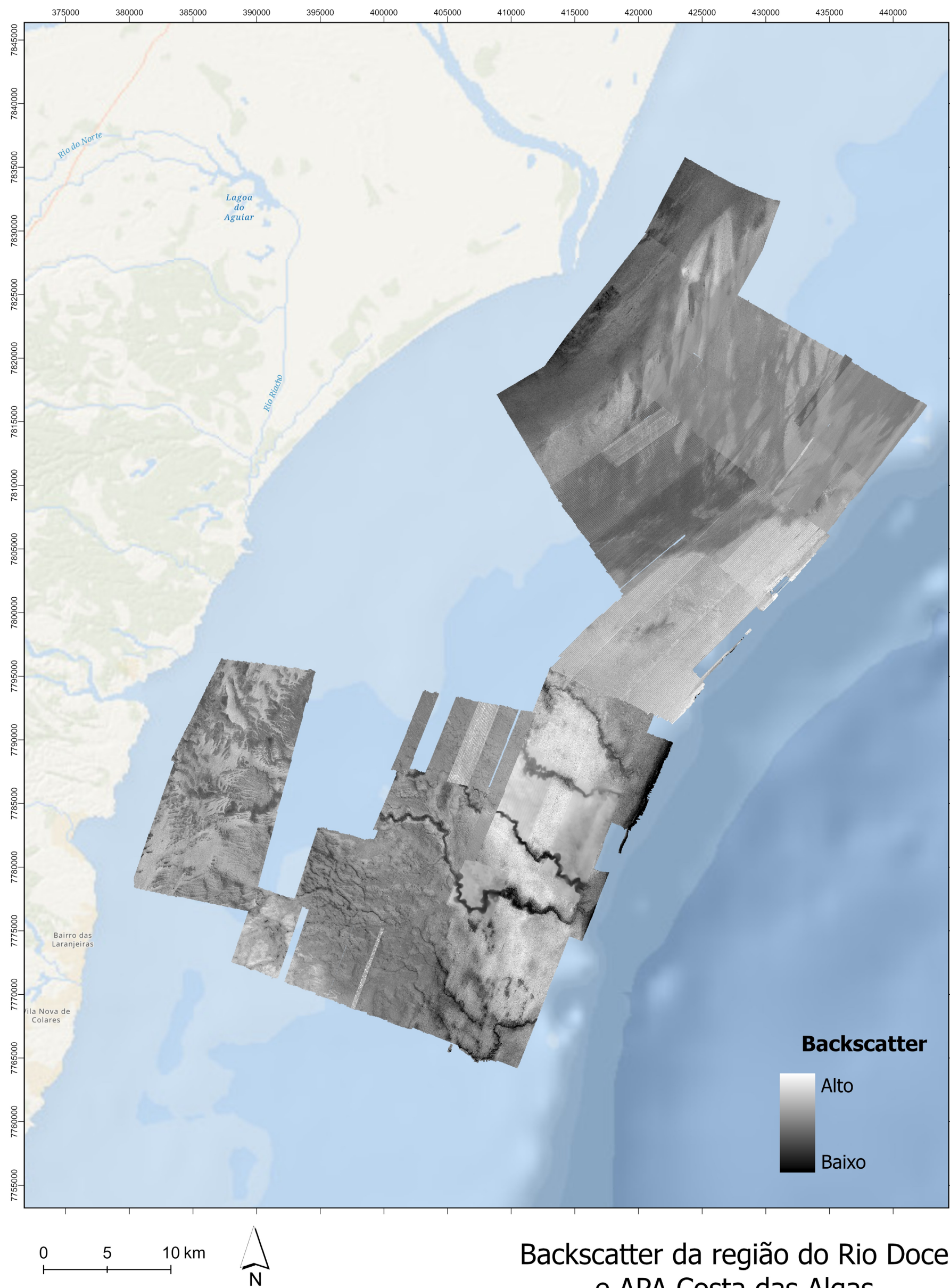
0 3.5 7 km
N
Projeção: UTM Datum: SIRGAS 2000



Batimetria da região do Rio Doce
e APA - Costa das Algas

Sedimentação Marinha

Figura 35: Mapa em alta resolução do backscatter (PMBA/Fest) das regiões mapeadas ao longo dos 4,5 anos de monitoramento, na APA Costa das Algas, foz do Rio Doce.



Projeção: UTM Datum: SIRGAS 2000

O mapeamento da região da APA Costa das Algas e Foz do Rio Doce (Figura 34, Figura 35) vem revelando em detalhe uma plataforma heterogênea tanto em termos morfológicos quanto de tipo de substrato. Essa heterogeneidade já era previamente conhecida e descrita em uma escala mais regional (Bastos et al., 2015 e Vieira et al., 2019), e esses dados permitiram uma análise utilizando múltiplas escalas (Menandro et al., 2022). Desta forma, o mapeamento acústico detalhado destas regiões evidenciou uma maior complexibilidade morfológica, com a presença de um sistema de vales incisos, bancos de areia, escarpas e sulcos erosivos.

O detalhamento em alta resolução da plataforma na porção mais profunda revelou uma complexidade de vales incisos, evidenciando um sistema de paleodrenagem estendendo-se desde a região ao sul da foz do rio Doce até o setor da APA Costa das Algas ao longo de toda a plataforma, tanto na parte rasa até a quebra. Essa morfologia marcada pela presença de vales incisos corrobora o que foi proposto em Bastos et al (2015), que classifica essa região por uma plataforma faminta, ou seja, com baixo aporte de sedimento. A presença destes vales incisos está associada a períodos em que a plataforma esteve exposta frente às variações do nível do mar, onde a queda do nível de base proporcionou o estabelecimento de uma rede de drenagem. Em uma posterior subida e inundação da plataforma, essa morfologia foi preservada (Kowsmann e Costa, 1979; Weschenfelder et al., 2010) e em alguns locais os vales são parcialmente preenchidos. O padrão mais escuro do backscatter é bem marcado em algumas regiões, principalmente no fundo dos vales (indicativo para um sedimento mais fino). Estes vales podem servir como vias preferenciais para o transporte dos sedimentos mais fino das regiões mais rasas para as regiões mais profundas, podendo carregar inclusive o rejeito que eventualmente tenha sido depositado nas regiões mais rasas.

A geomorfologia mapeada até o momento também evidencia a extensão da influência da sedimentação do lobo deltaico do Rio Doce na plataforma mostrando uma mudança brusca de uma morfologia mais suave para uma morfologia rugosa com a presença de vales incisos. Esse contraste morfológico reflete a influência deltaica do Rio Doce na região, sendo essa plataforma classificada como de acomodação (Bastos et al, 2015). Essa diferenciação é bem evidenciada no Backscatter (BS), mostrando uma mudança no padrão de sedimentação nesta região, ou seja, de um padrão mais escuro (baixo BS) para um padrão mais claro (alto BS) (Figura 35).

Além disso, chama a atenção a distribuição de formas de fundo, sobretudo na região mais rasa da APA Costa das Algas e na plataforma intermediária em frente a foz do rio Doce, que marcam regiões de intenso transporte de sedimento e indicam processos ativos de modificação do fundo marinho. Ao longo dos últimos relatórios também vêm sendo relatada a marcante presença de rodólitos, que é um resultado que deve ser destacado visto que é um habitat sensível e de grande importância para a bio e geodiversidade local. Vale ainda ressaltar que a análise de todo esse conjunto de dados continuará sendo validada através de imagens coletadas em estações a partir desses resultados da batimetria e do mosaico de backscatter, para então gerar um modelo de classificação de habitats para toda essa região, contribuindo para integração das discussões dos diferentes subprojetos.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMOS C.L., SUTHERLAND T.F. A rapid technique for the determination of dry sediment mass from saturated marine sands. *Journal of Sedimentary Research*, 64(3):668-670. 1994.

BASTOS, A. C. et al. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic–carbonate shelf on the eastern Brazilian margin. *Journal of South American Earth Sciences*, 63, 125–136, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.07.003>

BLOTT, S.J.; PYE, K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248, 2001.

CLIMATE FORECAST SYSTEM REANALYSIS, chamados de Dados de Reanálises, disponível em: <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/climate-forecast-system-reanalysis-cfsr>>. Acesso em: 11 de setembro de 2023.

CONNOR D. et al. Revising the marine section of the EUNIS Habitat classification. Report of a workshop held at the European Topic Centre on Biological Diversity, 12 & 13 May 2016 revised 2017

DIAS, J.A. A análise Sedimentar e os Conhecimentos dos Sistemas Marinhos, Universidade do Algarve Faro, Portugal, 84 p., 2004.

KOMADA, T.; ANDERSON, M. R.; DORFMEIER C. L. Carbonate removal from coastal sediments for the determination of organic carbon and its isotopic signatures, $\delta^{13}\text{C}$ and $\Delta^{14}\text{C}$: comparison of fumigation and direct acidification by hydrochloric acid. *Limnology and Oceanography Methods*, 6, 254–262, 2008.

KOWSMANN, R.O., COSTA, M.P.A. Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes: relatório final. Rio de Janeiro: Petrobras. Cenpes. Dintep.Série ProjetoRemac8.1979

MCANALLY W. H. et al. Management of Fluid Mud in Estuaries, Bays, and Lakes. I: Present State of Understanding on Character and Behavior. *Journal of Hydraulic Engineering*. 133, 9-22, 2007.

MENANDRO, P.S, LAVAGNINO, A.C, VIEIRA, F.V, BONI, G.C, FRANCO, T and BASTOS, A.C, (2022) The role of benthic habitat mapping for science and managers: A multi-design approach in the Southeast Brazilian Shelf after a major man-induced disaster. *Front. Mar. Sci.* 9:1004083. doi: 10.3389/fmars.2022.1004083

MITCHELL, S. B.; UNCLES, R. J.; STEPHENS, J. A. Suspended Particulate Matter: Sampling and Analysis. In: Uncles, R. J.; Mitchell, S. B. *Estuarine and Coastal Hydrography and Sediment Transport*. Cambridge: Cambridge University Press. cap. 7, p. 179-210, 2017.

MITCHENER, H.; TORFS, H. Erosion of mud/sand mixtures. *Coastal Engineering* 29, 25, 1996.

MOOK, D. H.; HOSKIN, C. M. Organic determinations by ignition: caution advised. *Estuarine and Coastal, Shelf Science*. 15: 697–699, 1982.

OLIVEIRA, K.S.S. et al. Wave-driven sediment mobility on the Eastern Brazilian shelf under different weather systems. *Geo-Mar Lett* 41, 28, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00367-021-00699-3>

OLIVEIRA, K.S.S.; QUARESMA, V.S. Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River. *J. South Am. Earth Sci.* 78, 101–115, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.06.009>

ORLANDO, M. T. et al. Tracing iron ore tailings in the marine environment: An investigation of the Fundão dam failure. *Chemosphere*, v. 257, p. 127184–127184, out. 2020.

QUARESMA, V.S. et al. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. *Brazilian Journal of Geology*, 45(4), 635–644, 2015. <https://doi.org/10.1590/2317-488920150030274>

QUARESMA, V.S. et al. The effects of a tailing dam failure on the sedimentation of the eastern Brazilian inner shelf. *Continental Shelf Research*, 205, 104172, 2020.

ROLLINSON, H. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Group U. K. (Edit.), England, 350 p., 1993.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. RT-39D - Evolução Espaço Temporal na Qualidade Ambiental e na Biodiversidade no Ambiente Marinho, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 1409 pag. 2021.

SOULSBY, R. Dynamics of Marine Sands A Manual for Practical Applications. Thomas Telford, London, 1997.

VIEIRA, F.V. et al. Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. *Continental Shelf Research*, 187, 103964. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.103964>

WINTERWERP, J. C.; VAN KESTEREN, W. G. M. Introduction to the physics of cohesive sediment dynamics in the marine environment, 1 Ed. Elsevier, Amsterdam. 466p., 2004.

WESCHENFELDER, J., CORRÊA, I. C. S., ALIOTTA, S., & BAITELLI, R. Paleochannels related to late Quaternary sea-level changes in Southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(SPE2), 2010. p.35-44