

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

Material Suplementar Ambiente Costeiro – Tema Manguezal

RT- 43/ JUN 23

RA2022 PMBA/Fest

Vitória,

Junho de 2023

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	3
2	METODOLOGIA	3
2.1	COLETA	3
2.1.1	Estrutura e Funcionamento da flora do Rio Doce e dos Manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia	3
2.1.2	Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos	5
2.1.3	Variabilidade espacial e temporal dos metais pesados em sedimentos da região da foz do Rio Doce e dos manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia	6
2.2	ANÁLISE.....	7
2.2.1	Estrutura e Funcionamento da flora do Rio Doce e dos Manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia	7
2.2.2	Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos	10
2.2.3	Variabilidade espacial e temporal dos metais pesados em sedimentos da região da foz do Rio Doce e dos manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia	13
2.3	HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS.....	15
3	RESULTADOS DOS INDICADORES	15
3.1	FLORA.....	16
3.2	BIORREMEDIAÇÃO.....	49
3.3	DECAPODA	114
3.4	SEDIMENTOS.....	131
4	ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS	139
5	REFERÊNCIAS	139

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 continuação do monitoramento, apresentada no primeiro semestre de 2022 visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) **MS - Malha e frequência amostrais**, 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 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.

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 31 de agosto de 2022. 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

2.1.1 Estrutura e Funcionamento da flora do Rio Doce e dos Manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia

A estrutura da vegetação foi coletada seguindo a metodologia proposta por Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986). Em campo, todos os indivíduos que compõem a parcela foram lacrados e identificados em termos de espécie. Dados sobre a altura (m) individual, diâmetro (cm) dos troncos à altura do peito (DAP) e números de troncos por indivíduo foram obtidos em campo. A partir da análise destes parâmetros é possível determinar o desenvolvimento estrutural calculando os seguintes parâmetros por estação: densidade de troncos, altura média do dossel, altura do dossel com base nos três indivíduos mais altos, DAP médio da floresta, área basal individual e total, dominância de espécies, relação tronco/indivíduo.

A coleta de folhas ocorre para as seguintes análises: metais, atividade antirradicalar e pigmentos. Sendo coletadas amostras de quatro espécies vegetais: *Avicennia schaueriana* (Av); *Laguncularia*

racemosa (Lg); *Rhizophora mangle* (Rh) *Talipariti pernambucense* (Tp), de acordo com sua ocorrência e distribuição nos manguezais de nove ambientes: Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Costa das Algas (CA), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR), nos estados do Espírito Santo e sul da Bahia. O monitoramento é realizado em bosques do tipo franja e bacia nas margens esquerda e direita dos estuários. O período de monitoramento ocorre desde janeiro de 2019 com coletas analisadas até setembro de 2022.

A amostragem de folhas para análise de metais e da atividade antirradicalar seguiu o seguinte protocolo: coleta realizada manualmente; obtenção de 20 folhas maduras completamente expandidas de cada indivíduo amostrando cerca de cinco plantas por área amostral (parcela) para obtenção de amostras compostas contendo aproximadamente 40 g. Para a análise de pigmentos, cinco folhas foram coletadas por indivíduo, sob as mesmas características morfológicas. Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel identificados de acordo com cada estação amostral. As amostras de metais e atividade antirradicalar foram secas em estufa de circulação forçada a 65° C até peso constante. Em seguida, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley (Marca Tecnal; modelo TE650/1) com peneiras de malha 20 e enviadas em amostras separadas para a análise química de macro e micronutrientes e para atividade antirradicalar. As amostras de pigmentos foram armazenadas em gelo até a chegada ao Laboratório de Ecologia de Manguezal. Todo o material foi imediatamente armazenado em freezer à -30° C até o momento da extração.

Para as medições da produtividade primária (fluorescência da clorofila *a* e assimilação de CO₂), definiu-se o protocolo de amostragem sendo a aquisição dos dados em seis folhas (réplicas) consideradas jovens e completamente expandidas, sem indícios de senescência. Para atender a este padrão, foram amostradas as folhas do segundo par a partir do ápice para a base do ramo. A amostragem ocorreu em cinco indivíduos jovens (amostras) de *Rhizophora mangle* com até dois metros de altura. Quando essa espécie estava ausente na parcela, foi selecionada aquela dominante (*Laguncularia racemosa* ou *Avicennia schaueriana* ou *Talipariti pernambucense*), seguindo o mesmo padrão de amostragem (Quadro 1). A aquisição dos dados de produtividade primária foi realizada sempre pela manhã, no mesmo intervalo de tempo (entre 7 e 12 horas) em todas as parcelas.

Quadro 1: Espécies amostradas nas análises fotossintéticas por área/estação ao longo do PMBA.

Área	Estações	Espécie
Piraquê-Açu	Todas	<i>R. mangle</i>
Piraquê-Mirim	Todas	<i>R. mangle</i>
Costa das Algas	CA1	<i>A. schaueriana</i>
Costa das Algas	CA2	<i>R. mangle</i>
Barra do Riacho	Todas	<i>R. mangle</i>
Rio Doce	Todas	<i>T. pernambucense</i>
Urussuquara	UR1FE	<i>R. mangle</i>
Urussuquara	UR2FD, UR3FE e UR3BE	<i>L. racemosa</i>
Barra Nova	BN1FE, BN1BE, BN2FD, BN2BD, BN3BD	<i>R. mangle</i>
Barra Nova	BN3FD	<i>L. racemosa</i>
São Mateus	SM1FD, SM1BD, SM2FD, SM1FE, SM1BE, SM2FE, SM2BE, SM3FE, SM3BE	<i>R. mangle</i>
São Mateus	SM3FE, SM3BE	<i>L. racemosa</i>
Caravelas	CR1FD, CR1BD, CR2FD, CR3BD, CR1FE, CR1BE, CR2FE, CR2BE, CR3FE	<i>R. mangle</i>
Caravelas	CR2BD, CR3BE	<i>L. racemosa</i>
Caravelas	CR3FD	<i>A. schaueriana</i>

2.1.2 Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos

Em cada área de estudo, parcelas fixas, denominadas estações de coleta, com aproximadamente 75 m² foram delimitadas ao longo do gradiente estuarino: estuário inferior (Setor 1), médio (Setor 2) e superior (Setor 3) para avaliação da densidade e estrutura populacional de *Ucides cordatus* e *Cardisoma guanhumi*. Em cada setor, as estações foram demarcadas próximo às margens direita e esquerda dos canais mais representativos do estuário e lacres plásticos numerados inseridos nos seus extremos. As mesmas foram georreferenciadas utilizando o GPS Trimble Juno AS, fotografadas e monitoradas de acordo com a etapa metodológica descrita abaixo.

Em cada estação de coleta, pelo menos 3 quadrados de 5 x 5 metros foram demarcados e as seguintes atividades realizadas: contagem das galerias diferenciando-as em abertas, fechadas (indicativo de ecdise) e vazias, identificadas pela ausência de atividades biogênicas (marcas de rastros, dejetos ou movimentação de substrato), para estimativa da densidade de indivíduos (indivíduos/m²); e medição (mm) do diâmetro (menor e maior) da abertura de cada galeria, uma vez que estas são elípticas, para auxiliar na avaliação da estrutura populacional. As medições dos diâmetros das galerias foram realizadas com o auxílio de paquímetro de aço (marca Digimess), com precisão de aproximadamente 0,03 mm, adaptado pela soldagem de prolongamentos em forma de espátula de 10,5 cm de comprimento, 2 cm de largura e 3 a 4 mm de espessura, com base no método descrito por Schmidt et al. (2008). A contagem das galerias permitiu a estimativa da densidade populacional uma vez que cada galeria, aberta ou fechada, é habitada por um indivíduo (SCHMIDT, 2006).

Armadilhas do tipo ratoeiras foram posicionadas aleatoriamente na entrada das galerias para a captura de *C. guanhumi*. Cada exemplar teve seu sexo identificado por dimorfismo sexual externo (formato do abdômen) (MELO, 1996) e condição de vida anotado para determinação da razão sexual e para

avaliação do período de reprodução. Estes exemplares foram coletados por catadores profissionais e tiveram seu comprimento e largura aferidos por meio de paquímetro digital (sem adaptação) da marca Digimess, com precisão de aproximadamente 0,03 mm, posicionado sobre a superfície dorsal da carapaça. Os indivíduos foram liberados no próprio local de captura logo após as medições. A técnica empregada nesta etapa foi a de captura e solta. Durante as expedições, exemplares aleatórios de *U. cordatus* foram capturados por catadores profissionais através da técnica conhecida como braceamento para identificação do sexo e medição do cefalotórax. Todas as amostragens foram semestrais (período chuvoso e seco).

Durante o período reprodutivo, dez fêmeas ovígeras de *U. cordatus* foram coletadas nos estuários dos rios Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Mariricu e São Mateus e de *C. guanhumi* apenas na foz do Rio Doce por se tratar de uma espécie ameaçada de extinção. Os exemplares foram transportados em sacos de estopa até o laboratório de Ecologia do Ecossistema Manguezal, localizado na Universidade Federal do Espírito Santo – Campus São Mateus, para posteriores análises e tombamento das espécies no acervo do projeto. As fêmeas ovígeras também foram capturadas em Caravelas e Urussuquara para estimativa da densidade seguindo o plano de trabalho antecedente ao atualizado em setembro/2022.

As fêmeas ovígeras foram cuidadosamente lavadas para retirada do excesso de sedimento e, em seguida, crioanestesiadas (MELO, 1996) para posteriormente as medições biométricas (comprimento e largura do cefalotórax) serem realizadas. Os indivíduos com a massa ovígera foram pesados em balança (modelo AL500C da marca Marte) com precisão de 0,001 g. Após este processo, preservados em álcool 70%. Posteriormente, a raspagem da massa ovígera presa nos pleópodes foi realizada e as seguintes informações obtidas: (1) peso total (g); (2) peso da subamostra em gramas (g); e (3) contagem de ovos, por unidade, da massa ovígera de cada fêmea. O seguinte procedimento foi executado para estimar o número de ovos por fêmea: uma subamostra de aproximadamente 2,5 g/ml de massa ovígera retirada para cada indivíduo. Para a separação total dos ovos presos aos filamentos foi utilizada solução de hipoclorito de sódio (NACIO) 5% em 100 ml de água destilada e agitados. Após este procedimento, o material foi colocado em placa de Petri, pesado e posteriormente fotografados com câmera digital (modelo LEICA EZ câmera 2.6.0) acoplado ao estereoscópico óptico (marca Nikon, modelo Leica M80). O programa responsável por determinar a escala fotográfica das imagens foi LAS EZ 3.0.0, instalado em computador e ligado ao estereoscópico óptico.

O número de ovos em cada imagem digital adquirida foi contabilizado através do programa Paint (Microsoft©) e CountThings. Posteriormente, extrapolado para determinar o número total por fêmea, de acordo com o volume total de ovos avaliado por indivíduo. Todos os exemplares foram devidamente etiquetados com as seguintes informações: espécie coletada; local de captura; data da coleta; tipo de maré; fase lunar; e nome do catador responsável pela coleta.

2.1.3 Variabilidade espacial e temporal dos metais pesados em sedimentos da região da foz do Rio Doce e dos manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia

As amostras de sedimentos superficiais foram coletadas semestralmente nas zonas entremarés dentro dos manguezais. Ao longo de cada parcela, 6 subamostras foram coletadas até a profundidade de 5

centímetros por meio de coletores constituídos por um tubo de PVC. A fim de compor a amostra composta representativa da parcela, as subamostras foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados e inseridas em caixa térmica com gelo até posterior armazenamento em freezer em laboratório.

2.2 ANÁLISE

2.2.1 Estrutura e Funcionamento da flora do Rio Doce e dos Manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia

Metais foliares - para a análise foliar foram considerados os seguintes nutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu). Os elementos foram analisados após mineralização pela digestão nítrico-perclórica e foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (BLANCHARD et al., 1965). Além destes, o metal tóxico chumbo (Pb) foi quantificado de acordo com Malavolta et al., (1997).

Atividade antirradicalar: as amostras de folhas secas e moídas foram pesadas ($\pm 0,5000$ ou $\pm 1,0000$ g cada) em balança analítica (BIOPRECISA, modelo Fa2104n, acurácia de 4 casas decimais) utilizando papel de pesagem e transferidas individualmente para tubos Falcon de 15 mL previamente identificados. Após, foram adicionados 5 mL de metanol (HPLC PAI-ACS, marca Panreac) em cada tubo Falcon utilizando pipeta automática (NAVELAB). Os tubos Falcon foram fechados e colocados em banho ultrassônico (SANDERS, modelo Soniclean 2) a 40 KHz por 160 minutos para extração. A cada 40 minutos, os tubos Falcon eram retirados do banho e agitados durante 30 segundos em um agitador de tubos. Em seguida, os tubos Falcon foram colocados em uma centrífuga de bancada (NOVA INSTRUMENTS, modelo NI1811-A) e centrifugados a 3400 rpm durante 20 minutos. O extrato sobrenadante dos tubos Falcon centrifugados foram transferidos para tubos de ensaio de 15 mL previamente identificados e de massa conhecida. A seguir, os tubos de ensaio foram postos em estufa de secagem (DELEO, modelo A5SE) a 50° C até evaporação total do solvente metanol e até apresentação de massa constante de extrato seco na pesagem. Os tubos de ensaio com o extrato seco foram pesados novamente e, então, adicionados 5 ou 10 mL de metanol (dependendo da massa inicial) utilizando pipeta automática. Os tubos com o extrato seco foram colocados em banho ultrassônico por 5 minutos até total dissolução do extrato no solvente.

Para os testes de atividade antioxidante com DPPH[•], todas as soluções metanoicas dos extratos secos foram diluídas em metanol (duas, cinco, dez ou vinte vezes), para que a absorbância medida se mantenha dentro da faixa de trabalho. As soluções já diluídas foram denominadas como soluções de trabalho (ST). Os ensaios foram realizados adicionando alíquotas de 15 μ L, 25 μ L e 35 μ L de cada ST, em cubetas contendo 3,0 mL de solução metanoica de DPPH[•] 0,2 mmol. L⁻¹ e a reação foi mantida ao abrigo da luz durante 60 minutos antes das medidas espectrofotométricas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata. As medidas foram realizadas em espectrofotômetro Lambda 16 da marca Perkin Elmer, monitorando a absorbância das amostras em 517 nm. Os brancos consistem em 3,0 mL de metanol contendo 15 μ L, 25 μ L ou 35 μ L da respectiva ST. O controle negativo foi uma solução contendo apenas DPPH 0,2 mmol. L⁻¹ em metanol.

O cálculo da porcentagem de inibição do radical DPPH[•] foi realizado de acordo com a seguinte equação:

$$\% \text{ inibida} = \left(1 - \frac{[A(a) - A(b)]}{[A(c) - A(b)]} \right) \times 100 \text{ (Equação 1)}$$

Onde A(a) é a absorbância da amostra, A(b) é a absorbância do branco, e A(c) é a absorbância do controle negativo.

A partir das porcentagens inibidas para cada concentração, foram determinados os valores de IC50 (concentração necessária para inibir 50% do radical DPPH[•]), por meio de regressão linear. Como todas as análises foram realizadas em triplicata, foram utilizados a média e o desvio padrão para representar o IC50 de cada amostra (Apêndice).

Análise de pigmentos: amostras de 5 g de massa fresca congeladas à -30° C foram trituradas em nitrogênio líquido (N₂) até redução à pó fino, o qual foi transferido para tubos de ensaio. Nesta amostra foi adicionado 15 mL de solução de acetona 90% + de 0,5 g.L⁻¹ de carbonato de cálcio (CaCO₃). Imediatamente após esse processo, os tubos de ensaio foram acondicionados em temperatura de 2° C por 24 h para extração completa dos pigmentos (modificado de ARAR, 1997). A partir daí as amostras foram filtradas e o sobrenadante armazenado em frascos âmbar à -30° C até a análise por espectrofotometria.

O procedimento de extração foi realizado de forma que os efeitos da luz, da temperatura e da ação enzimática sobre a degradação da clorofila fossem minimizados. As vidrarias contendo as amostras foram protegidas contra a luz e os solventes de extração foram utilizados gelados. O tempo de extração foi mantido ao seu mínimo possível, diminuindo assim a possibilidade de degradação dos pigmentos analisados. Os tubos de ensaio foram vedados com papel alumínio e mantidos em gelo.

O procedimento de extração dos pigmentos ocorreu como descrito acima. Posteriormente, foram determinadas as leituras da densidade ótica em espectrofotômetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Waltham, EUA) a 470 nm, 645 nm e 663 nm. As determinações das concentrações dos pigmentos fotossintéticos foram realizadas de acordo com as equações propostas por Wellburn (1994) e expressas em mg mL⁻¹ de massa fresca:

$$\text{Clorofila } a = (12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{645})$$

$$\text{Clorofila } b = (21,5 \times A_{645} - 5,1 \times A_{663})$$

$$\text{Carotenoides} = (1000 \times A_{470} - 1,82 \times \text{Clor } a - 85,02 \times \text{Clor } b / 198)$$

Onde: A470 = absorbância em 470 nm; A645 = absorbância em 645 nm; A663 = absorbância em 663 nm.

Fluorescência da clorofila *a*: as medidas da foram realizadas utilizando-se fluorômetro portátil Handy-PEA (Hanstech Instruments Ltd., King's Lynn, Norkfolk, UK). As folhas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos (FALQUETO et al., 2008) utilizando-se cliques foliares (Hansatech Instruments,

UK) para a oxidação completa da cadeia de transporte de elétrons. A intensidade de fluorescência em 50 μ (considerado como F0), 100 μ s, 300 μ s, 2 ms (FJ), 30 ms (FI) e a fluorescência máxima (Fm) foram registradas e utilizadas para os cálculos dos parâmetros do teste JIP de acordo com Strasser et al. (2004) e Stirbet e Govindjee (2011). O parâmetro que compõe o indicador ecológico flora utilizado no relatório foi PI_{Total} – índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II (FSII) para a redução dos aceptores finais do fotossistema I (FSI), uma vez que é considerado um dos parâmetros mais sensíveis para medir a eficiência quântica do FSII (SMIT et al., 2009).

Assimilação de carbono: para as medidas da assimilação de CO_2 utilizou-se medidor portátil de fotossíntese (Infrared gas analyzer, IRGA) modelos LCi , $LCi T$ e $Lcpro T$ (ADC, Bio Scientific Ltd. Hoddesdon, England). O parâmetro analisado neste relatório foi assimilação de CO_2 ($A - \mu mol m^{-2} s^{-1}$). O uso eficiente da água foi calculado para todas as espécies, mas não inserido neste documento, pois não foi possível estabelecer relação com o rompimento da barragem. Os dados são continuamente entregues na planilha de dados brutos.

Análise estatística: Todos os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett). Os parâmetros fisiológicos que apresentaram normalidade e homogeneidade foram submetidos ao teste ANOVA, seguido do teste post-hoc de Tukey, para as comparações entre os períodos (secos e chuvosos) do monitoramento em cada estuário para cada espécie e por compartimento, quando pertinente. A análise temporal contemplou todos os períodos secos e chuvosos do monitoramento, exceto o período seco de 2020 em função da pandemia causada pela Covid-19 que impossibilitou as saídas de campo. A região onde estão inseridas as áreas de estudo, região tropical, é caracterizada por um período seco (abril a setembro) e período chuvoso (outubro a março) (NOBREGA et al., 2010; RRDM, 2019 RT 21, Anexo 5 Manguezal). Maiores descrições dos manguezais estudados encontram-se em Tognella et al. (2022). As análises foram realizadas no programa R (R CORE TEAM, 2022) e os pacotes utilizados foram ExpDes.pt (FERREIRA et al., 2021) e readxl (WICKHAM et al., 2023). Os parâmetros fisiológicos que não apresentaram normalidade e homogeneidade foram submetidos ao teste não paramétrico Kruskal-Wallis, seguido do teste de comparações múltiplas *a posteriori*, com correção de Bonferroni (ZAR, 1996). Para estas análises, os seguintes pacotes foram utilizados: dplyr (WICKHAM et al., 2023), readxl (WICKHAM et al., 2023) e easyanova (ARNHOLD, 2022).

A análise integrada dos dados estruturais e de concentração de metais em folhas foi obtida por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) que utiliza matriz de correlação dos dados (LEGENDRE e LEGENDRE, 1994), para isto empregou-se o programa R (R CORE TEAM, 2022), usando os pacotes “ggplots2” (WICKHAM, 2016), FactoMineR (LE et al., 2008), factoextra (KASSAMBARA e MUNDT, 2017) e factolinvestigate (THULEAU E HUSSON, 2020). Para avaliar a estrutura populacional das florestas de mangue foram analisados os parâmetros estruturais obtidos em outubro de 2018 como referência. Os dados abióticos analisados incluíram as concentrações dos metais foliares ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), chumbo (Pb) zinco (Zn), alumínio (Al), assim como o teor de matéria orgânica e lama dos sedimentos, referente as amostras coletadas entre outubro de 2018 a setembro de 2022.

Também foi realizada a Análise de Componentes Principais no que diz respeito aos dados fisiológicos e de concentração de metais em folhas para cada espécie, sendo conduzido por meio dos pacotes estatísticos citados acima. A ACP representando os estuários pelos compartimentos A, B e C para *R. mangle* foi produzida por estação climática, isto é, uma para o período chuvoso e outra para o período seco. Procedimento similar foi elaborado para *L. racemosa*, neste caso contemplando os estuários, sem considerar os compartimentos, nos quais a espécie é amostrada para os parâmetros fisiológicos (quadro 1). A ACP para *A. schaueriana* foi construída comparando os estuários e os períodos em uma única análise, uma vez que a espécie é amostrada de forma restrita no monitoramento, exigindo este conjunto de dados para cumprir os requisitos de dados mínimos para proceder com a análise. Para *T. pernambucense* também foi construída apenas ACP considerando todos os períodos amostrais (seco e chuvoso), uma vez que a espécie era amostrada apenas na foz do Rio Doce. No Novo Ciclo do PMBA/Fest mais duas áreas de *T. pernambucense* foram adicionadas e análise preliminar comparando as três áreas foi conduzida para os dados coletados no período seco de 2022.

Análise de correlação de Spearman entre dados fisiológicos e concentração de metais em folhas foi realizada para cada espécie de mangue e cada período (chuvoso e seco). Para *T. pernambucense*, correlação de Spearman foi realizada utilizando todos os dados coletados, independente do período. As análises foram realizadas no programa R (R CORE TEAM, 2022) e os pacotes utilizados foram ds (ARNHOLD, 2019) e corrplot (WEI e SIMKO, 2021)

Considerou-se como nível de significância estatística o α igual a 0,05 para todos os testes descritos acima.

2.2.2 Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos

A densidade populacional (indivíduos/m²) em cada unidade amostra ($n = 3$) foi obtida considerando as contagens de galerias habitadas (tapadas e abertas) registradas. O menor diâmetro das galerias foi empregado para estimar o tamanho dos indivíduos de *U. cordatus*, uma vez que este possui melhor correlação com o comprimento do cefalotórax do caranguejo devido ao hábito da espécie entrar de lado na galeria (SCHMIDT et al., 2008). A estimativa será obtida pela conversão do valor do menor diâmetro da galeria em comprimento de cefalotórax (Equação 1) e, posteriormente, em largura (Equação 2), por meio das equações lineares propostas por Schmidt et al. (2008), sendo elas:

Abertura da galeria

$$\text{Diâmetro menor} = 0,36 + 1,04 * CC \text{ (Equação 1)}$$

Comprimento do cefalotórax

$$LC = -0,05 + 1,30 * CC \text{ (Equação 2)}$$

Onde, CC (mm) corresponde ao comprimento e LC (mm), a largura do cefalotórax, ambos em unidade de milímetros.

O teste de Shapiro-Wilk e Bartlett foram utilizados para verificar normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Os dados foram transformados ($\log + 1$) quando não

apresentaram distribuição normal ou variâncias homogêneas. A ANOVA unifatorial foi aplicada para verificar diferenças entre a densidade populacional, variável dependente, de *U. cordatus* entre os estuários em cada período (chuvoso: 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022; e seco: 2019, 2021 e 2022) e entre os períodos em cada estuário, variáveis independentes. A densidade entre os tipos de bosques (*Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*) foi avaliada através do teste t de Student quando os dados apresentaram distribuição normal e variância homogênea e o teste de Mann-Whitney executado quando essas premissas não foram atendidas. Quando possível, a ANOVA bifatorial foi aplicada para verificar diferenças entre a densidade populacional de *U. cordatus* em bosques de *R. mangle* e *L. racemosa*. Tipo de bosque, considerando a espécie vegetal dominante na estação de coleta e período (chuvoso e seco) serão os fatores. As mesmas análises estatísticas foram aplicadas para a variável dependente largura do cefalotórax (mm). Quando os dados não apresentaram distribuição normal mesmo após a transformação, o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis e o *pós-hoc* de Comparações Múltiplas com a correção de Bonferroni para ajustar o valor de significância foram realizados. As referências utilizadas nestas análises foram Gotelli e Ellison (2013) e Zar (2010).

Para *C. guanhumi*, ANOVA unifatorial foi aplicada para avaliar a diferença da densidade de indivíduos entre os períodos em cada estuário. A análise de normalidade dos resíduos e a homogeneidades das variâncias também foram realizadas através do teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados foram transformados ($\log + 1$) quando não atenderam as premissas para aplicar ANOVA paramétrica (Teste F), e o teste de Tukey para comparações múltiplas. Após a transformação, ao não atenderem novamente as premissas, o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis e o de Comparações Múltiplas com a correção de Bonferroni para ajustar o valor de significância foram executados.

Histogramas da distribuição de frequência das classes de tamanho (mm) para *U. cordatus*, por período chuvoso e seco, foram elaborados a partir das estimativas do tamanho dos indivíduos, ocupando cada galeria, para cada estuário para auxiliar na interpretação da estrutura populacional da espécie quanto a frequência de jovens e adultos na população. Para *C. guanhumi*, os histogramas foram construídos com base nos valores de largura do cefalotórax dos indivíduos capturados e medidos em campo.

A razão sexual foi estimada para as duas espécies, em cada estuário, nos períodos chuvoso e seco e o teste do Qui-quadrado (X^2) aplicado para avaliar diferenças significativas na frequência de distribuição de machos e fêmeas em relação ao esperado (1:1). Para fins de inferência, adotou-se nível de significância de 5% (ZAR, 2010) para esta e as demais análises. Embora seja um importante indicador de alterações na população, até o momento não foi possível estabelecer relação entre o parâmetro e o rompimento da barragem, assim, a análise não foi inserida neste documento. Os dados são continuamente entregues na planilha de dados brutos.

Para a realização das análises multivariadas de componentes principais (PCA = *Principal Component Analysis*), o procedimento segundo Gotelli e Ellison (2013) com representação gráfica *biplo*t (HOTELLING, 1933; CRUZ e CARNEIRO, 2006) foi utilizado. A PCA foi empregada para cada período (chuvoso e seco) considerando os parâmetros populacionais (densidade e largura do cefalotórax), granulometria (frações areia e lama em %), teor de matéria orgânica (%) e carbonato de cálcio CaCO_3 .

(%) no sedimento, concentração de metais no sedimento (Arsênio, Alumínio, Cromo, Cobalto, Cobre, Ferro, Manganês, Chumbo e Zinco em mg/kg) e micronutrientes foliar (Alumínio, Cobre, Ferro, Manganês, Chumbo e Zinco em mg/kg). Os valores de cada variável foram inicialmente padronizados pela equação $Z = (Y_i - \bar{Y})/s$ em que Z representa o valor padronizado adimensional, Y_i corresponde ao valor da amostra i para a variável original Y , e \bar{Y} e s representam sua média e desvio padrão respectivamente. A Distância Euclidiana foi usada como medida de dissimilaridade e a representação da variabilidade em gráfico bidimensional com base nos dois primeiros componentes principais. Análise de correlação de Pearson também foi realizada entre os parâmetros populacionais e concentração de metais no sedimento e micronutrientes foliar considerando todo os períodos chuvosos e secos em cada estuário. Esta e as demais análises foram executadas no programa R versão 4.2.2 (R CORE TEAM, 2022) utilizando os pacotes *easynova* (ARNHOLD, 2022), *ggplot2* (WICKHAM, 2011) *factoextra* (KASSAMBARA e MUNDT, 2017) *FactoInvestigate* (THULEAU e HUSSON, 2020) *FactoMineR* (LE et al., 2018) e *ds* (ARNHOLD, 2019).

A fecundidade foi estimada por meio da expressão proposta por Ogawa e Rocha (1976) descrita abaixo:

$$F = N * (P/PS) \text{ (Equação 3)}$$

onde: F = fecundidade individual; N = número de ovos da subamostra; P = peso total da massa de ovos (g); e PS = peso da subamostra (g).

A análise de covariância (ANCOVA) foi realizada para comparar a fecundidade de *U. cordatus*, considerando o tamanho médio uma covariável, entre os períodos reprodutivos (2019, 2020, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest e dados pretéritos encontrados por Porto et al. (2021), em 2015 e 2016, no estuário do Rio São Mateus. A homogeneidade das variâncias foi testada por meio do teste de Levene e em relação a normalidade, o teste de Shapiro-Wilk foi conduzido para avaliar a distribuição dos resíduos (ZAR, 2010). A ANCOVA foi executada somente quando todos os pressupostos foram atendidos (FIELD et al., 2012).

As áreas de distribuição de *U. cordatus* e *C. guanhumí* nos estuários foram representadas graficamente. Cada estação de coleta teve quatro (4) coordenadas geográficas no mínimo obtidas através de um GPS Trimble de pós-processamento. Com essas coordenadas, a distância entre parcelas e a distância das parcelas ao ponto mais próximo geodésico (levantamento preciso por RTK) foi estimada.

Imagens de Satélite das áreas de estudo em formato digital (CD-ROM), imagens Landsat TM, para identificação das áreas a serem mapeadas em contexto geral (imagens Landsat TM gratuitas) vão permitir gerar uma base em escala média para visualização de todas as áreas simultaneamente. Imagens de alta resolução (uma imagem ao ano para cada área de estudo), correspondentes às bandas multiespectrais (1 a 3), e infravermelho próximo (4) foram georreferenciadas e corrigidas geometricamente pelo algoritmo de interpolação de filtragem convolução cúbica (ortorretificada e georreferenciada) pela própria empresa que fornece. Para verificar a precisão desse georreferenciamento, uma base de contornos vetoriais de área de estudo no formato shapefile (*.shp)

foi sobreposta a uma das bandas adquiridas. Arquivos *shapefile* foram gerados a partir da utilização de GPS pós-processado da Trimble por caminhamento (linhas, pontos e áreas).

O Sistema de Informações Geográficas SPRING® (INPE) foi utilizado para manipulação e tratamento das imagens, empregando diferentes algoritmos de composição, suavização, tratamento de contraste, filtragem, mosaicagem e demais processamentos complementares de imagem e segmentação. Inicialmente a segmentação da imagem, empregando-se os algoritmos de classificação por regiões, foi realizada. Depois da avaliação dos resultados, iniciará o processo de classificação supervisionada por pixel, para efeito comparativo.

Os arquivos resultantes das etapas de processamento foram incorporados ao SIG ArcGIS® (ESRI) para a representação final do processo de classificação supervisionada dos ambientes vegetacionais e geração das grades que poderiam representar de modo filigranado a variabilidade de ambientes frequentados pela fauna estudada. O mapeamento das unidades da paisagem foi realizado no SIG ArcGIS® (ESRI). O Banco de Dados Georreferenciado foi implementado no SIG ArcGIS® (ESRI) e a leitura das regiões realizadas por meio da grade de pontos de coleta amostrados durante o monitoramento (tabela de dados em formato MS Excel® convertida para arquivo em formato *shapefile*).

A produção de mapas temáticos incorporou os dados tabulares de pontos amostrais e respectivos valores de parâmetros ambientais e densidade dos caranguejos, juntamente com as imagens em formato GeoTIFF.

2.2.3 Variabilidade espacial e temporal dos metais pesados em sedimentos da região da foz do Rio Doce e dos manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia

Em laboratório foram separados cerca de 50 gramas da amostra bruta para a análise granulométrica. A fim de não afetar a pesagem e classificação da granulometria, antes dos processos de separação de grãos foram retirados da amostra os sais solúveis, matéria orgânica e carbonatos de cálcio. Primeiramente, para a retirada dos sais, foi realizada a lavagem da amostra com água por meio da técnica de decantação em Becker de 1 L por três vezes. Após esse procedimento, a amostra foi seca em estufa a 60° pesada. A oxidação da matéria orgânica ocorreu pelo uso de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - 30% PA) em chapa aquecedora a 70°C, onde o reagente foi inserido aos poucos na amostra. A oxidação foi finalizada quando a inserção de H_2O_2 deixou de gerar reação no sedimento. Para retirar o peróxido de hidrogênio, três lavagens com água destilada após a decantação foram realizadas. Com a amostra seca, uma nova pesagem precedeu a descarbonatação da amostra, processo este feito com uso de ácido clorídrico (HCl PA). Para este fim, o recipiente foi colocado em uma capela de exaustão de gases para a adição lenta e gradual de HCl com o auxílio de uma proveta. O procedimento continua até que a adição de HCl não provoque mais reação (borbulhamento). Terminada a retirada dos carbonatos, o sedimento foi lavado cinco vezes com água e seco em estufa. Após seco, o becker com o sedimento descarbonatado é novamente pesado e o teor de carbonato de cálcio é obtido pela diferença de peso da amostra antes e após a descarbonatação. Em seguida, o valor é transformado em porcentagem de carbonato de cálcio em relação ao peso total da amostra, conforme método primeiramente reportado por Gross (1971).

Posteriormente, foi feita a separação úmida das frações grossa (areia + cascalho) e fina (silte + argila), na qual procede-se colocando a amostra lavada em peneira com abertura igual a 63 µm sob água destilada. O becker contendo a fração fina foi deixado em repouso até completa deposição do sedimento em suspensão. Após a decantação, o excesso de água foi drenado cuidadosamente com uma mangueira e a fração lama foi analisada empregando-se o granulômetro a laser, Mastersizer 2000 da Malvern Instruments de acordo com a metodologia adaptada de Dias (2004).

O Becker contendo a fração grossa (após a água ser drenada) foi levado à estufa a 60°C para secagem da amostra. Após seco, o sedimento foi pesado e seguiu para o fracionamento. A fração areia passou pelo peneiramento a seco, que consiste em utilizar conjunto de peneiras com telas de malhas de 2 mm a 0,063 mm colocadas em um agitador mecânico durante 15 minutos. A quantidade obtida em cada peneira foi pesada e posteriormente planilhada. A escala granulométrica utilizada foi a de Wentworth (1922), em que as frações maiores que 0,063 mm são classificadas como areias/grânulos e as menores, como silte/argila (SUGUIO, 1973).

O teor de matéria orgânica (MO) presente nos sedimentos foi mensurado por meio do método de calcinação, que consiste na queima da MO em altas temperaturas. Para isso, 2 g de cada amostra de sedimento foi pesada e acondicionada em cadinhos de porcelana. Posteriormente, foram submetidas à temperatura de 450 °C na mufla durante 4 horas. A massa da MO é definida pelo peso do sedimento antes da queima na mufla subtraído do peso após a queima na mufla segundo método modificado Goldin (1987). O teor é a conversão deste valor em porcentagem, podendo-se encontrar a concentração de MO presente nas amostras por meio do cálculo:

$$MO = \frac{Pf \cdot 100}{Pi}$$

Onde MO é a matéria orgânica, Pf é o peso final e Pi é o peso inicial das amostras.

A análise de metais em sedimentos foi realizada segundo método US EPA 3051A (USEPA, 2013), que preconiza a digestão de cerca de 0,50 g de sedimento seco e homogeneizado, em 10 mL de HNO₃ em tubos de Teflon com o uso do forno micro-ondas (CEM, MARX X-PRESS) seguindo os seguintes parâmetros: 1ª rampa de temperatura 25°C a 175°C em 5:30min. e a 2ª rampa de 25°C a 175°C em 4:30min., ambas em potência de 1600 W. A solução foi então resfriada e filtrada utilizando o filtro Whatman n° 1 e diluída para 100 ml num balão volumétrico e as soluções analisadas pelo ICP -MS (Espectrometria de massa de plasma indutivamente acoplada; Agilent, CX7500). Os elementos analisados pelo ICP-MS foram: vanádio, cobalto, níquel, cobre, arsênio, prata, cádmio, bário, chumbo, cromo, ferro, alumínio, manganês, zinco e mercúrio. O material de referência (SS-2, Enviro MATTM) foi analisado para certificação do método e porcentagens de recuperação desses elementos.

Os resultados dos teores de matéria orgânica (%), carbonato de cálcio (%) e frações granulométricas (cascalho, areia, silte e argila - %) assim como as concentrações de metais (mg kg⁻¹) foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Levene). Quando os resultados apresentaram distribuição normal, as comparações entre os estuários, os períodos (seco e chuvoso) e as profundidades foram determinadas pelo teste de Análise de Variância (ANOVA) seguido do teste

post hoc Tuckey. Quando os dados não indicaram normalidade, as comparações supracitadas foram determinadas pelo teste não paramétrico Kruskal-Wallis, seguido do teste de comparações múltiplas a posteriori (Teste de Dunn) (ZAR, 1996). Os programas Excel e Software Rstudio (R CORE TEAM, 2022, versão 4.2.1) foram utilizados nas análises descritas acima.

2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

Avaliação da Cobertura do Dossel (Índice de Área Foliar): etapa descontinuada durante o ciclo “Transição”; os resultados apesar de relevantes do ponto de vista ecológico não foram associados aos rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão.

Caracterização da dinâmica estuarina nos Rios São Mateus, Mariricu e Piraquê: concluída. Etapa descontinuada no último Plano de Trabalho (setembro/2022), tendo em vista que os padrões de inundação dos estuários foram caracterizados durante os quatro anos de monitoramento.

Sedimentos: coleta e análise da profundidade de 5-15 cm foi descontinuada no último Plano de Trabalho (setembro/2022), tendo em vista que as concentrações de metais na profundidade de 5-15cm eram similares as concentrações de 0-5 cm.

Anatomia: Etapa descontinuada durante o ciclo de “ Transição “, os resultados eram obtidos a partir das plântulas do cultivo. Com o retorno do cultivo esta metodologia não foi inserida novamente no último Plano de Trabalho (setembro/2022).

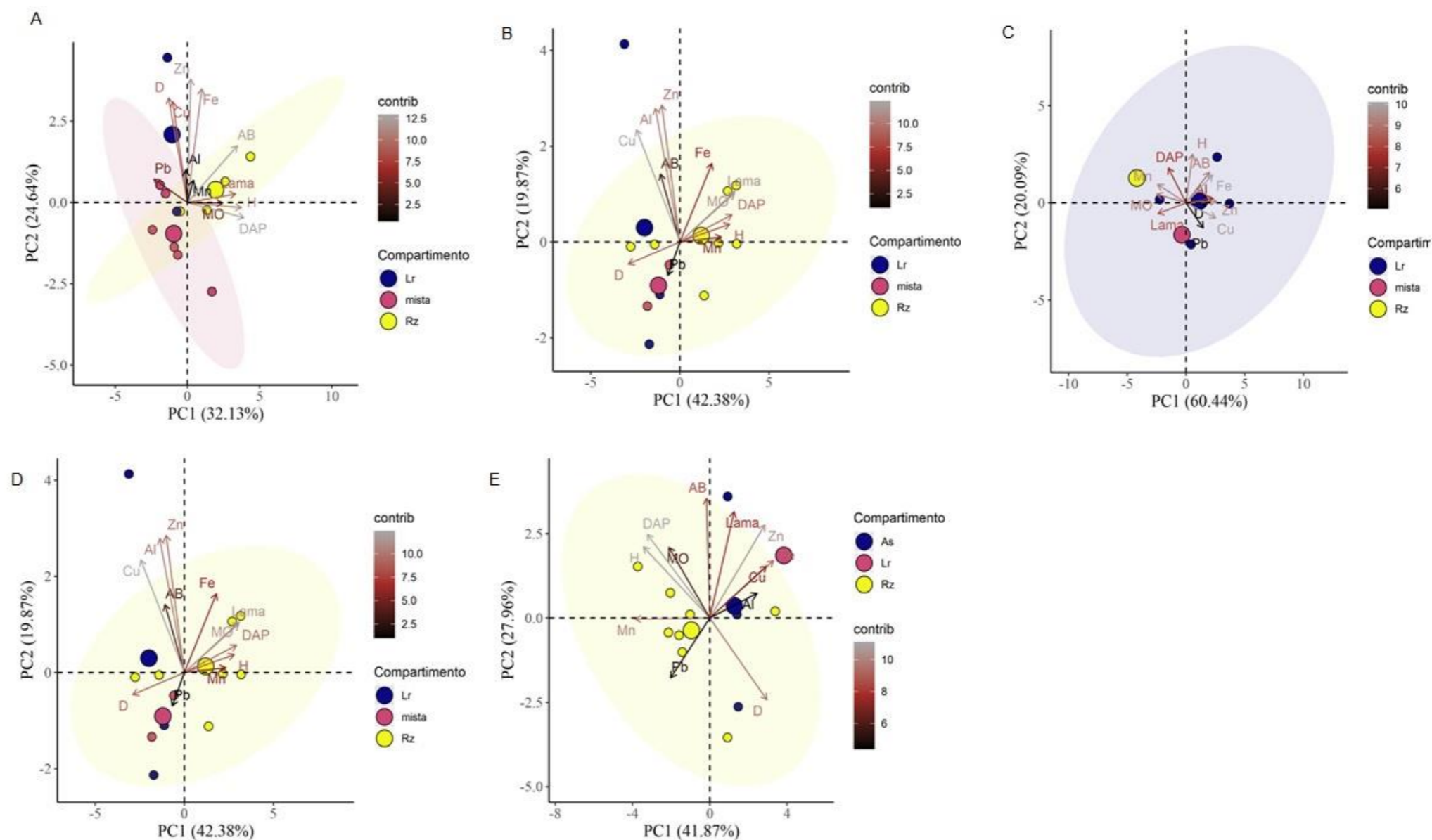
3 RESULTADOS DOS INDICADORES

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 do monitoramento (setembro/2018 – setembro/2022) 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 a 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 de quatro anos de monitoramento, onde seus principais resultados foram discutidos em todos os relatórios técnicos entregues até o presente, entretanto a partir do novo modelo de relatório solicitado via ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio, proposto via ofício FR.2023.0214 (SEI13515133) e aprovado via ofício SEI nº4/2023-CTBio/DIBIO/ICMBio, 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:

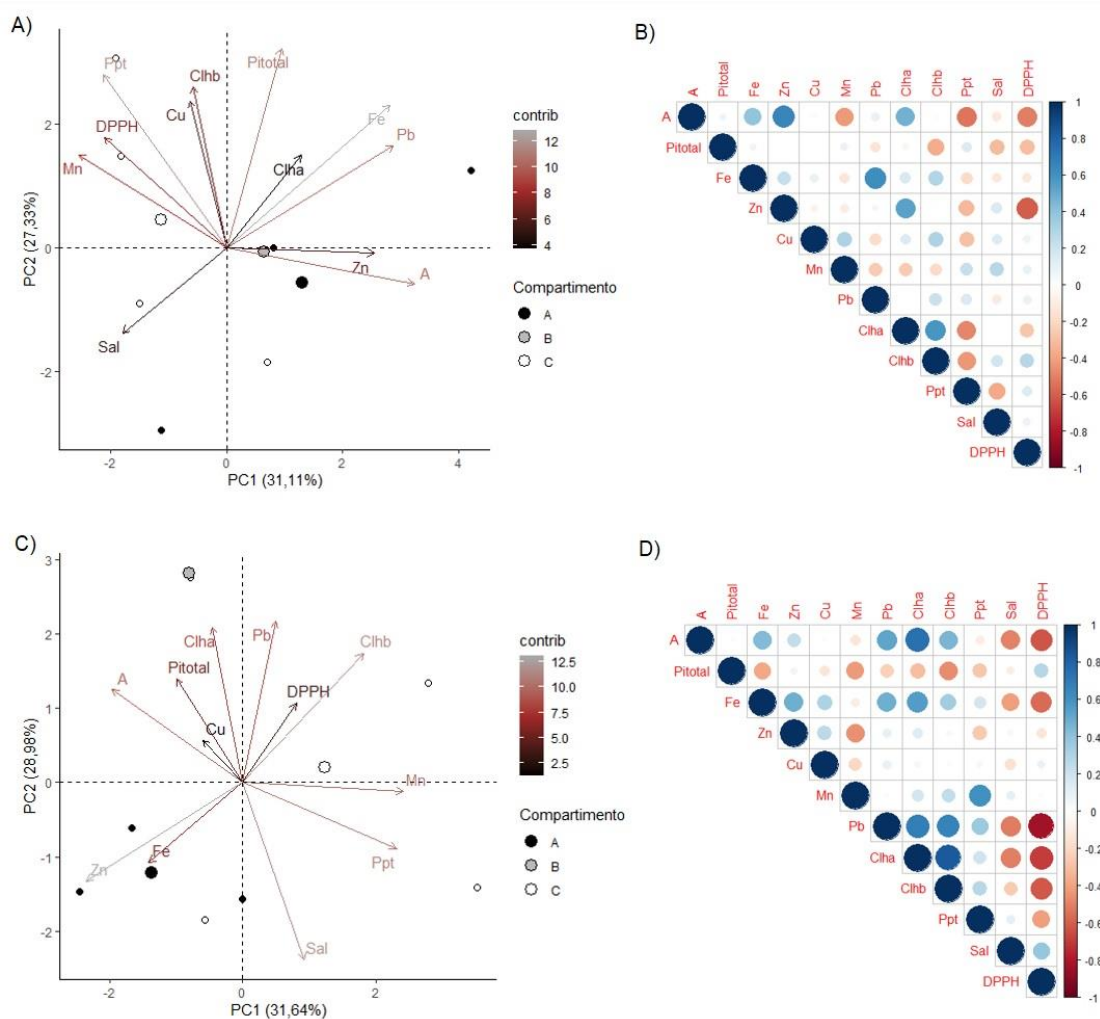
3.1 FLORA

Figura 1: Indicador Ecológico Flora – Estrutura populacional das florestas de mangue. Análise de componentes principais (ACP) entre os parâmetros estruturais, lama, matéria orgânica e metais no tecido foliar. Legenda: A - Piraquê-Açu, B - Piraquê-Mirim, C - Barra Nova, D - São Mateus, E - Caravelas. Parâmetros estruturais coletados em outubro de 2018. Parâmetros abióticos coletados de outubro de 2018 a setembro de 2022. Lr - *Laguncularia racemosa*, Rz - *Rhizophora mangle*, As – *Avicennia schaueriana*, mista – florestas sem dominância de uma única espécie, D- Densidade de indivíduos, H - altura média da floresta, AB - área basal total, Lama – porcentagem de lama no sedimento, MO - concentração de matéria orgânica, DAP - diâmetro médio, Mn/Fe/Zn/Pb/Cu/Al– manganês, ferro, zinco, chumbo, cobre e alumínio foliar.



As florestas com dominância de *R. mangle*, representadas pelos centróides amarelos nas ACPs, estão associadas aos parâmetros que representam maior desenvolvimento estrutural (DAP médio, altura e área basal), esse padrão é observado no lado direito da ACP para o Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e São Mateus, para Barra Nova e Caravelas essa associação é registrada no lado esquerdo do biplot. Florestas dominadas por *R. mangle* estão associadas a maior concentração de manganês e ferro foliar e maior teor de matéria orgânica e lama no sedimento. Bosques mistos e àqueles dominados por *Laguncularia racemosa*, representados pelos centróides rosa e azul, respectivamente, estão associados à maior densidade de indivíduos refletindo em um menor desenvolvimento estrutural. Estes bosques apresentam maior acúmulo de alumínio, zinco, chumbo e cobre nas folhas com exceção de Caravelas, onde maior concentração foliar do chumbo está associada aos bosques de *R. mangle*. Os agrupamentos citados para bosques mistos e dominados por *L. racemosa* são observados no lado esquerdo das ACPs para o Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e São Mateus, já Barra Nova e Caravelas essa associação é registrada no lado esquerdo do biplot.

Figura 2: Indicador Ecológico Flora – *Rhizophora mangle*. Análise de componentes principais (ACP) (A e C) e correlação de Spearman (B e D) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar. Legenda: Compartimento A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), B (Barra do Riacho) e C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas) - Áreas de coleta de dados distribuídas entre o norte do Espírito Santo e sul da Bahia, coletados de outubro de 2018 a setembro de 2022. PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO_2 , Mn/Fe/Zn/Pb/Cu – manganês, ferro, zinco, chumbo e cobre foliar, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, ppt – precipitação, sal – salinidade intersticial, DPPH• - 2,2-difenil-1- picrilhidrazila (atividade antirradicalar). A e B: Período chuvoso; C e D: Período seco.

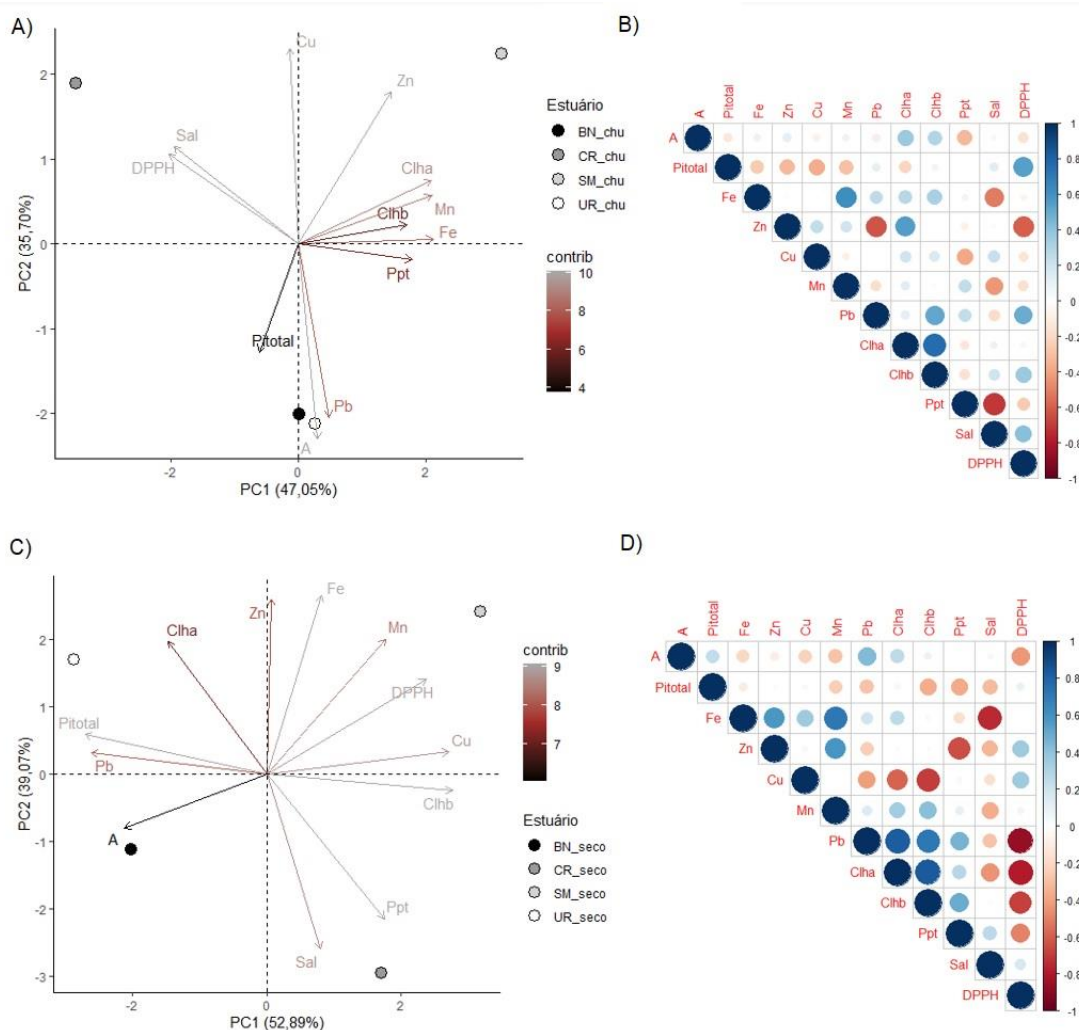


A soma das componentes da ACP para *Rhizophora mangle* no período chuvoso explica 58,44% da variabilidade dos dados. A componente 1 positiva agrupa os estuários do compartimento A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas) e B (Barra do Riacho) associados à maior assimilação de carbono e à concentração de Zn, Fe e Pb no tecido foliar. A correlação positiva entre A e Zn na folha ($r = 0,41$; $p < 0,05$), entre clorofila a e Zn foliar ($r = 0,44$; $p < 0,05$) e entre clorofila a e A ($r = 0,54$; $p < 0,05$) confirmam atuação positiva no metal no aparato fotossintético, tornando-se tóxico apenas quando em altas concentrações. De maneira oposta aos compartimentos A e B, os estuários do compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas) exibem menor desempenho fotossintético, maior concentração de Mn no tecido foliar, maior salinidade e maior estresse oxidativo. O efeito negativo do Mn sobre a assimilação de carbono é confirmado pela correlação negativa entre eles ($r = -$

0,40; $p < 0,05$), além do aumento do estresse oxidativo com a redução de A ($r = -0,52$; $p < 0,05$). Perpendicular a estes padrões e associados a componente 2 da ACP, estão os parâmetros Cu no tecido foliar, precipitação, PI_{Total} e clorofila a e b , tendo, especificamente São Mateus relacionado a esta componente. A atuação positiva de Cu sobre a produção de clorofila a e b é confirmada por meio das correlações ($r_{Cu \times clorofila\ a} = 0,37$; $p < 0,05$; $r_{Cu \times clorofila\ b} = 0,47$; $p < 0,05$).

Para o período seco, a soma das componentes explica 60,62% da variabilidade dos dados. Neste período, os compartimentos são totalmente separados, com o compartimento A permanecendo associado à maior assimilação de carbono e maior concentração de metais no tecido foliar (Fe, Zn e Cu). O compartimento C continua registrando menor assimilação de carbono, associado a maior concentração de Mn na folha e maior estresse oxidativo. A maior concentração de clorofila b se destaca neste agrupamento, este pigmento é um dos principais constituintes do complexo coletor de luz dos centros reação do fotossistema II e aqui foi registrado correlação significativa entre clorofila b e estresse oxidativo ($r = -0,55$; $p < 0,05$). Neste período, o compartimento B é dissociado do compartimento A, estando relacionado ao conteúdo de clorofila a e ao desempenho fotoquímico, apesar de Pb no tecido foliar estar neste agrupamento, não há indícios de interferência no desempenho fisiológico, ao contrário de Fe na folha que foi correlacionado negativamente com PI_{Total} ($r = -0,45$; $p < 0,05$), o que pode causar estresse oxidativo (LAPAZ et al., 2022), como apontado pela ACP para o compartimento em questão.

Figura 3: Indicador Ecológico Flora – *Laguncularia racemosa*. Análise de componentes principais (ACP) (A e C) e correlação de Spearman (B e D) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar. Legenda: BN: Barra Nova, CR: Caravelas, SM: São Mateus e UR: Urussuquara - Áreas de coleta de dados distribuídas entre o norte do Espírito Santo e sul da Bahia, coletados de outubro de 2018 a setembro de 2022. PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO_2 , Mn/Fe/Zn/Pb/Cu – manganês, ferro, zinco, chumbo e cobre foliar, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, ppt – precipitação, sal – salinidade intersticial, DPPH• - 2,2-difenil-1- picrilhidrazila (atividade antirradicalar). A e B: Período chuvoso; C e D: Período seco.

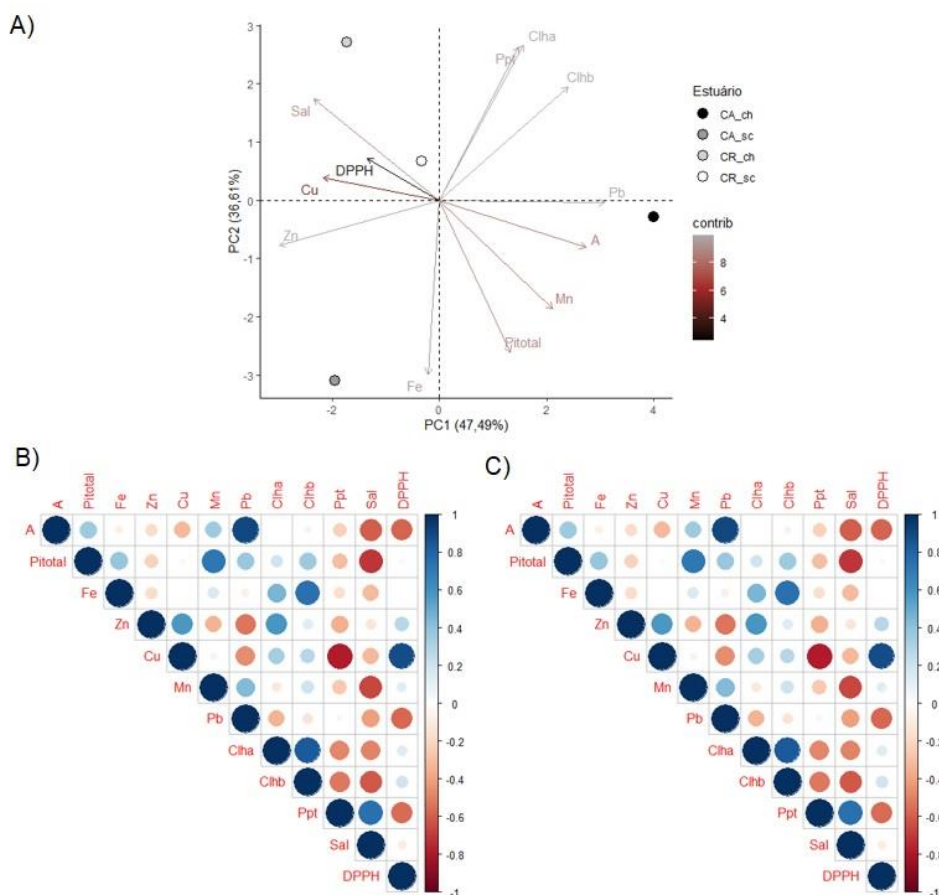


A *Laguncularia racemosa* é uma espécie avaliada de forma mais restrita dentro do PMBA/Fest quando comparada à *Rhizophora mangle*, assim a ACP avaliou a espécie considerando os estuários na qual a espécie é monitorada quanto aos parâmetros fisiológicos. A ACP para o período chuvoso explica 82,75 da variabilidade dos dados de *L. racemosa* e indica melhor desempenho fotossintético em Barra Nova e Urussuquara em função da associação dos estuários com o eixo y negativo da ACP, juntamente com A e PI_{Total} ; o Pb foliar também participa do agrupamento e parece não causar danos ao aparato fotossintético. Oposto a este agrupamento, nos quadrantes superiores, tem-se São Mateus e Caravelas com menor desempenho fotossintético e, apesar da espécie em São Mateus estar associada à clorofila a e ao Zn foliar, apresentando uma correlação positiva entre os parâmetros ($r = 0,63$; $p < 0,05$), o estuário é agrupado também com o Mn e o Fe na folha o que justifica a redução do desempenho

fotossintético, por outro lado, a maior salinidade em Caravelas parece induzir maior estresse oxidativo para a espécie neste estuário.

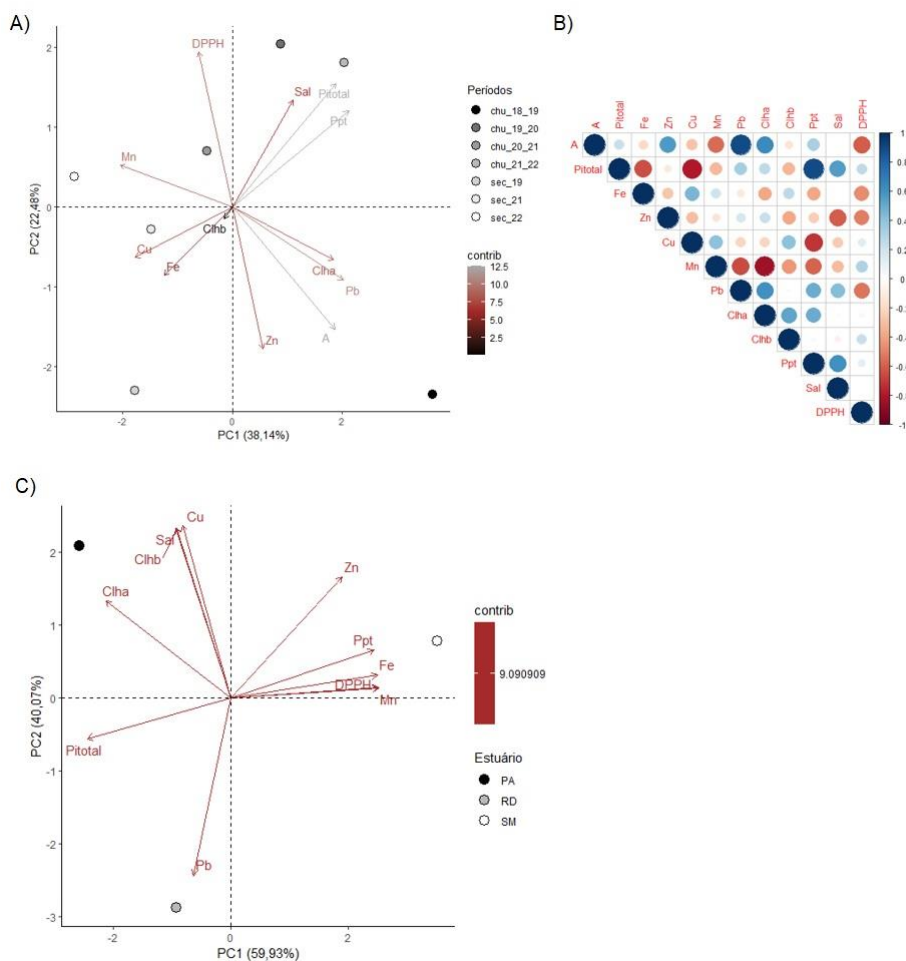
A soma das componentes da ACP referente ao período seco explica 91,96% da variabilidade dos dados. A análise agrupa *L. racemosa* em São Mateus no quadrante superior direito com Fe, Mn, Zn e Cu e indica menor desempenho fotossintético para o estuário de forma que os metais acumulados na folha atuam negativamente sobre o aparato fotossintético e aumentam o estresse oxidativo, principalmente o Cu que atua negativamente sobre a concentração de clorofilas ($r_{Cu \times \text{clorofila } a} = -0,60$; $p < 0,05$; $r_{Cu \times \text{clorofila } b} = -0,82$; $p < 0,05$). Em contrapartida, o eixo x negativo é associado aos parâmetros relacionados ao desempenho fotossintético (A e PI_{Total}) e, assim como no período chuvoso, Urussuquara e Barra Nova apresentam essa tendência. *L. racemosa* em Caravelas permanece associada à salinidade, como observado no eixo y negativo.

Figura 4: Indicador Ecológico Flora – *Avicennia schaueriana*. Análise de componentes principais (ACP) (A) e correlação de Spearman (B e C) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar. Legenda: CA: Costa das Algas, CR: Caravelas- Áreas de coleta de dados distribuídas no norte do Espírito Santo e no sul da Bahia, coletados de outubro de 2018 a setembro de 2022. PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO_2 , Mn/Fe/Zn/Pb/Cu – manganês, ferro, zinco, chumbo e cobre foliar, Chla – clorofila a , Chlb – clorofila b , ppt – precipitação, sal – salinidade intersticial, DPPH• - 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (atividade antirradicalar). A: ACP contempla dados dos períodos chuvosos e secos; B e C: correlação de Spearman dos períodos chuvosos e secos, respectivamente.



Da mesma maneira que *L. racemosa*, *Avicennia schaueriana* é avaliada quanto aos parâmetros fisiológicos de forma mais restrita, sendo monitorada em Costa das Algas (compartimento A) e Caravelas (compartimento C) e, em função disso, agrupou-se os dados dos períodos chuvosos e secos em apenas uma análise que explica 84,1% da variabilidade dos dados. A espécie em Costa das Algas no período chuvoso tende a ter melhor desempenho fotossintético, associado ao Mn e ao Pb foliar, esta espécie dentre as 3 espécies típicas de mangue avaliadas não mostra efeito negativo do Mn sob o aparato fotossintético, uma vez que é considerado um micronutriente essencial, sendo o elemento correlacionado positivamente com o PI_{Total} ($r = 0,78$; $p < 0,05$). Em contrapartida, o Pb é um elemento considerado tóxico, contudo com base nas análises realizadas sugere-se que o mesmo está sendo incorporado e armazenado, diluído nos vacúolos por processo de compartimentação reduzindo a toxicidade do metal nas folhas. Ao contrário, Cu e Zn estão relacionados ao menor desempenho fotossintético em Caravelas em ambos os períodos e ao maior estresse oxidativo.

Figura 5: Indicador Ecológico Flora – *Talipariti pernambucense*. Análise de componentes principais (ACP) (A e C) e Correlação de Spearman (B) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar. Legenda: PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO_2 , Mn/Fe/Zn/Pb/Cu – manganês, ferro, zinco, chumbo e cobre foliar, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, ppt – precipitação, sal – salinidade intersticial, DPPH• - 2,2-difenil-1- picrilhidrazila (atividade antirradicalar), PA: Piraquê-Açu, RD: Rio Doce; SM: São Mateus- Áreas de coleta de dados distribuídas no norte do Espírito Santo. A e B: ACP e correlação de Spearman contemplam dados coletados de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce; C: contempla dados coletados no período seco 2022 para Rio Doce, São Mateus e Piraquê-Açu.



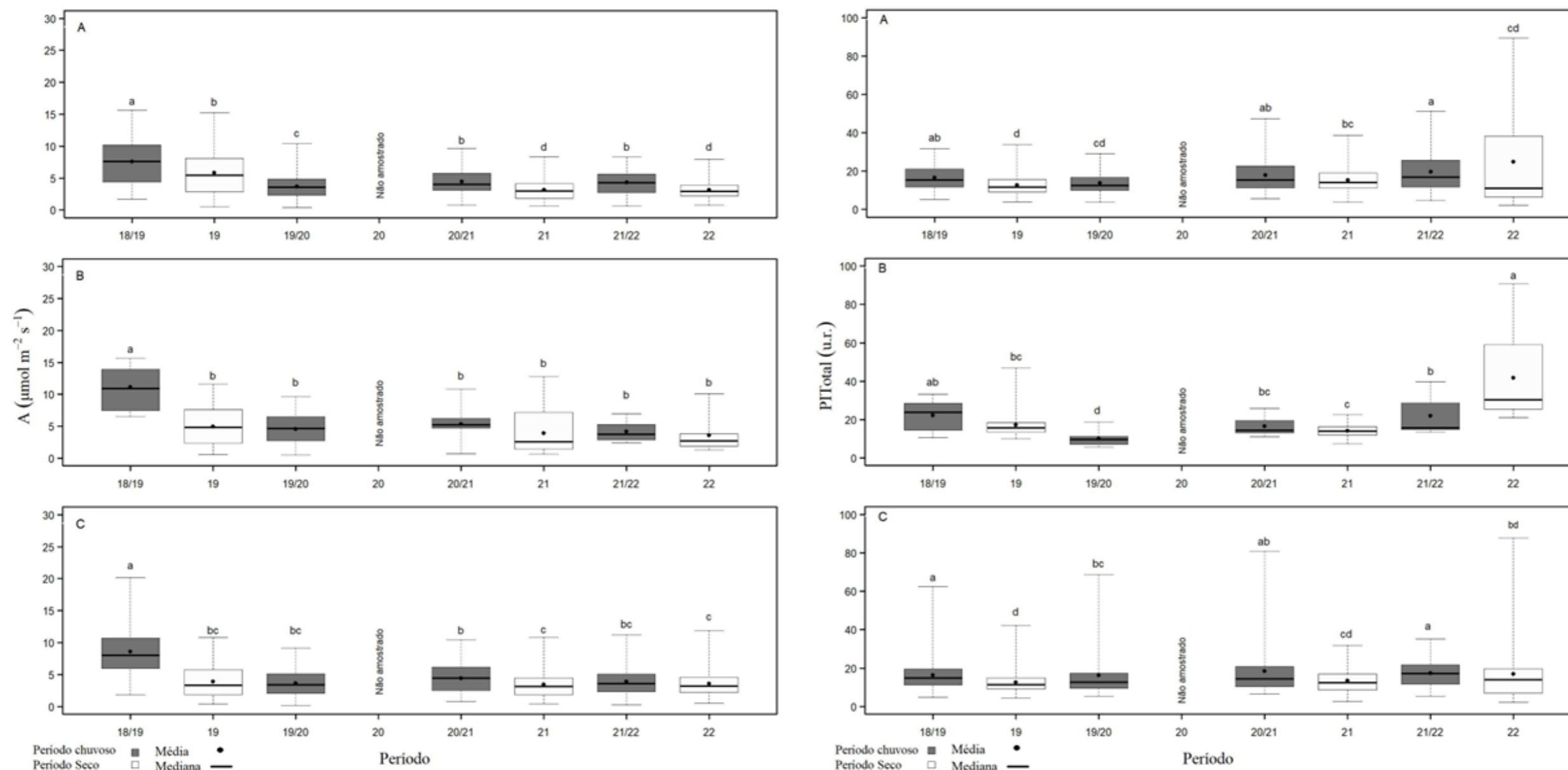
A ACP elaborada para *Talipariti pernambucense* no Rio Doce utiliza todos os períodos do monitoramento e explica 60,62% da variabilidade dos dados. Os parâmetros A, PI_{Total} , precipitação, clorofila a e Pb contribuíram substancialmente na construção do eixo x positivo, portanto, pode-se assumir que esse eixo representa o desempenho fotossintético e que foi maior nos períodos chuvosos 2018/2019 e 2021/2022. Verificou-se que precipitação atua positivamente sobre o aparato fotossintético da espécie, principalmente na fase fotoquímica da fotossíntese, visto a correlação positiva entre precipitação e PI_{Total} ($r = 0,85$; $p < 0,05$). Para *T. pernambucense*, assim como outras espécies avaliadas no tema Manguezal, o Pb tem sido se mantido inerte e não prejudicando funções fisiológicas da espécie. Em contrapartida, o eixo x negativo foi associado aos períodos secos 2021 e 2022, indicando redução do desempenho fotossintético em função do acúmulo de metais (Fe, Mn e Cu) nas folhas. A ACP indica

que a salinidade pode induzir estresse oxidativo, como observado na associação desses parâmetros com o eixo y positivo.

No Novo Ciclo do PMBA/Fest ficou acordado que *T. pernambucense* seria avaliada em outros locais além do Rio Doce, assim foi selecionado novas áreas de monitoramento da espécie nos estuários do rio Piraquê-Açu e do rio São Mateus. Análise de componentes principais foi construída utilizando os dados das três áreas para os dados coletados no período seco 2022 a fim de explorar de forma preliminar os resultados obtidos. As três áreas avaliadas são separadas na análise, com *T. pernambucense* no Rio Doce estando associado ao Pb no tecido foliar. Maiores concentrações de Fe, Zn e Mn foram verificadas para São Mateus e associados ao maior estresse oxidativo. Em compensação, Piraquê-Açu apresenta melhor desempenho fotoquímico, identificado por meio do PI_{Total} , e maior concentração de clorofila *a*.

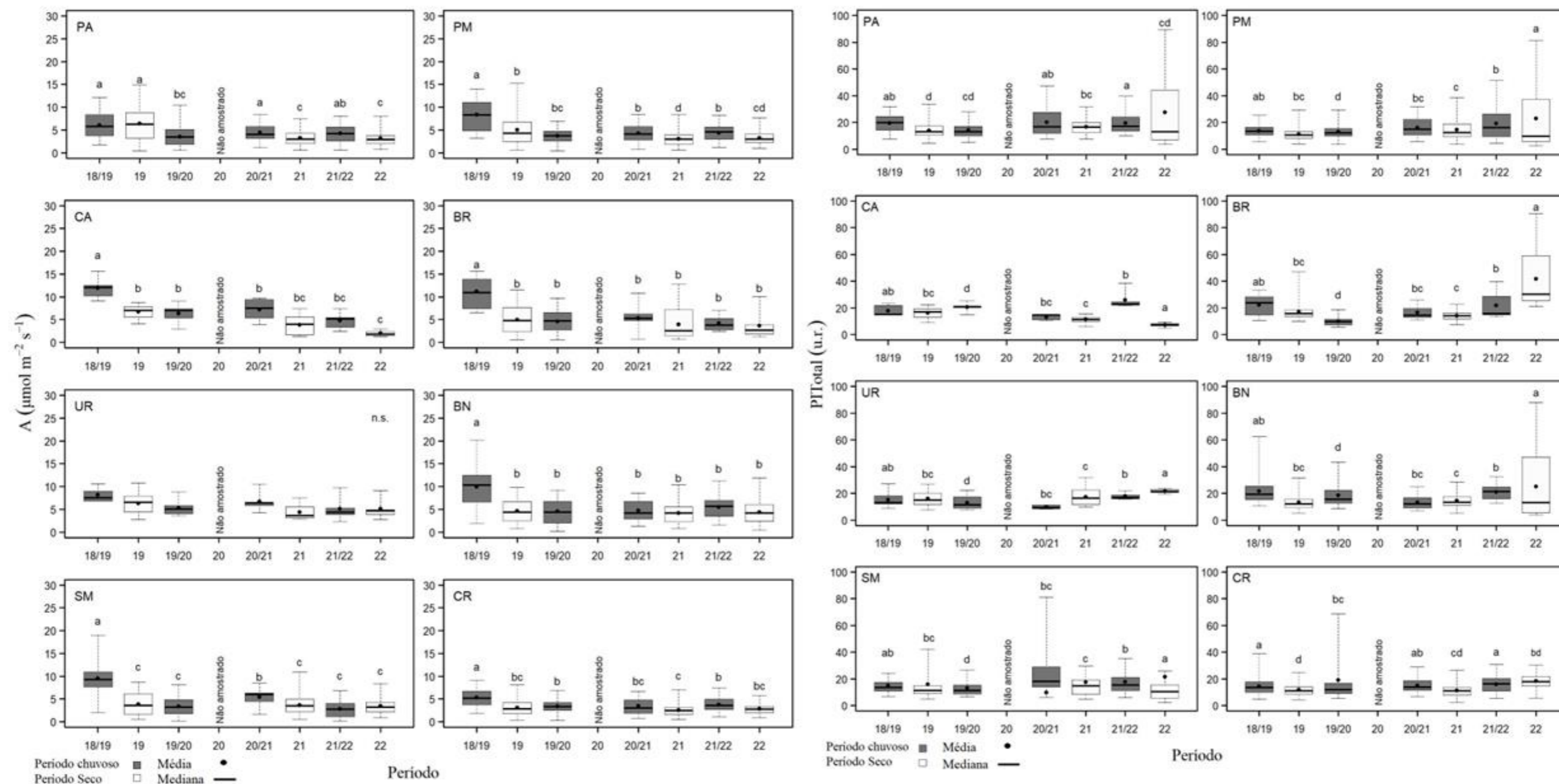
Figura 6: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Análise temporal de assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e de índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022.

Legenda: (A) Compartimento A - Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas; (B) Compartimento B – Barra do Riacho; (C) Compartimento C – Urussuquara, Barra Nova, São Mateus, Caravelas. Áreas de coletas abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia, dados foram coletados nos períodos de outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 – Ano 4. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



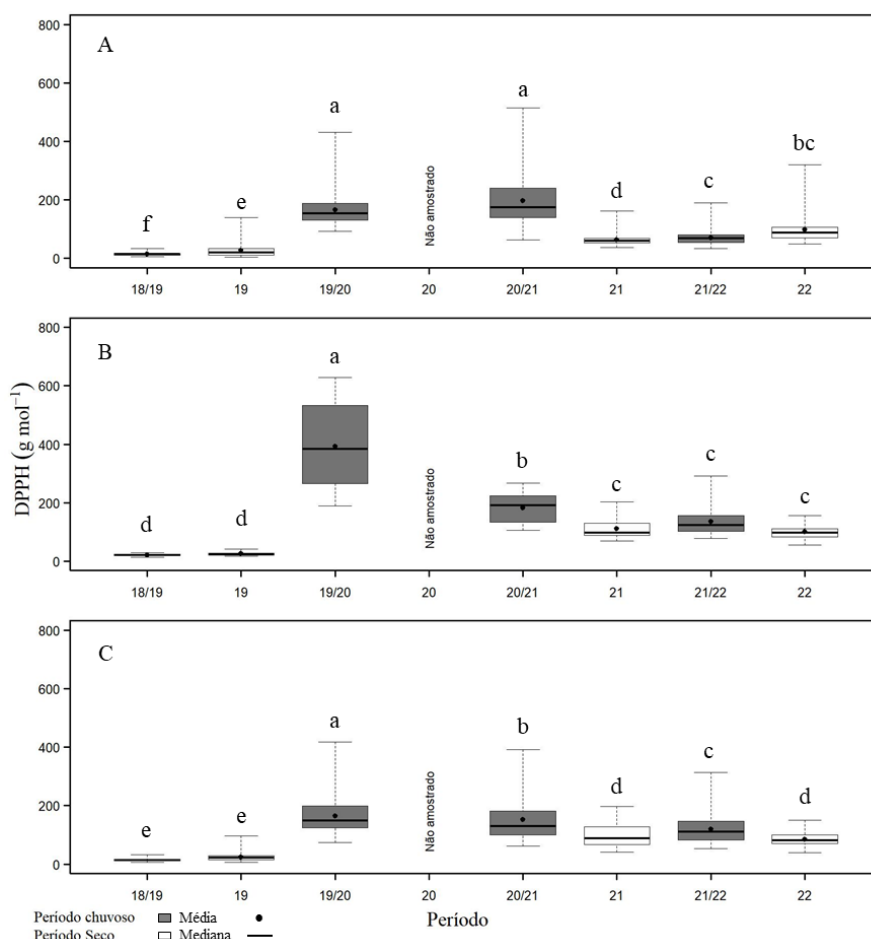
A análise temporal do parâmetro fotossintético assimilação de carbono (A), para a espécie *R. mangle*, foi realizada para cada compartimento (A, B e C) e apontou que ao longo do monitoramento houve redução da atividade fotossintética após primeiro período de medição (Chuvoso 2018_2019) nos três compartimentos. No compartimento A é observado a maior redução da atividade fotossintética nos dois últimos períodos secos (Seco_2021 e Seco_2022), e, no período chuvoso, menor assimilação de carbono ocorreu em Chuvoso 2019_2020 com uma leve recuperação nos períodos seguintes, porém não atingindo o maior valor do primeiro monitoramento (Chuvoso 2018_2019). Não foi observado tendência temporal (seco x chuvoso) nos compartimentos B e C, uma vez que ambos os compartimentos apresentaram redução ao longo de todo o monitoramento. A análise temporal do índice de conservação de energia (PI_{Total}) para a espécie *R. mangle* foi realizada para cada compartimento (A, B e C) e indica redução ao longo do monitoramento nos compartimentos A e B, a partir do período Chuvoso 2021_2022, no entanto, no compartimento B houve uma melhoria do índice de desempenho fotoquímico no último período avaliado (Seco_2022). Com relação ao compartimento C, o desempenho fotoquímico das plantas avaliadas manteve-se constante após redução no período Chuvoso 2018_2019. Contudo, podemos destacar uma possível melhoria da atividade fotoquímica nos períodos chuvosos, principalmente em Chuvoso 2021_2022 e menor desempenho fotoquímico nos períodos, principalmente no Seco_2019 com tendência de recuperação em Seco_2022.

Figura 7: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal de assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia, dados foram coletados nos períodos de outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 – Ano 4. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



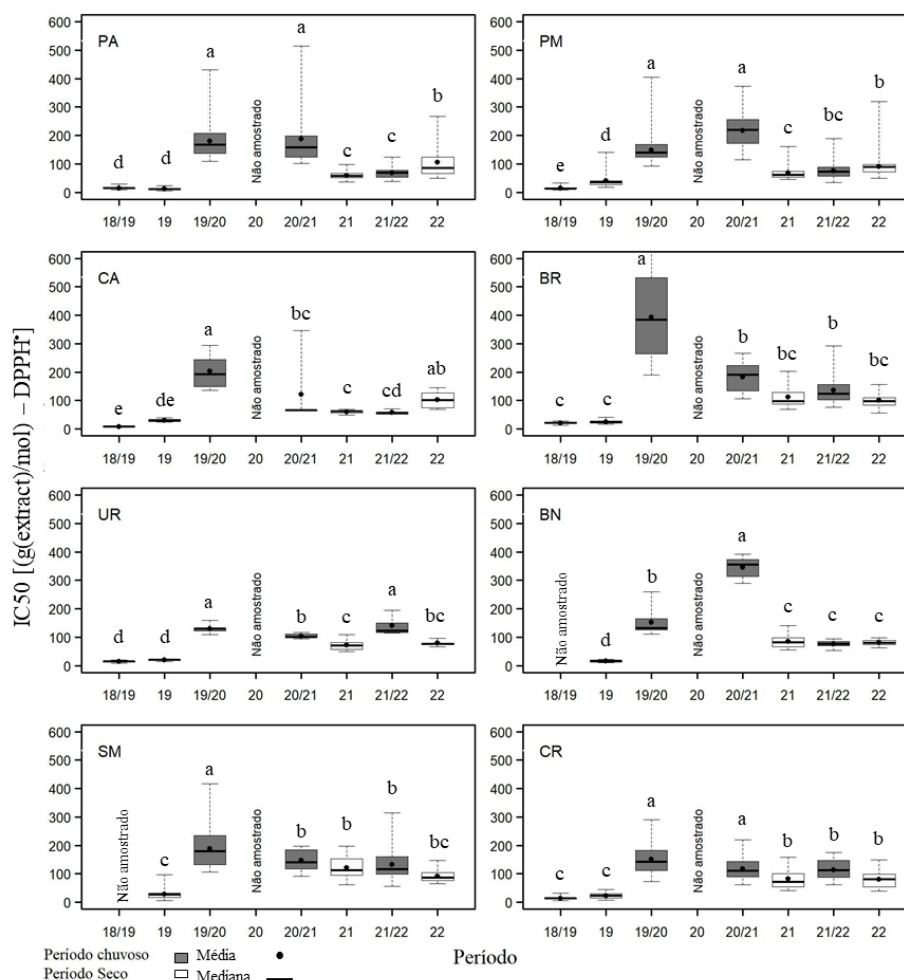
A assimilação de carbono em *R. mangle* manteve-se constante ao longo de todo monitoramento e redução foi observada após primeiro monitoramento (Chuvoso 2018_2019), exceto em Piraquê-Açu, onde foi observado recuperação da atividade fotossintética no período Chuvoso 2020_2021. Contudo, ainda não é possível averiguar se a recuperação observada no período chuvoso é uma tendência para a espécie no estuário. Além disso, no estuário de Piraquê-Açu é possível verificar uma tendência de redução da assimilação de carbono no período seco. Em Costa das Algas houve tendência de redução do desempenho fotossintético nos períodos secos. Em Barra Nova é observado tendência de recuperação do índice de desempenho fotoquímico em Chuvoso 2021_2022 e Seco 2022. O estuário do rio São Mateus teve menor desempenho fotoquímico em Seco 2022 e melhor desempenho em Chuvoso 2020_2021. Já as plantas de mangue monitoradas no estuário do rio Caravelas apresentaram valores constantes ao longo de quase todo o monitoramento, com tendência de recuperação de PI_{Total} a partir de Chuvoso 2020_2021.

Figura 8: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH' de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), Compartimento B (Barra do Riacho) e Compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



O estresse oxidativo em *R. mangle*, avaliado como DPPH, mostrou maiores valores nos períodos Chuvoso 19_20 e chuvoso 20_21, nos compartimentos A, B e C. A redução desses valores nos demais períodos não conclui “ausência de estresse oxidativo”, uma vez que essa variável precisa ser analisada juntamente com as demais variáveis.

Figura 9: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH' de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e São Mateus, os maiores valores de DPPH de *R. mangle* foram observados nos períodos Chuvoso 19_20 e Chuvoso 20_21, com redução de valores nos demais períodos. No Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, houve aumento de DPPH no Seco_22. Em Costa das Algas, o período Chuvoso 19_20 apresentou maiores valores para DPPH, indicando um possível estresse oxidativo. Outros valores também altos foram encontrados nos períodos Chuvoso 20_21 e Seco_22. Ao contrário, em Barra do Riacho e Barra Nova, somente o período Chuvoso 19_20 e Chuvoso 20_21, respectivamente, apresentaram valores altos de DPPH. Já em Urussuquara e São Mateus, exceto nos períodos Chuvoso 18_19 e Seco_19, houve altos valores de DPPH. Em Caravelas, o maior valor de DPPH foi observado no período Chuvoso 21_22. Apesar desses resultados, deve-se considerar que valores altos ou baixos de DPPH requerem a interação com outras variáveis para se afirmar que a espécie está sob estresse oxidativo.

Figura 10: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila a (Chla) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), Compartimento B (Barra do Riacho) e Compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

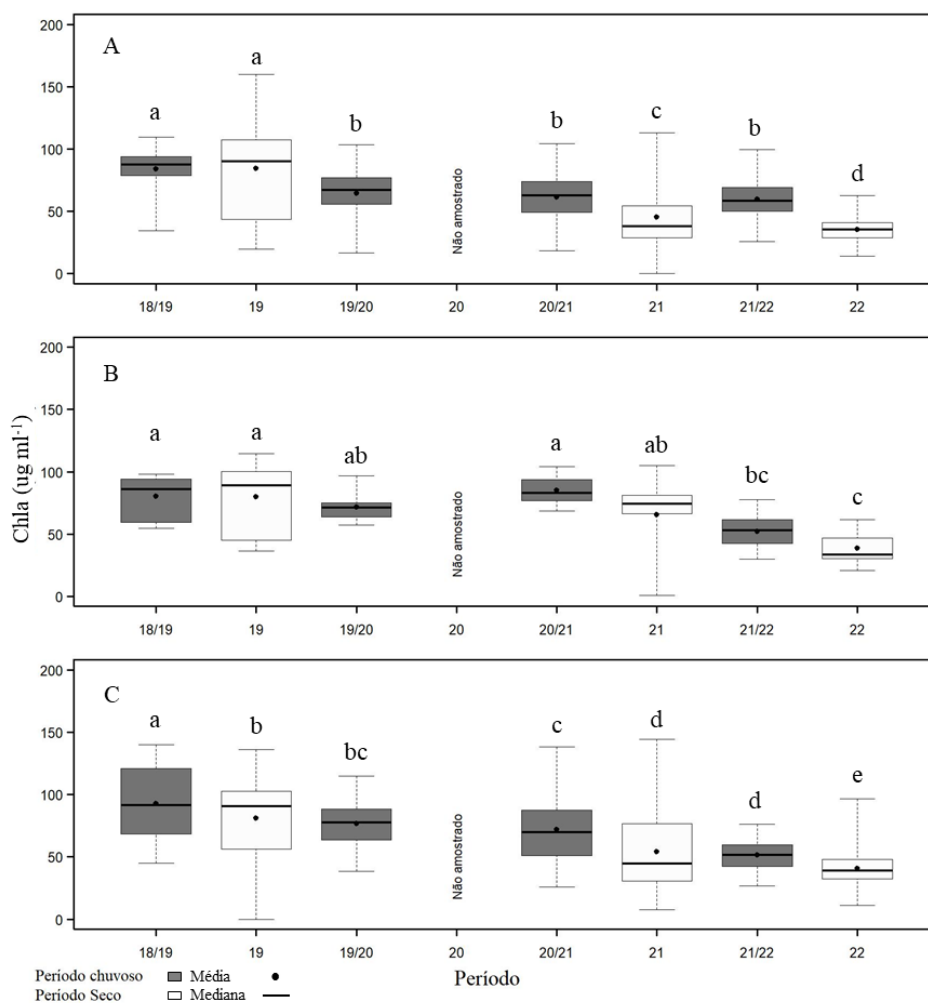


Figura 11: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila b (Chlb) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), Compartimento B (Barra do Riacho) e Compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

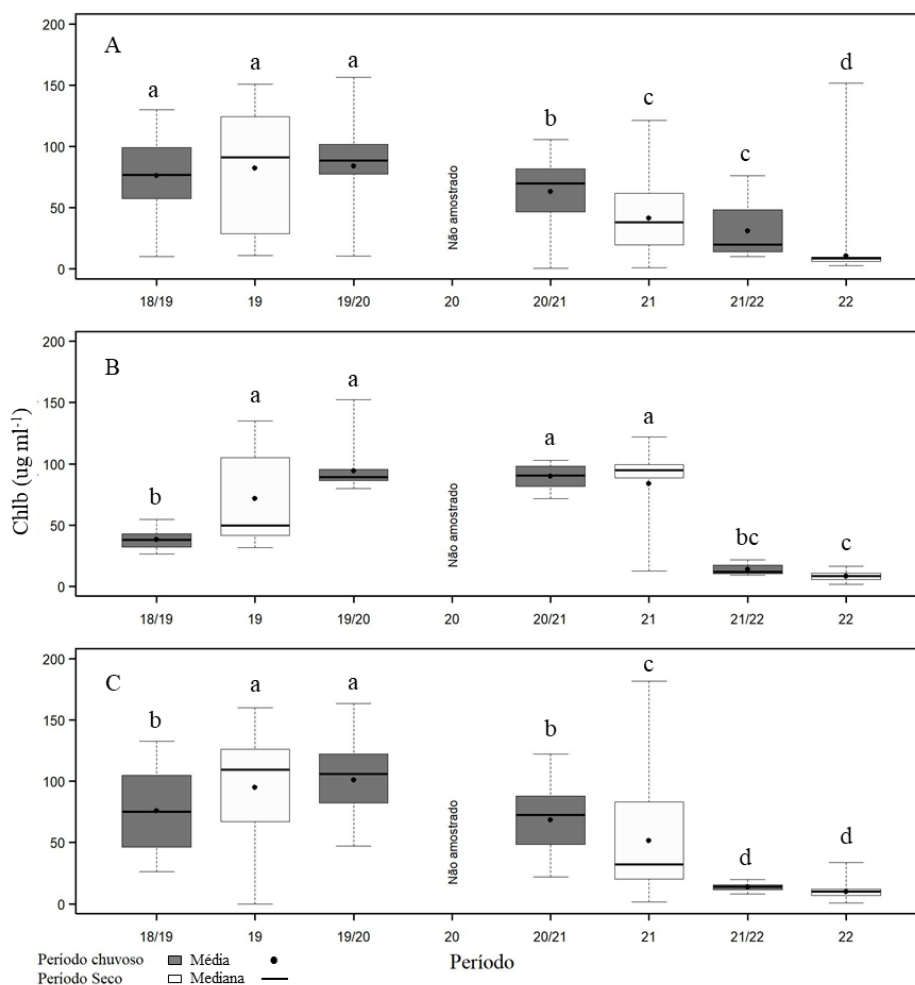
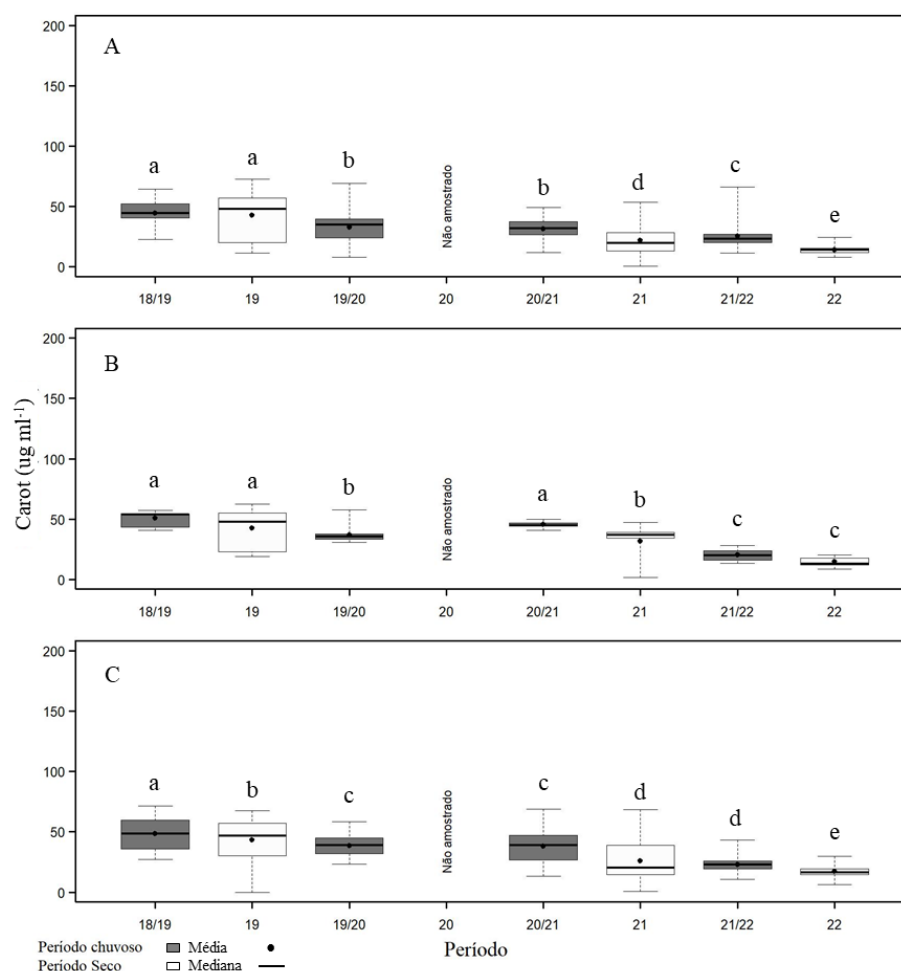


Figura 12: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de carotenoide (Carot) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) – Ano 4, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), Compartimento B (Barra do Riacho) e Compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Os resultados de pigmentos fotossintetizantes de *R. mangle* revelam que houve redução na concentração de clorofila-a a partir do período Chuvoso 19_20 nos compartimentos A e C. No compartimento B, houve tendência à manutenção de valores do pigmento, exceto no período Seco_22 (Figura 10). Para clorofila-b, houve redução na concentração do pigmento a partir do período Chuvoso 20_21, nos compartimentos A e C. No compartimento B, houve manutenção nos valores de clorofila-b até o período Seco_21, com grande redução nos períodos Chuvoso 21_22 e Seco_22 (Figura 11). A concentração de carotenoide variou em todos os compartimentos. No compartimento A e B houve redução do pigmento acessório a partir do período Chuvoso 19_20, com discreto aumento no período Chuvoso 20_21 (compartimento B). No compartimento C, observou-se redução do pigmento a partir do período Seco_19 (Figura 12).

Figura 13: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila a (Chla) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

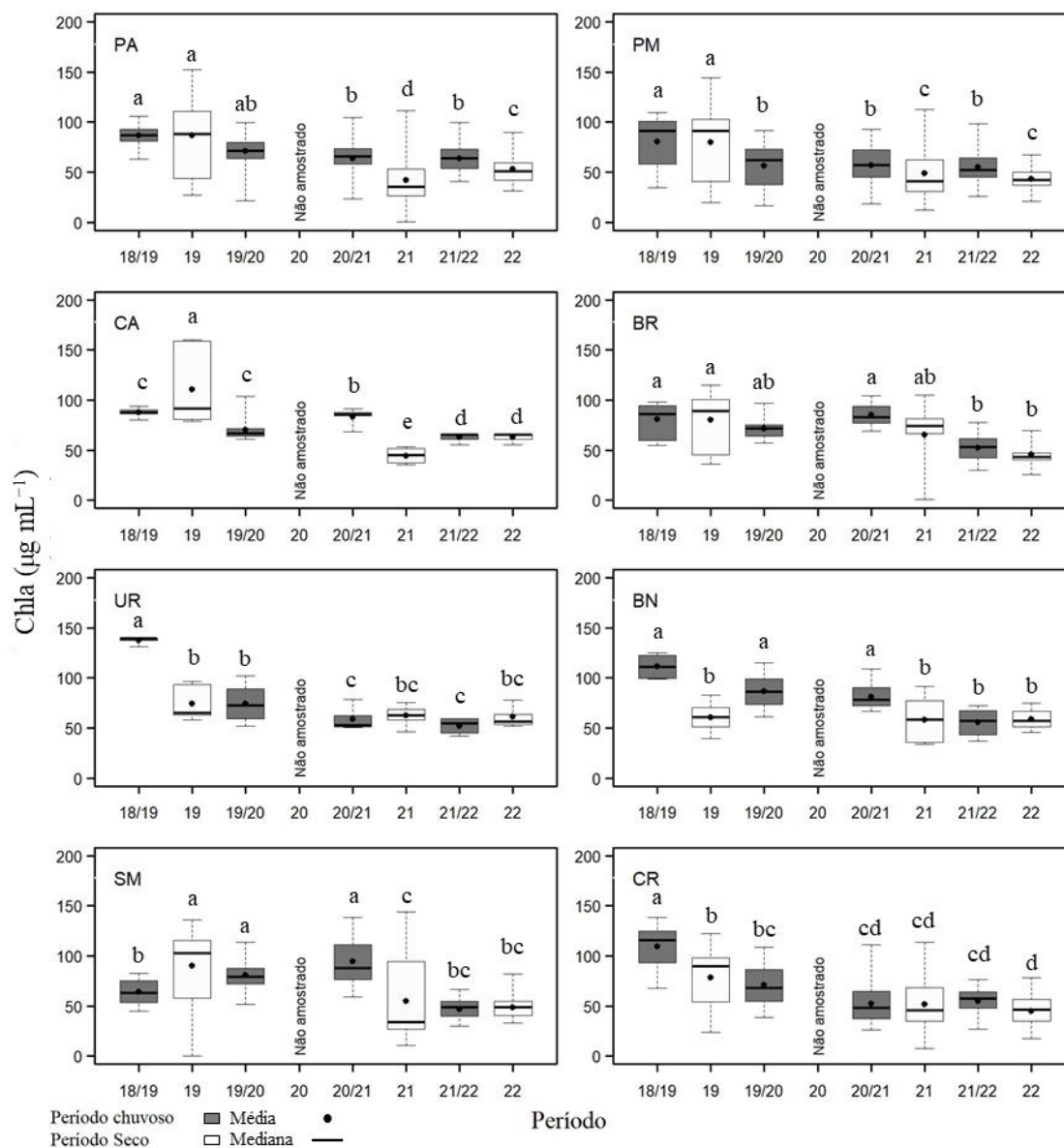


Figura 14: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila b (Chlb) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

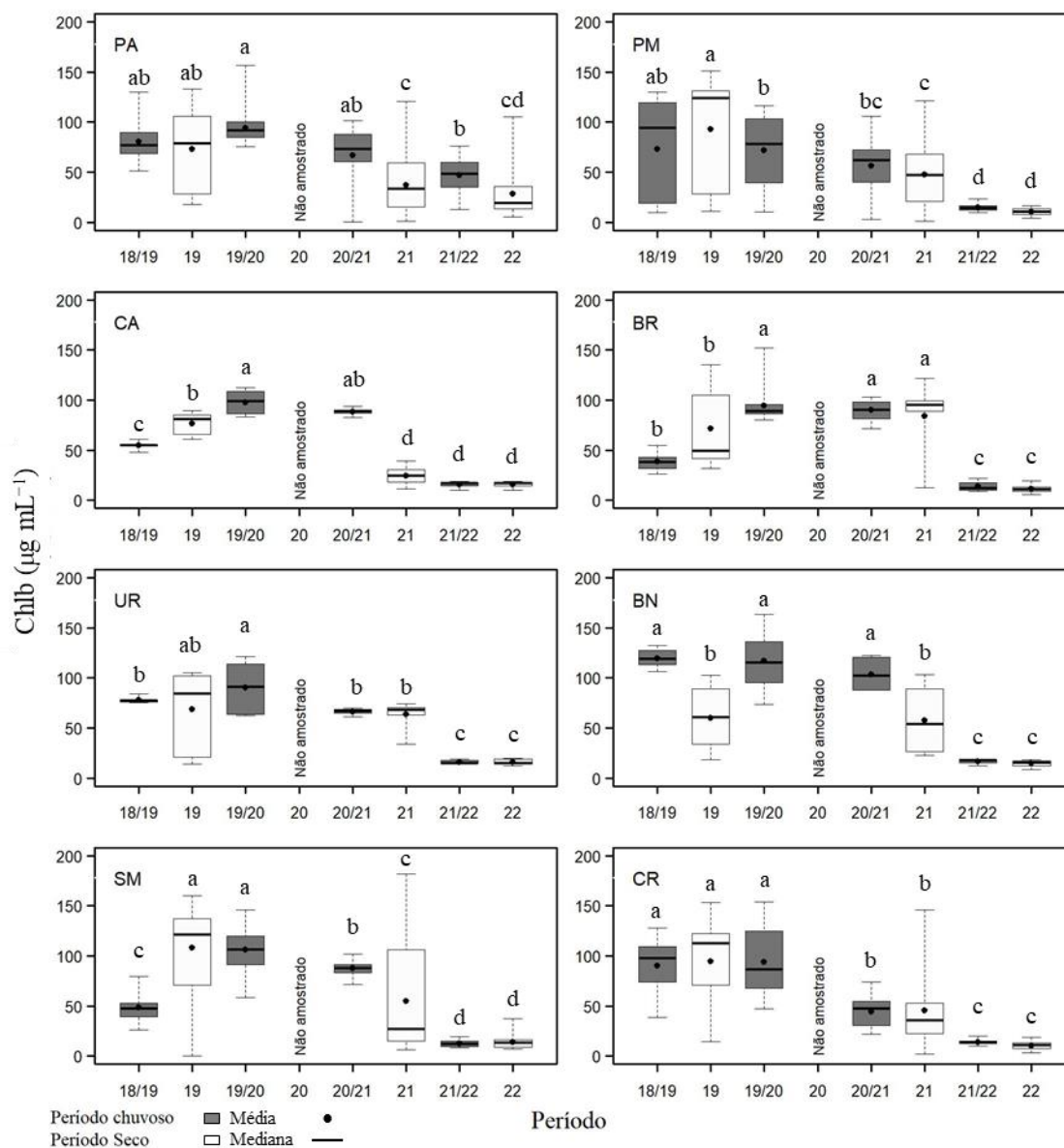
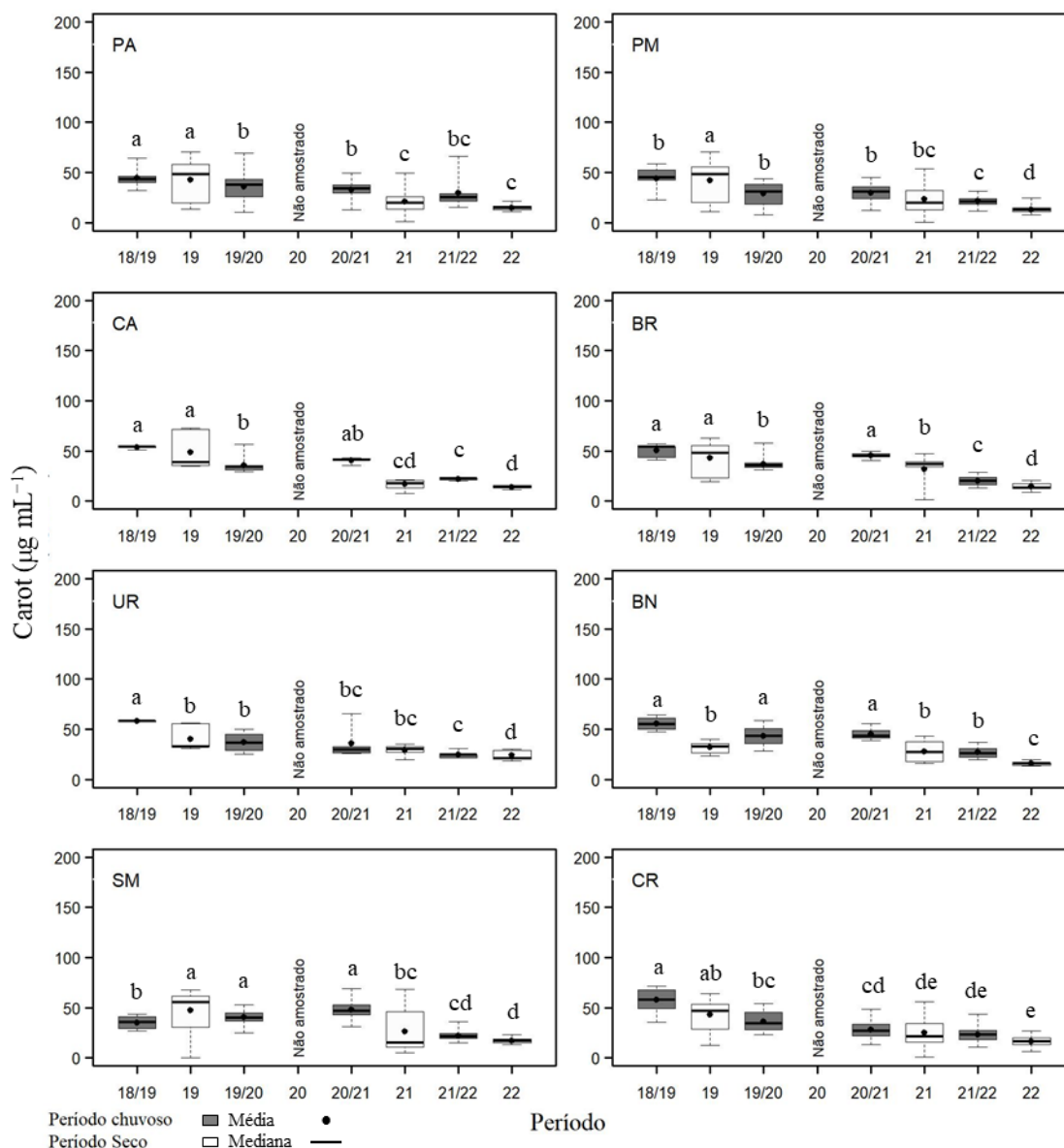
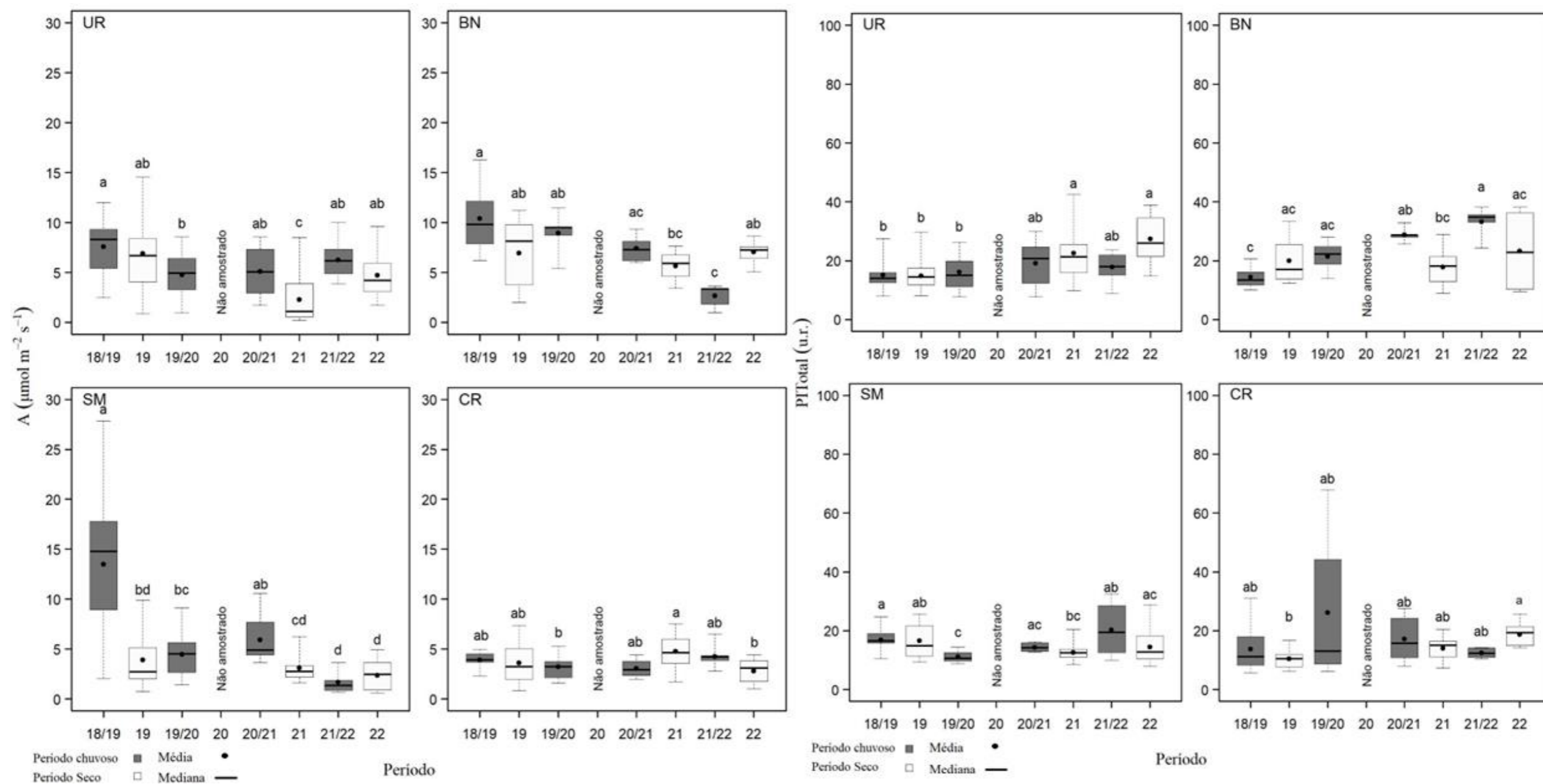


Figura 15: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de carotenoide (Carot) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



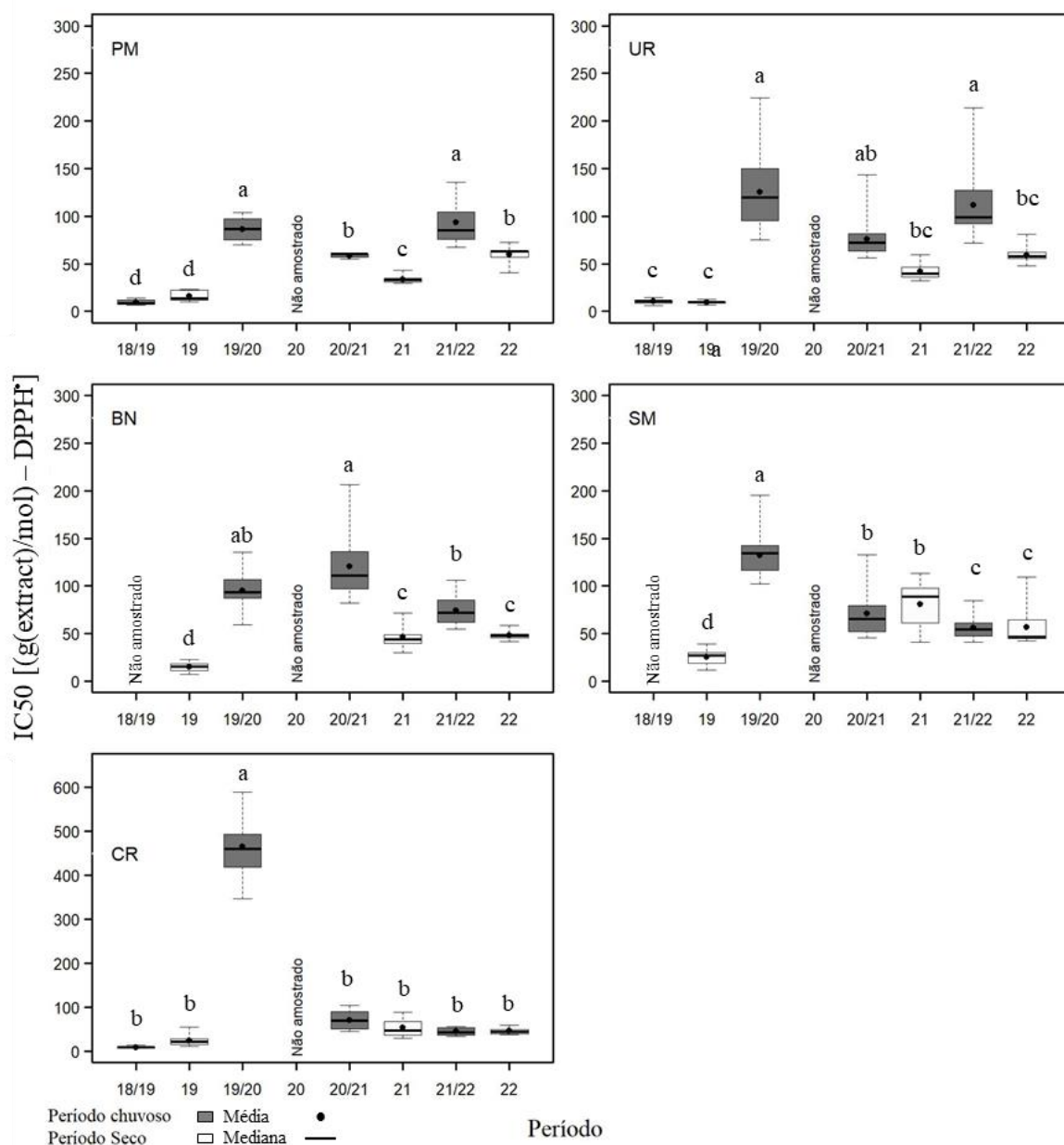
Considerando a espécie *R. mangle*, houve redução na concentração de clorofila-a, clorofila-b e carotenoide no período Seco_22 em todos os estuários (Figura 13, Figura 14 e Figura 15, respectivamente). Percebe-se que essa diminuição na síntese dos pigmentos é gradativa, principalmente para clorofila-b e carotenoide e pode estar associada às maiores concentrações de Cu e Zn foliar observadas para este período como também ao fator de bioacumulação (FBA) para Mn, classificado entre média e alta bioacumulação em todos os estuários.

Figura 16: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal de assimilação de carbono (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia, dados foram coletados nos períodos de outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 – Ano 4. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



A partir dos resultados da assimilação de carbono (A) na espécie *L. racemosa* é possível verificar tendência de redução da atividade fotossintética ao longo de todo o monitoramento em São Mateus, principalmente no período seco, contudo foi observado um breve aumento de A no período Chuvoso 2020_2021, mas que não refletiu nos períodos seguintes. No estuário de Barra Nova a redução da assimilação de carbono também foi observada ao longo do monitoramento, principalmente no período chuvoso, uma vez que no período seco na coleta Seco_2022 houve um aumento de A podendo vir a ser uma tendência de recuperação nesse período. Em Urussuquara período Seco 2021. Indício da manutenção da atividade fotossintética é observado em Urussuquara e Caravelas, uma vez que nesses estuários a assimilação de carbono mantém-se constante ao longo do monitoramento e reduções ocorrem de forma pontual, Seco_2021 em Urrusuquara e Seco_2022 em Caravelas. Porém, vale ressaltar que em Caravelas a assimilação de carbono manteve-se constante, mas baixa ao longo de todo o monitoramento. Avaliação da análise temporal do índice de conservação de energia em plantas de *L. racemosa* indica tendência de melhoria da conservação da energia (PI_{Total}) para as atividades fotoquímicas em Urussuquara e Caravelas no período seco, e, em São Mateus e Barra Nova, no período chuvoso. Em Caravelas também é observado tendência de redução da eficiência fotoquímica a partir do período Chuvoso 2021_2022

Figura 17: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH* de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Na atividade antirradicalar de *L. racemosa*, representada pelo DPPH, houve redução (Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova) ou manutenção (São Mateus e Caravelas) de valores no período Seco_22. Entretanto, para se afirmar que a planta está sob estresse oxidativo, deve-se considerar outras variáveis analisadas, como observado nas ACPs.

Figura 18: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila a (Chla) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

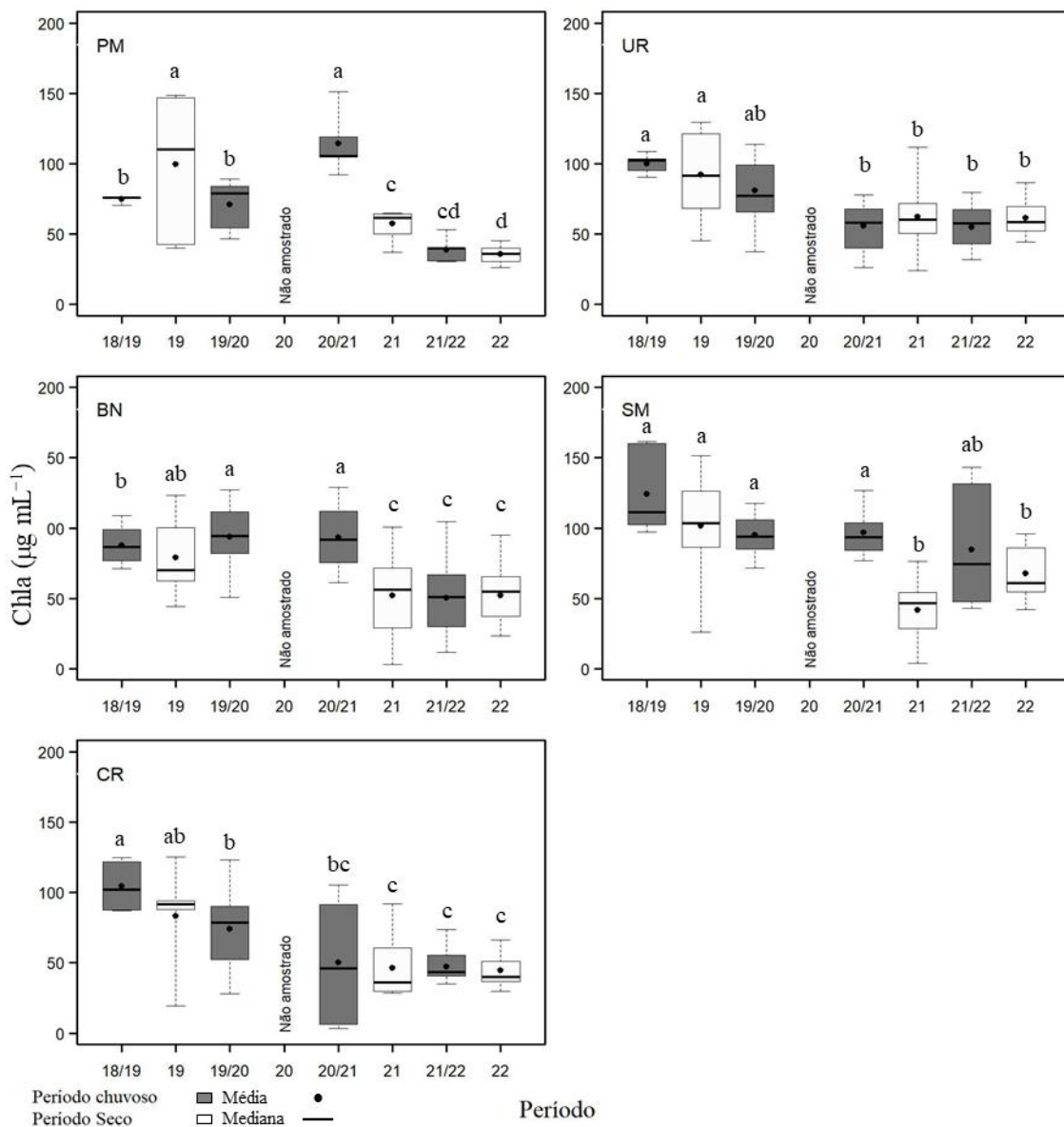


Figura 19: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila b (Chlb) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

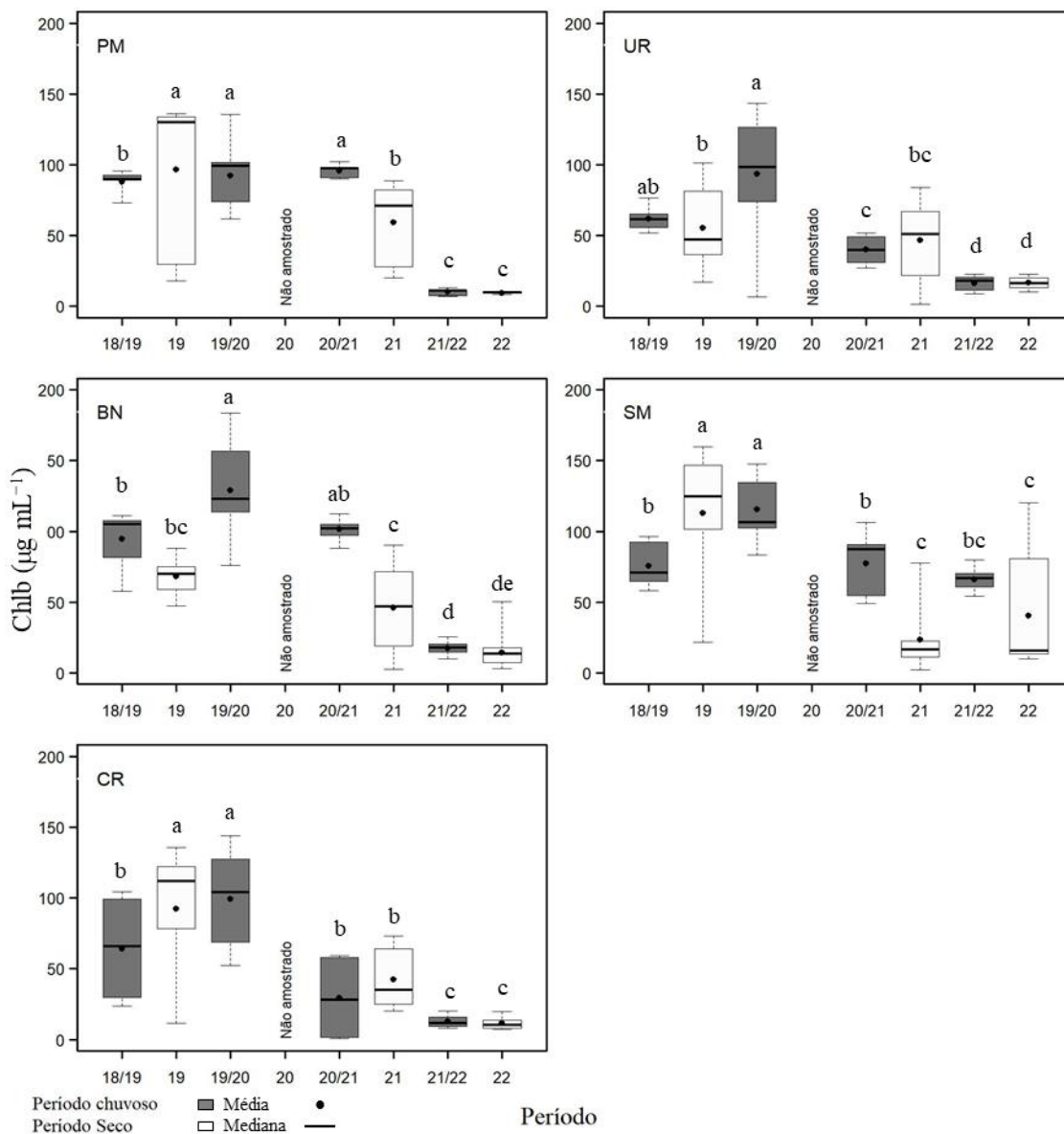
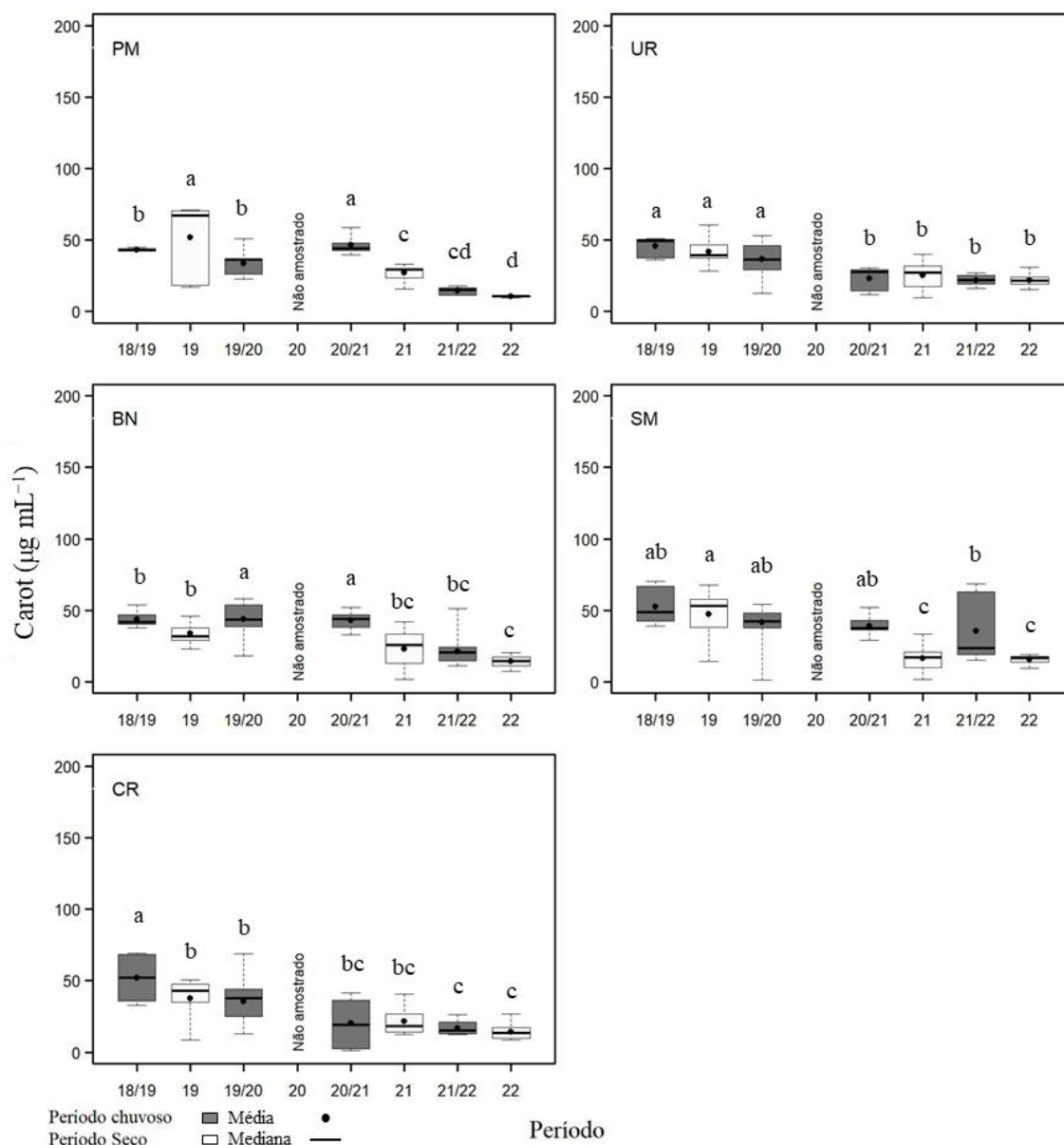
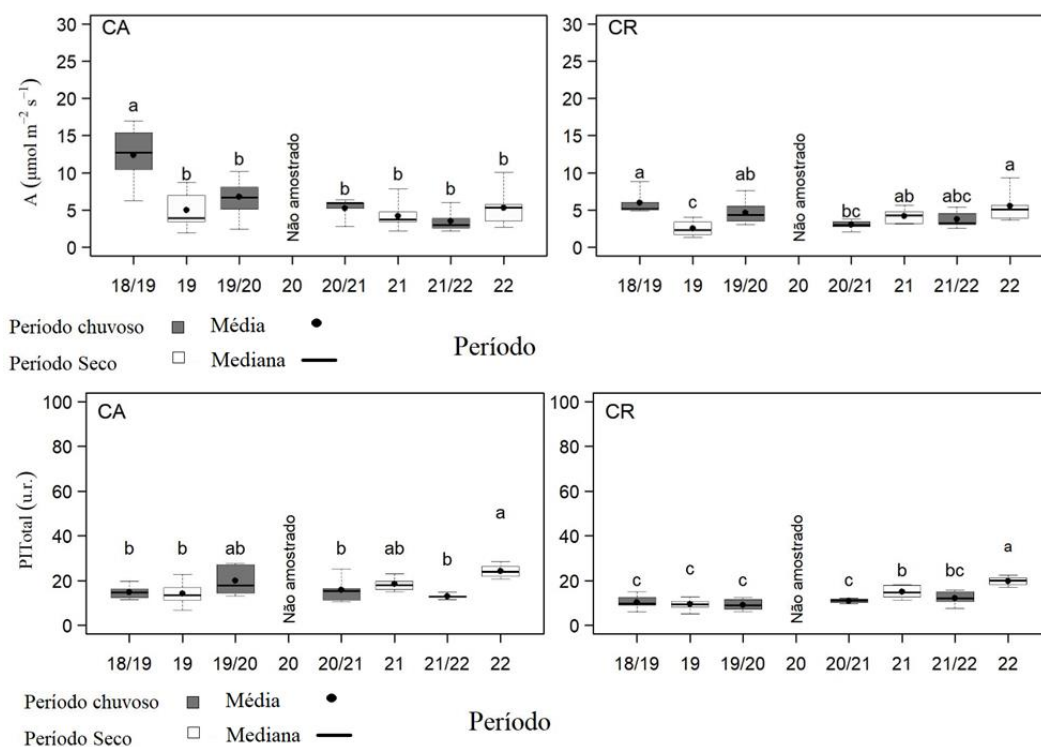


Figura 20: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de carotenoide (Carot) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



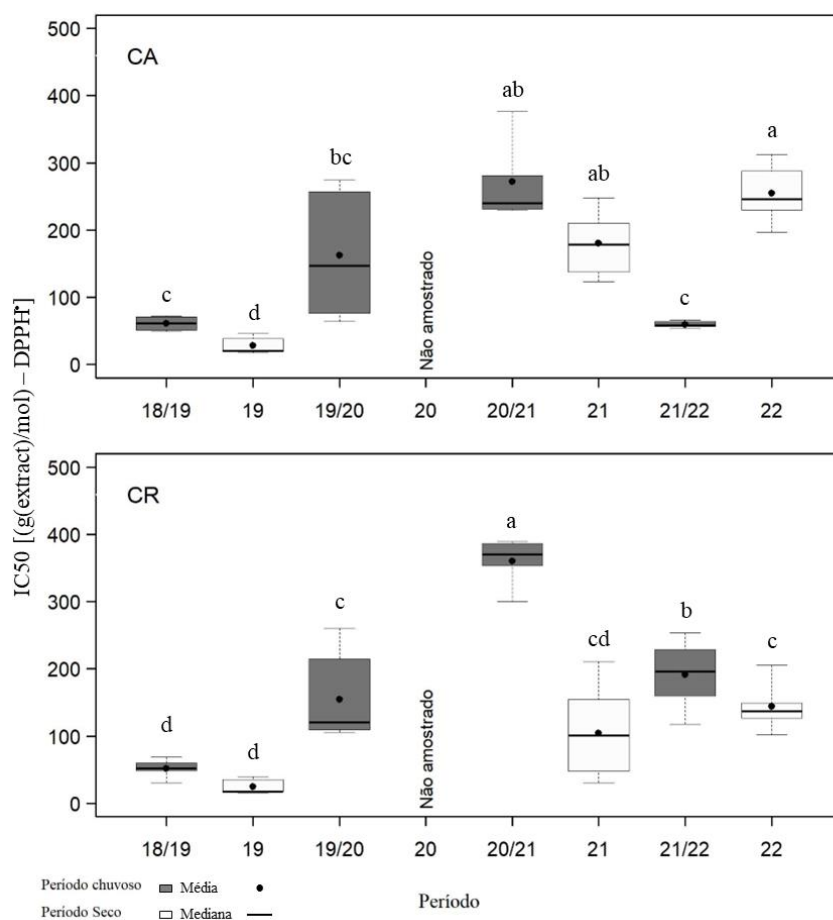
A concentração de clorofila-a de *L. racemosa* reduziu nos estuários do Piraquê-Mirim e São Mateus no período Seco_22 (Figura 18). Em Urussuquara, Barra Nova e Caravelas, menores valores do pigmento podem ser observados a partir do período Seco_21, com concentrações similares entre os períodos (Figura 72). Houve redução de clorofila-b e carotenoide também no período Seco_22 em comparação aos demais períodos (Figura 19 e Figura 20). Essas alterações na síntese dos pigmentos podem estar associadas aos maiores valores de Fe e Cu foliar presentes no período Seco_22 em todos os estuários com domínio de *L. racemosa*.

Figura 21: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal de assimilação de carbono ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) para a espécie *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022. Legenda: (CA)Costa das Algas; (CR)Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia, dados foram coletados nos períodos de outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 – Ano 4. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



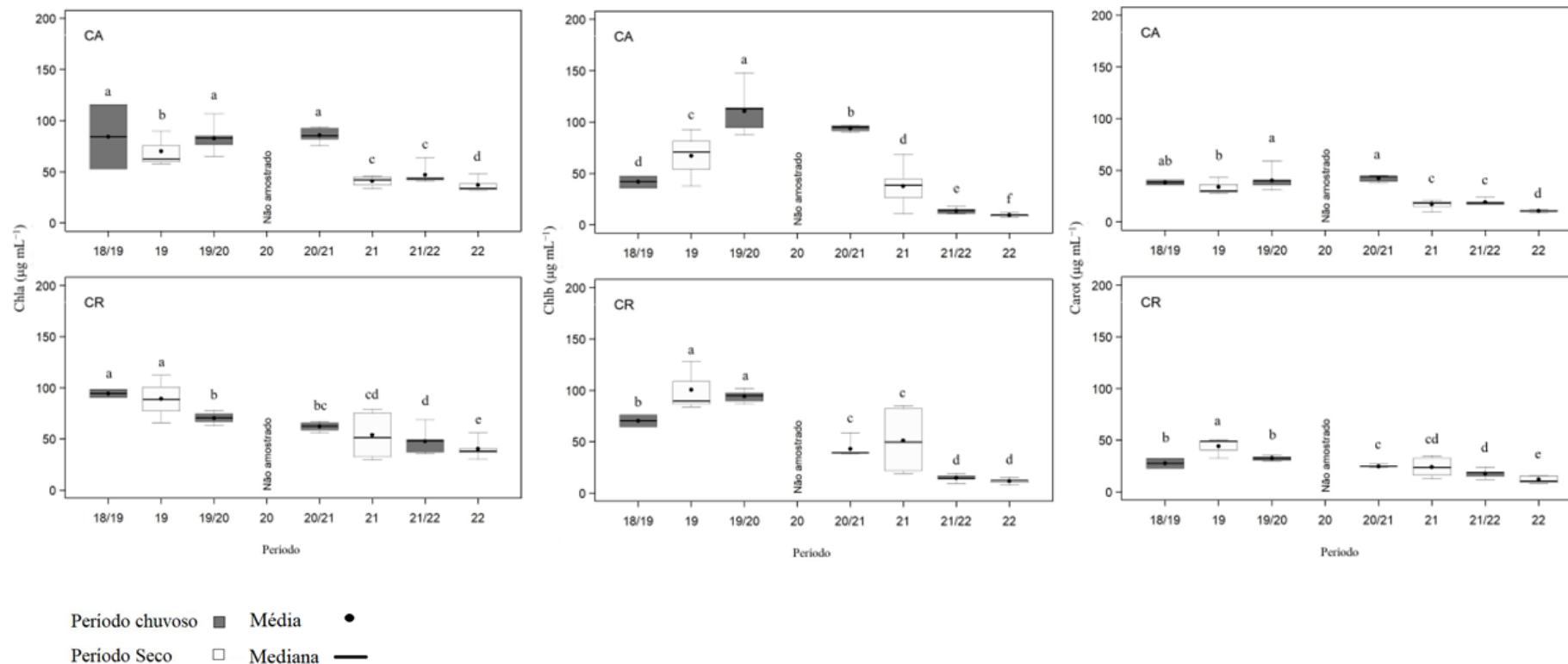
A avaliação temporal das plantas de *Avicennia schaueriana* na área da APA de Costa das Algas mostra redução da assimilação de carbono (A) ao longo de todo o monitoramento, e, no manguezal de Caravelas, é observado recuperação da atividade fotossintética no período seco a partir de Seco 2021. Além disso, no manguezal de Caravelas e Costa das Algas foi observado tendência de recuperação do índice de desempenho fotoquímico nos períodos secos. Contudo, em Costa das Algas início de melhoria do desempenho fotoquímico foi observado no período Chuvoso 2019_2020, porém não refletindo nos períodos chuvosos seguintes.

Figura 22: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH' de *Avicennia schaueriana* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários de Costa das Algas e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



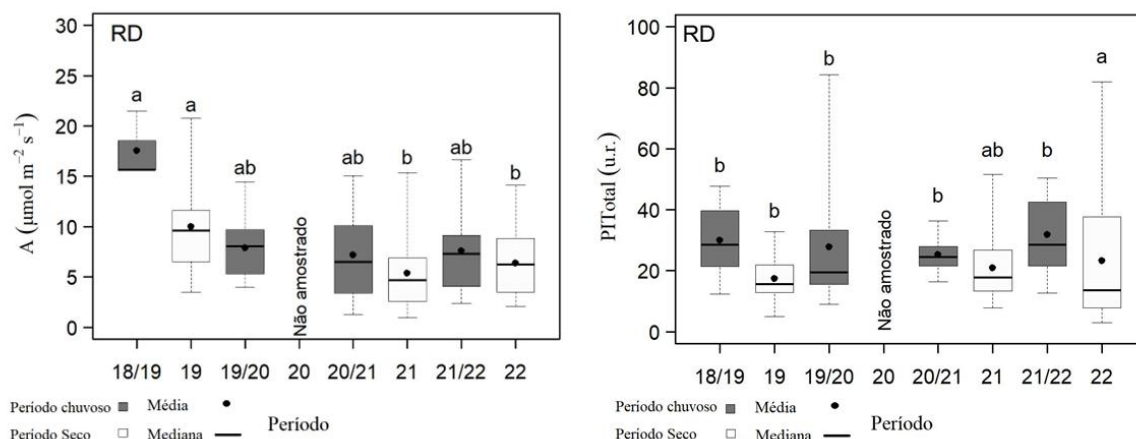
Houve aumento de DPPH de *A. schaueriana* em Costa das Algas no período Seco_22, com os maiores valores registrados em todo o monitoramento. Em Caravelas, houve redução de DPPH em relação ao período anterior (Chuvoso 21_22), mas seguindo a tendência dos demais períodos com valores reduzidos da variável, exceto no período Chuvoso 20_21. O aumento de DPPH pode estar relacionado ao acúmulo de Mn, Zn e Cu neste período.

Figura 23: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila a (Chla), Concentração de clorofila b (Chlb) e Concentração de carotenoide (Carot) de *Avicennia schaueriana* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários de Costa das Algas e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



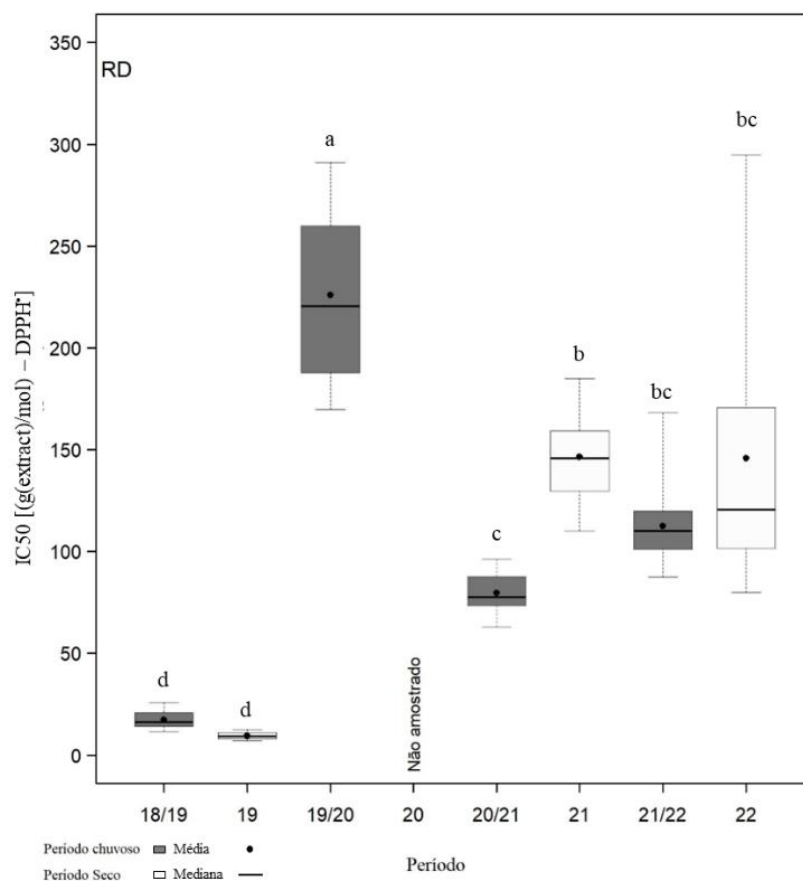
Para clorofila-a, clorofila-b e carotenoide da espécie *A. schaueriana*, observou-se uma tendência de queda/redução na concentração dos pigmentos a partir do período Chuvoso 20_21, em Costa das Algas e Caravelas, corroborando os resultados do estresse oxidativo e dos maiores valores de Fe, Mn, Zn e Cu foliar neste período.

Figura 24: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal de assimilação de carbono ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) para a espécie *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022. Legenda: (RD) Rio Doce. Áreas de coletas abrangem a foz do Rio Doce no norte do Espírito Santo, dados foram coletados nos períodos de outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 – Ano 4. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



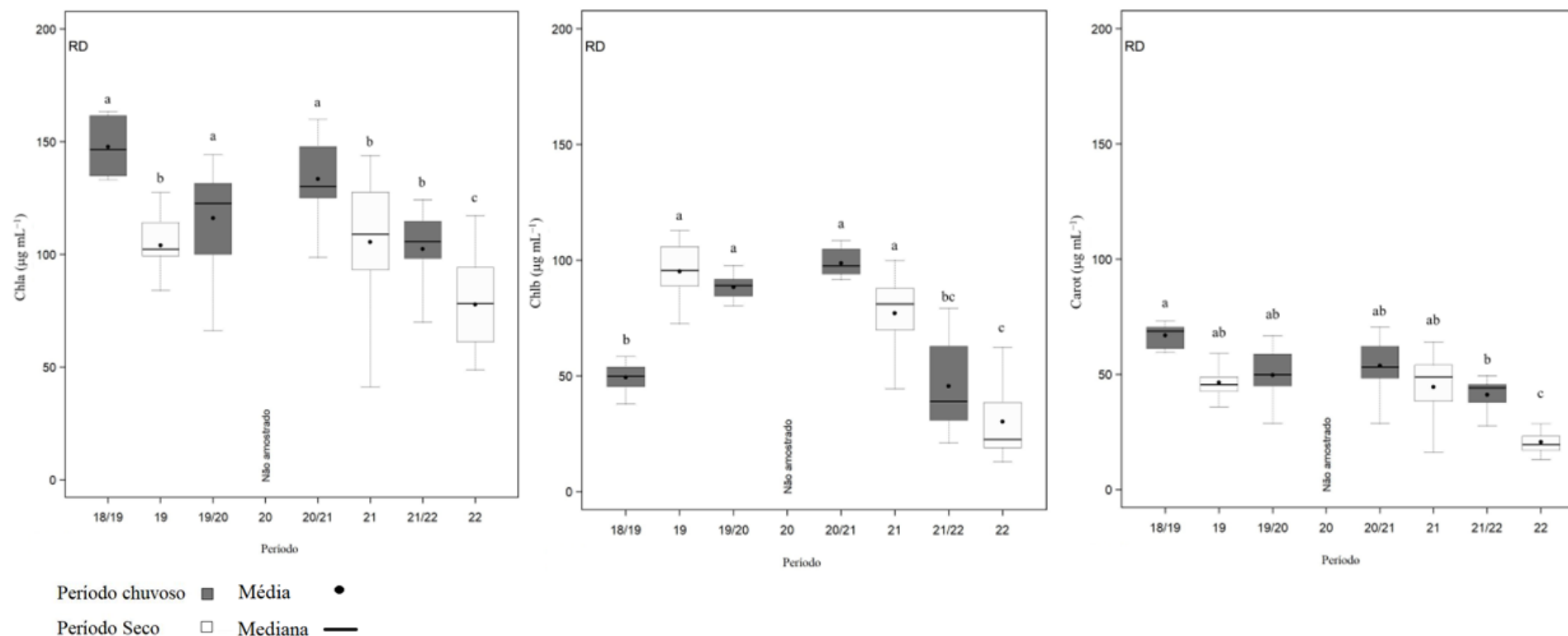
A avaliação dos dados da análise temporal indica que a assimilação de carbono de *Talipariti pernambucense* manteve tendência de redução ao longo de todo monitoramento a partir do Chuvoso 2019_2020, uma vez que os menores valores de assimilação foram registrados em Seco 2021 e Seco 2022, mantendo o padrão observado nos relatórios anteriores. No período chuvoso, após o primeiro monitoramento (Chuvoso 2018_2019), que apresentou melhor resultado de assimilação, não houve variação dessa atividade. Melhoria no índice de conservação de energia (PI_{Total}) foi observada no período seco, que registrou o maior valor de PI_{Total} em Seco 2022, mantendo, mais uma vez, tendência dos relatórios anteriores. Redução da eficiência fotoquímica foi observada nos períodos chuvosos, exceção é o breve aumento de PI_{Total} em Chuvoso 2020_2021.

Figura 25: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH[•] de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, no estuário do Rio Doce. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Em relação ao estresse oxidativo de *T. pernambucense*, houve manutenção de DPPH, com valores similares entre os períodos Chuvoso 20_21, Seco_21, Chuvoso 21_22 e Seco_22. O maior valor de DPPH foi encontrado no período Chuvoso 19_20.

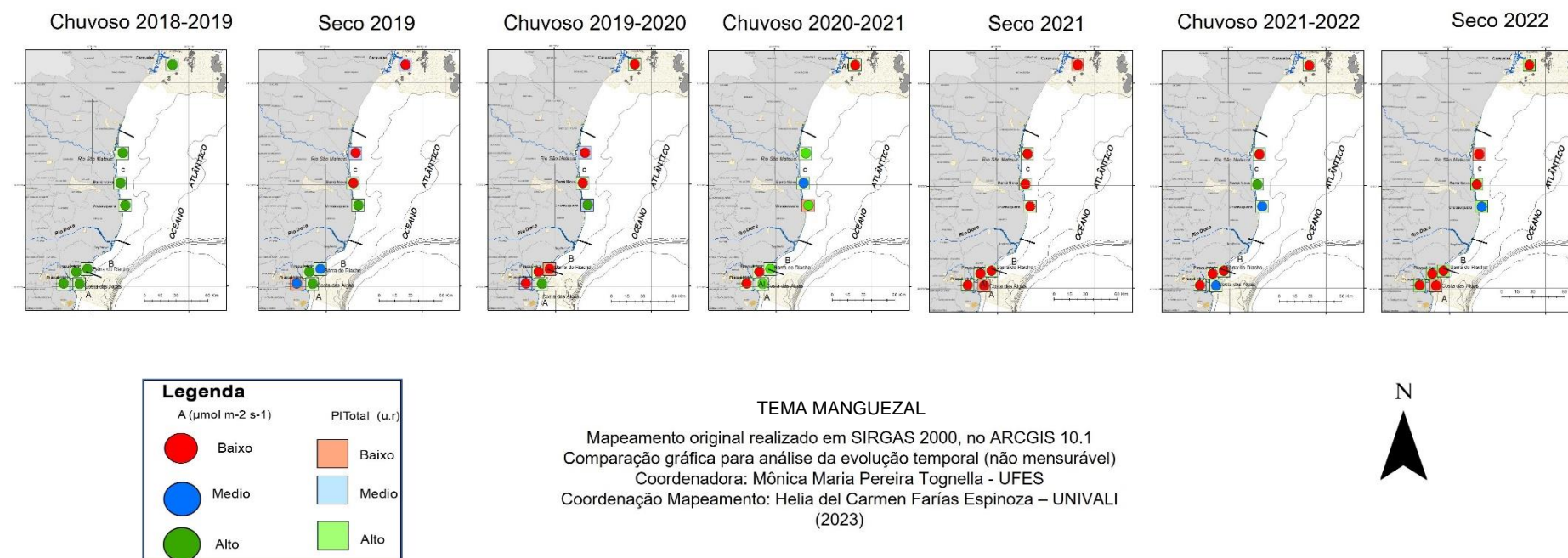
Figura 26: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila a (Chla), clorofila b (Chlb) e carotenoide (Carot) de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, , no estuário do Rio Doce. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Observa-se que nas plantas de *T. pernambucense* houve queda na concentração das clorofilas a e b a partir do período seco 21, atingindo os menores valores de todo o monitoramento no período seco 22. O mesmo ocorre para carotenoide no último período avaliado, apesar da manutenção do pigmento nos demais períodos anteriores. A alteração na síntese das clorofilas pode estar associada ao aumento nas concentrações de Fe, Mn e Cu, especialmente no período Seco_22.

Figura 27: Indicador Ecológico Flora – *Rhizophora mangle*. Mapeamento temático da assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus, Caravelas. Valores abaixo ou acima da média são classificados como Baixo ou Alto, respectivamente. O valor Médio foi calculado utilizando a média de todo o monitoramento para o respectivo parâmetro, juntamente com o erro padrão dos dados.

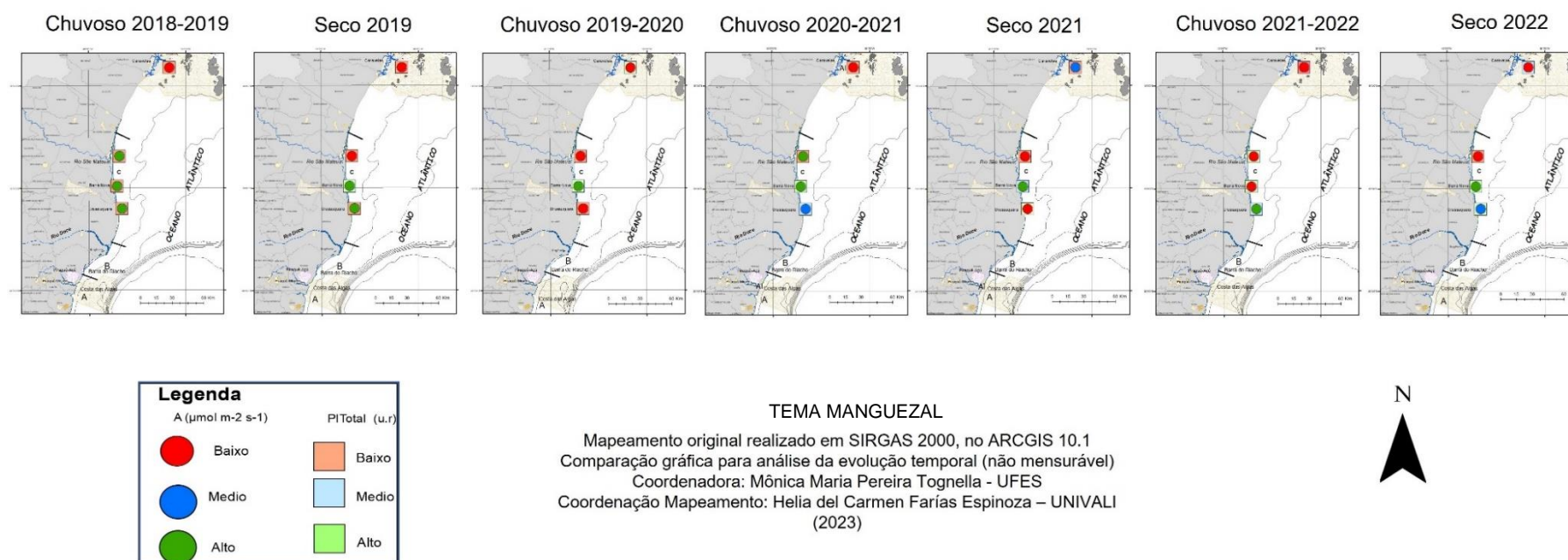
Assimilação e PI total para *Rhizophora*



Os dados apontam tendência de baixo valor médio de assimilação de carbono no período seco, principalmente em seco 2021 onde todas as estações apresentaram baixa eficiência fotossintética.

Figura 28: Indicador Ecológico Flora – *Laguncularia racemosa*. Mapeamento temático da assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus, Caravelas). Valores abaixo ou acima da média são classificados como Baixo ou Alto, respectivamente. O valor Médio foi calculado utilizando a média de todo o monitoramento para o respectivo parâmetro, juntamente com o erro padrão dos dados

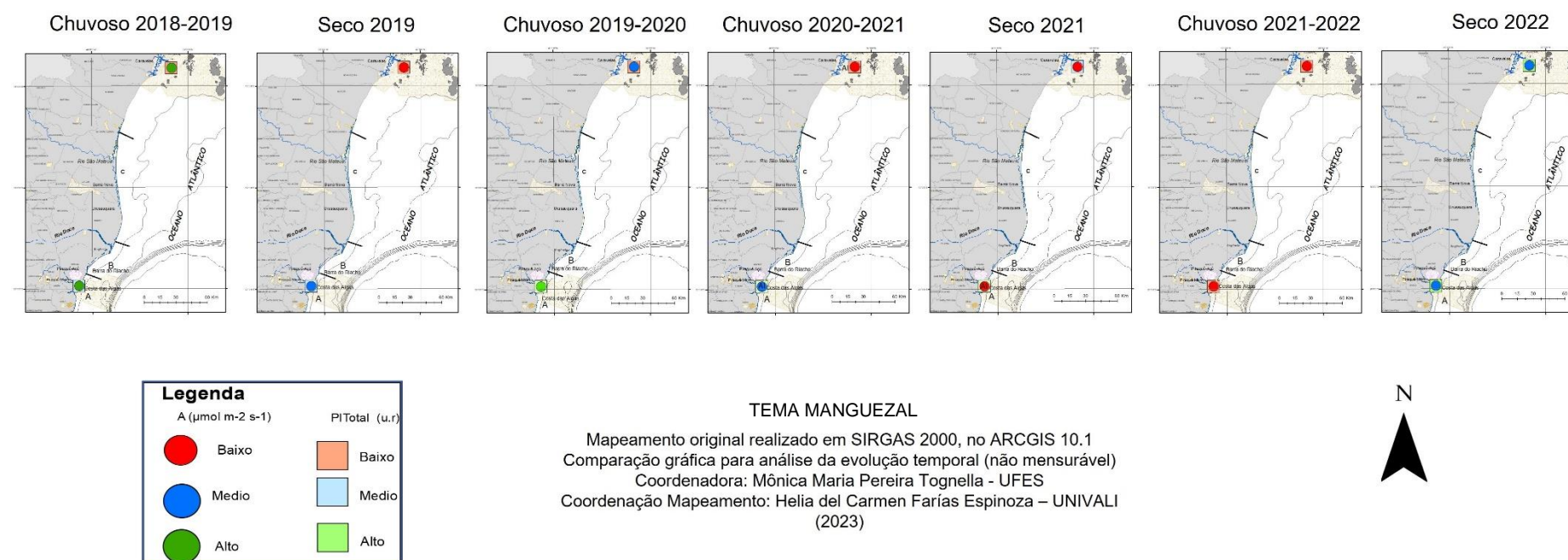
Assimilação e PI total para Lagunculária



Valores médios de A e PI_{Total} foram mais baixos ao longo do monitoramento em Caravelas, quando comparado com Barra Nova e São Mateus. Barra Nova mante-se com os maiores valores médios ao longo do monitoramento, exceto em Chuvoso 2021_2022 para assimilação e chuvoso 2018_2019 para PI_{Total} . Já em São Mateus o período Chuvoso 2019_2020 apresentou baixo valor médio de A e PI_{Total} , sendo a eficiência fotossintética menor nesse período.

Figura 29: Indicador Ecológico Flora – *Avicennia schaueriana*. Mapeamento temático da assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia (Costa das Algas e Caravelas). Valores abaixo ou acima da média são classificados como Baixo ou Alto, respectivamente. O valor Médio foi calculado utilizando a média de todo o monitoramento para o respectivo parâmetro, juntamente com o erro padrão dos dados.

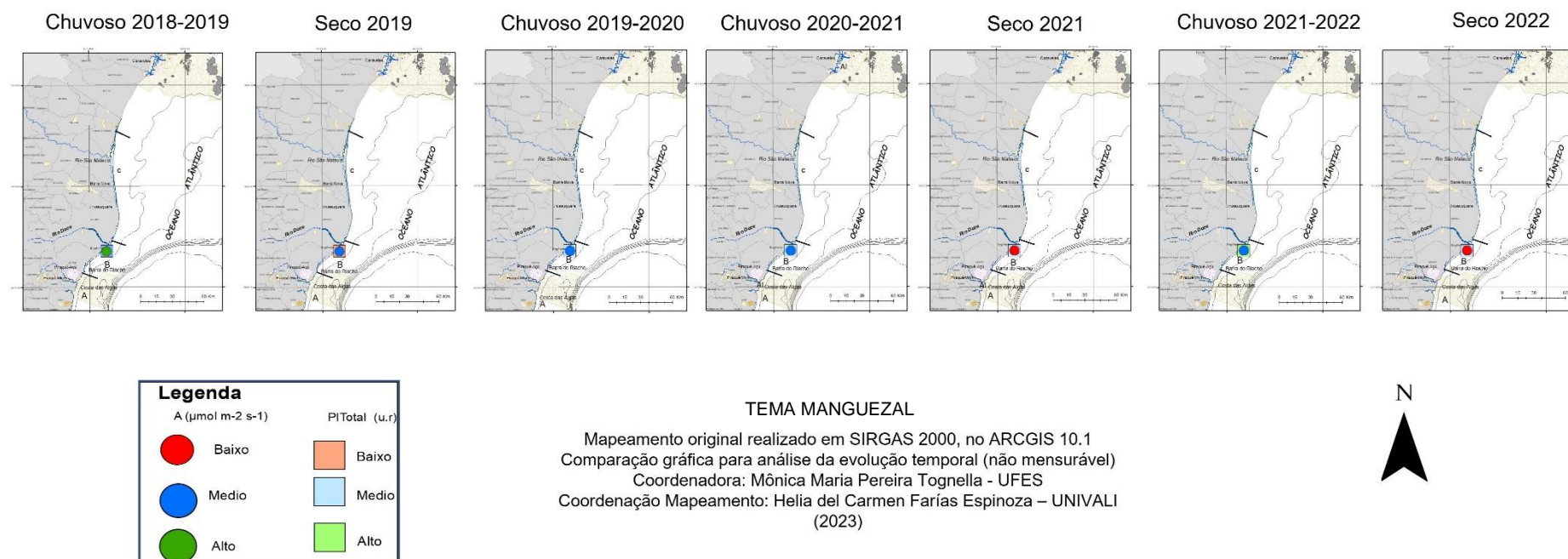
Assimilação e PI total para Avicennia



A avaliação dos valores médios aponta menores valores médios de A e PI_{TOTAL} em Caravelas, comparada a Costa das Algas, independente do período seco ou chuvoso.

Figura 30: Indicador Ecológico Flora – *Talipariti pernambucense*. Mapeamento temático da assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce. Valores abaixo ou acima da média são classificados como Baixo ou Alto, respectivamente. O valor Médio foi calculado utilizando a média de todo o monitoramento para o respectivo parâmetro, juntamente com o erro padrão dos dados.

Assimilação e PI total para Talipariti



Na foz do Rio Doce, plantas de *T. pernambucense* mostram menor valor médio de assimilação de carbono nos dois últimos períodos secos avaliados (Seco 2021 e Seco 2022).

3.2 BIORREMEDIAÇÃO

Figura 31: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Fe *Rhizophora* (0-5 cm)

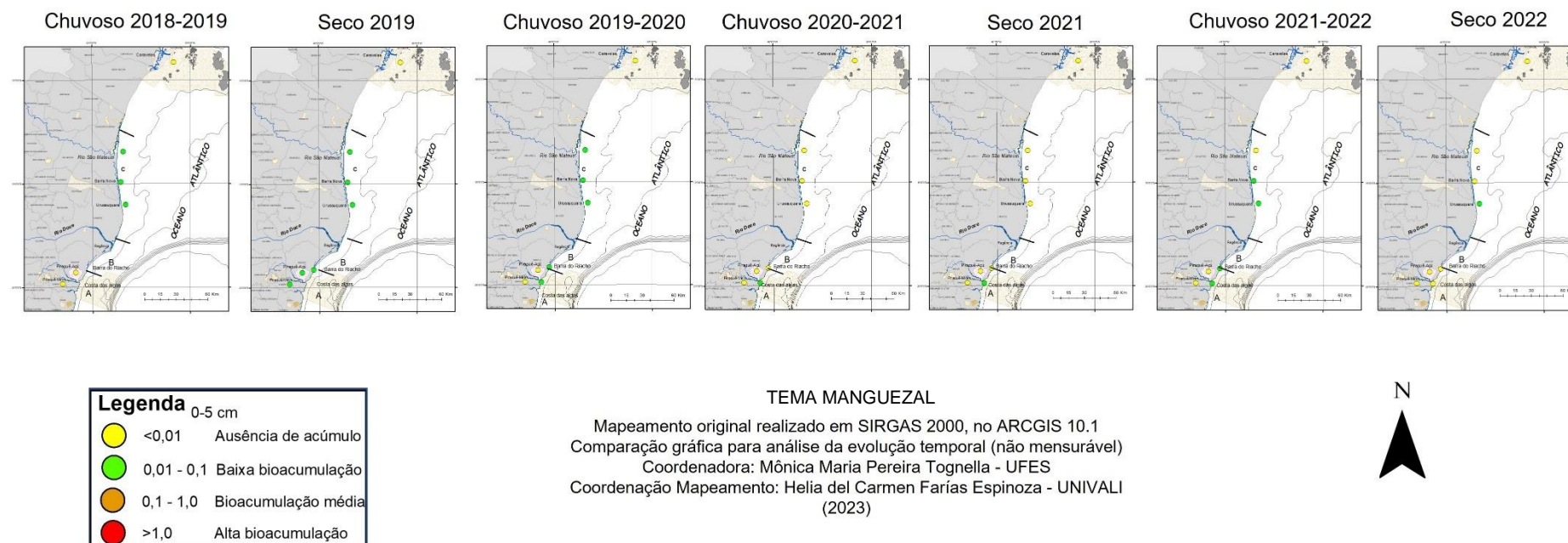


Figura 32: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Fe *Rhizophora* (5-15 cm)

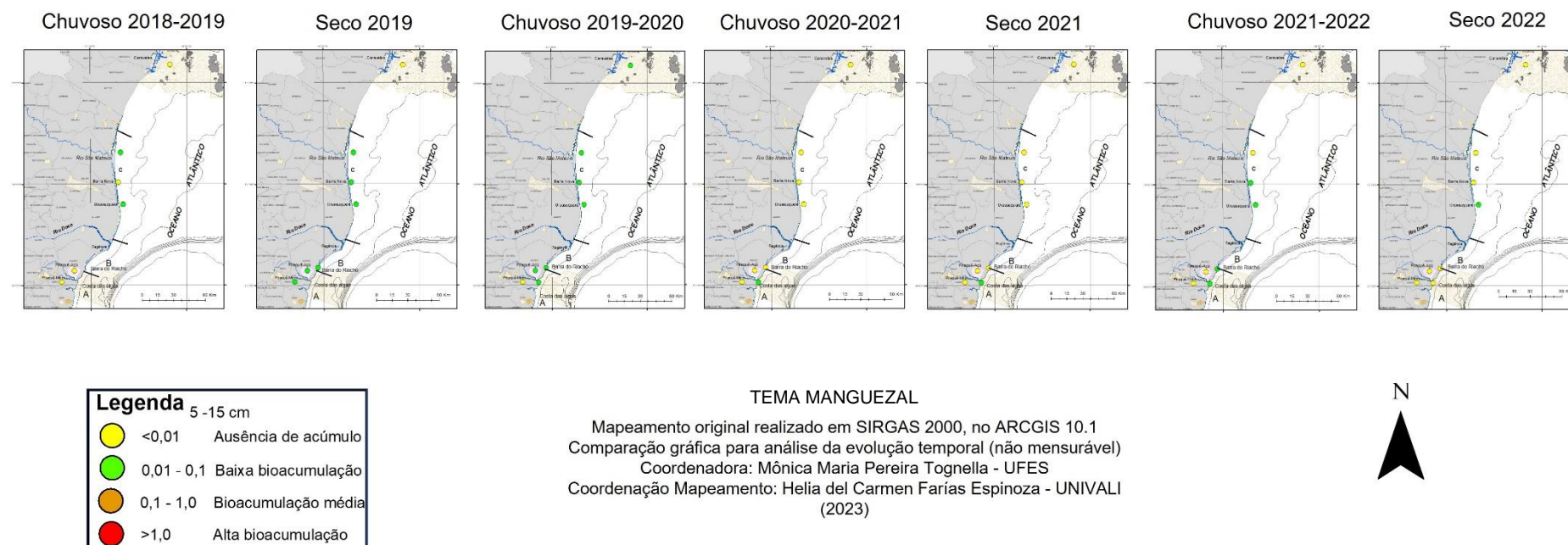


Figura 33: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Mn Rhizophora (0-5 cm)

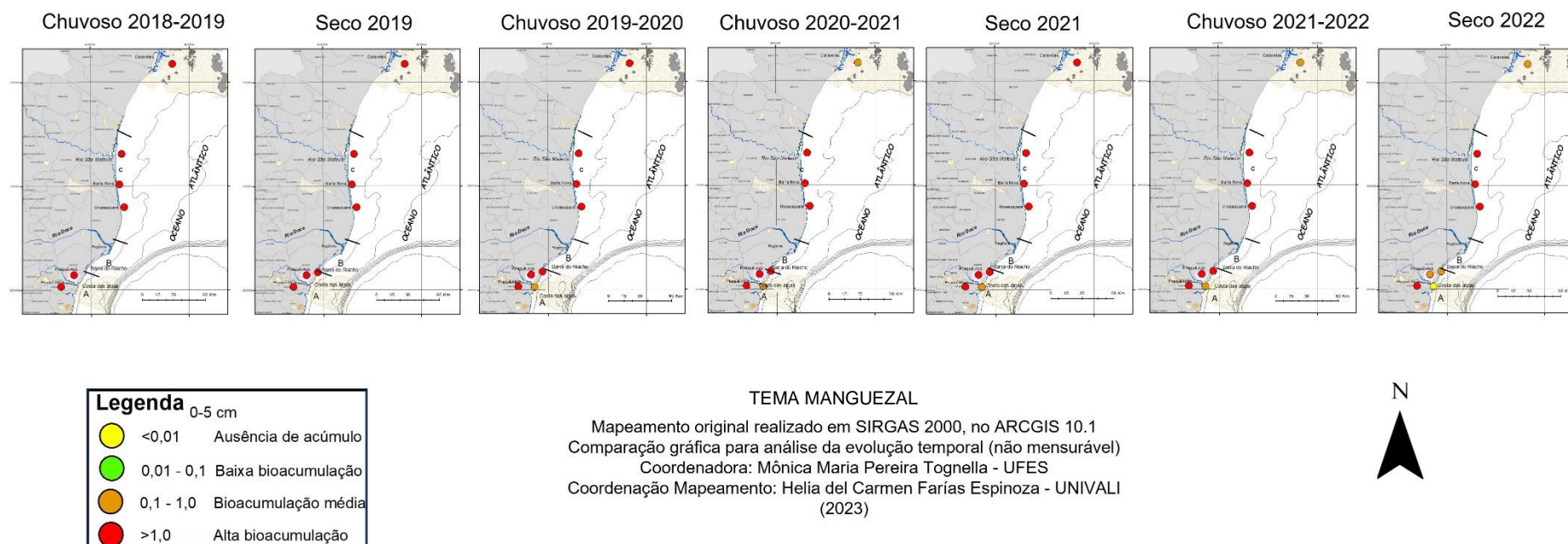


Figura 34: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Mn Rhizophora (5-15 cm)

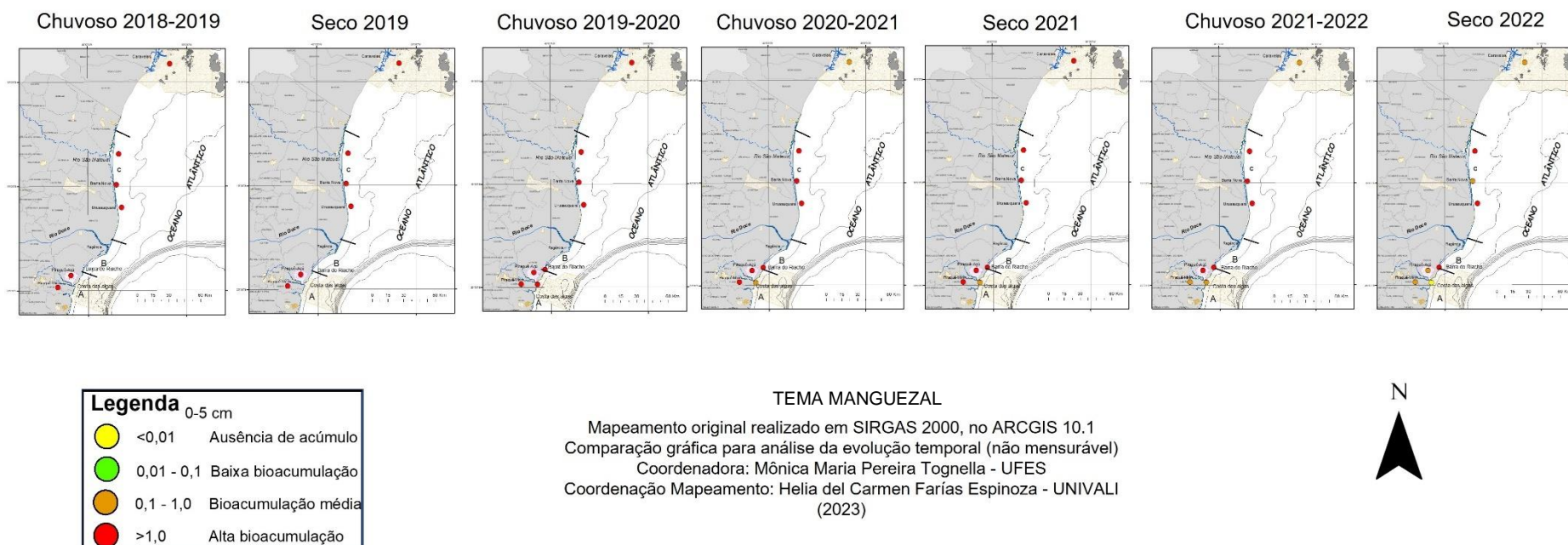


Figura 35: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Zn Rhizophora (0-5 cm)

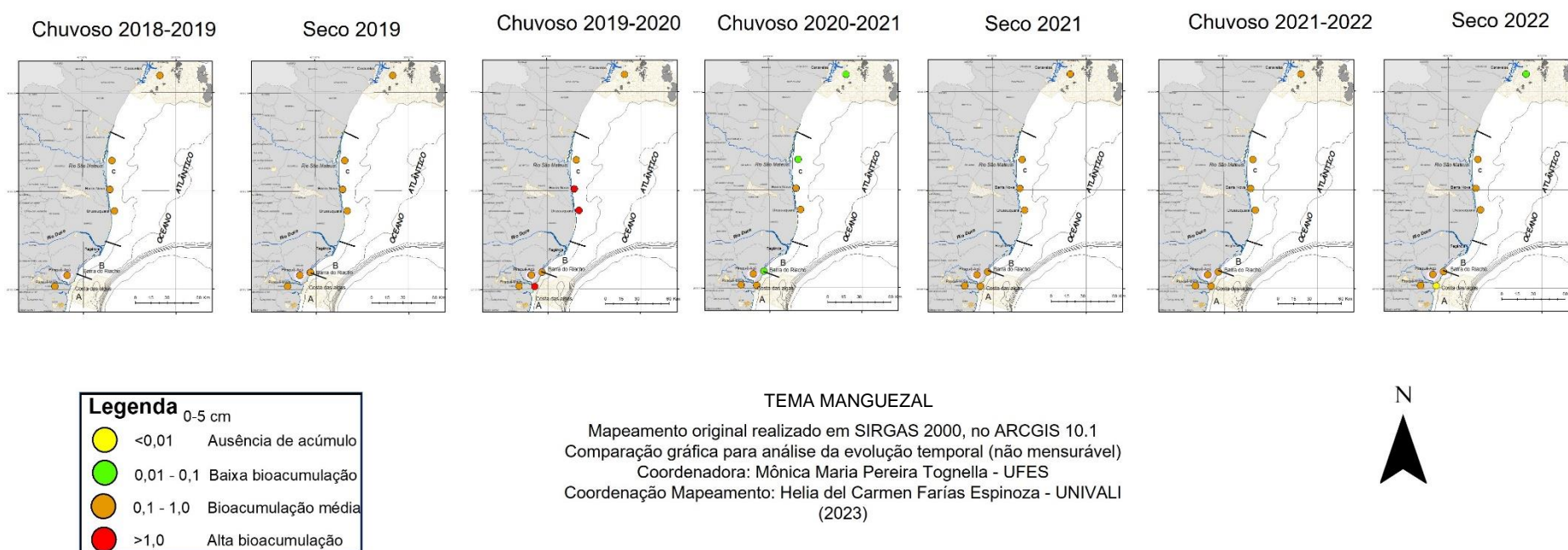


Figura 36: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Zn *Rhizophora* (5-15 cm)

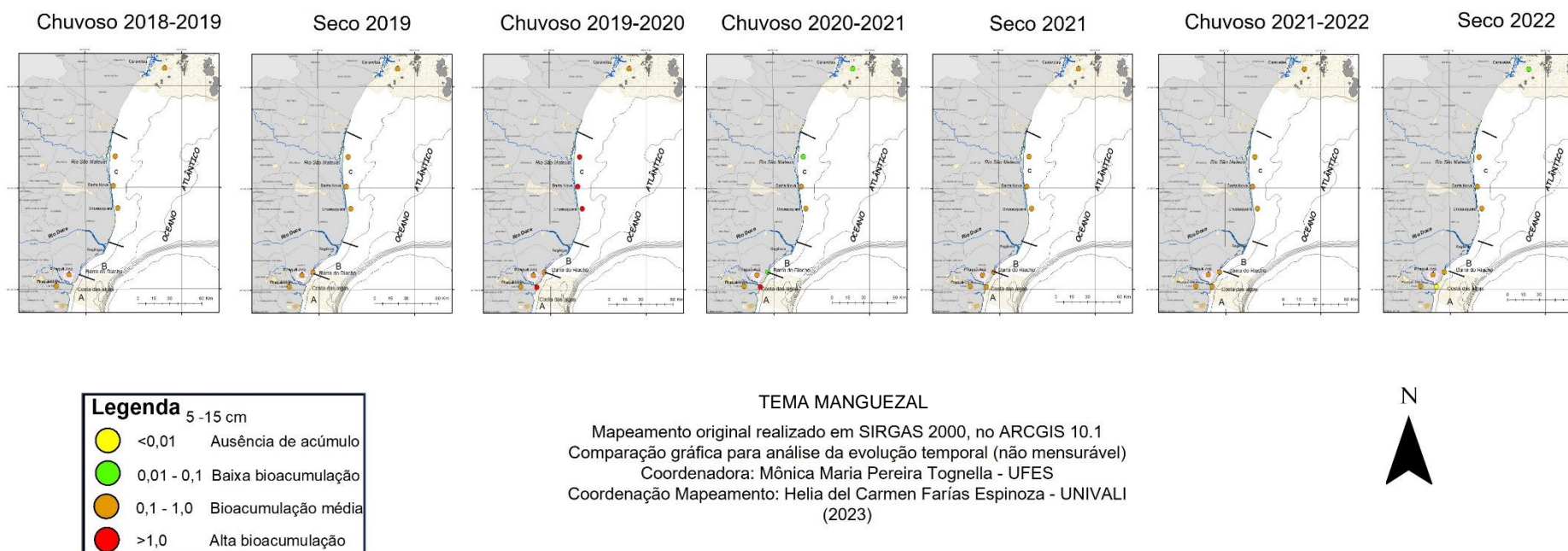


Figura 37: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

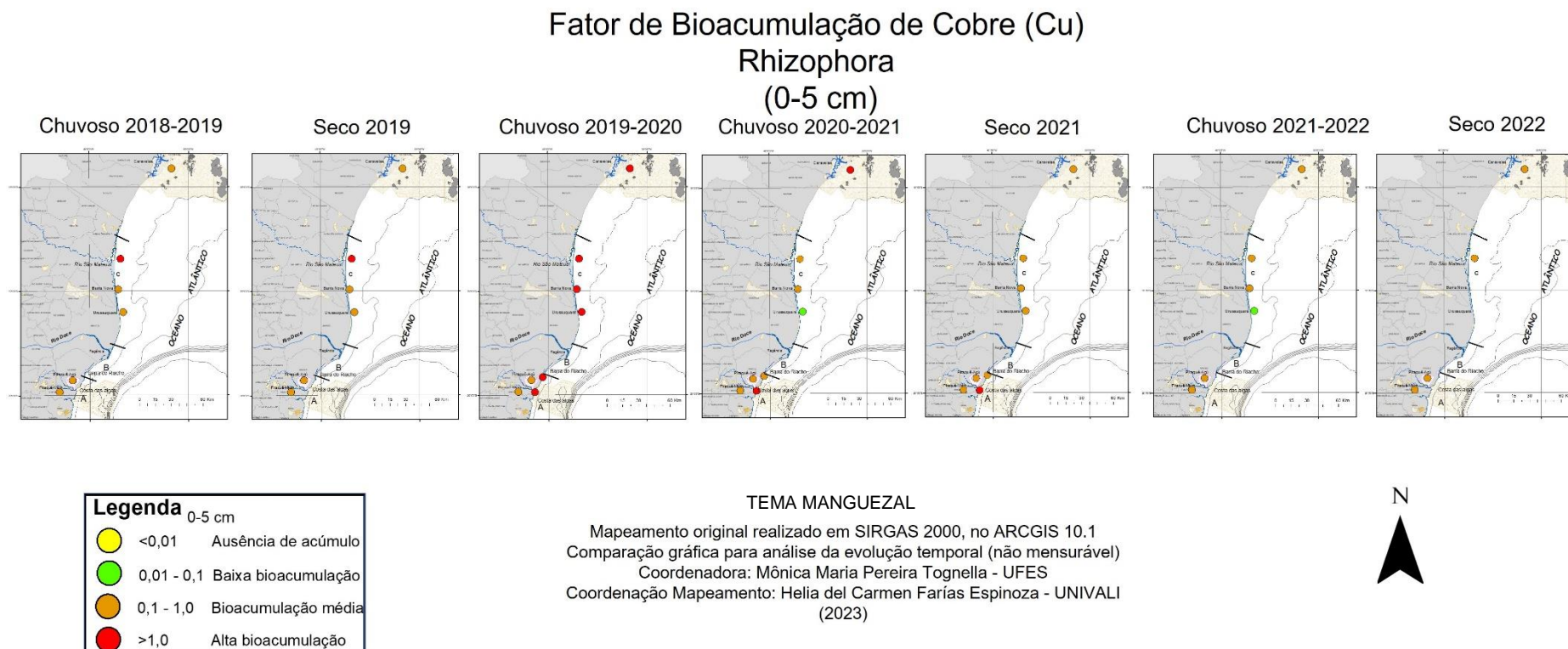


Figura 38: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

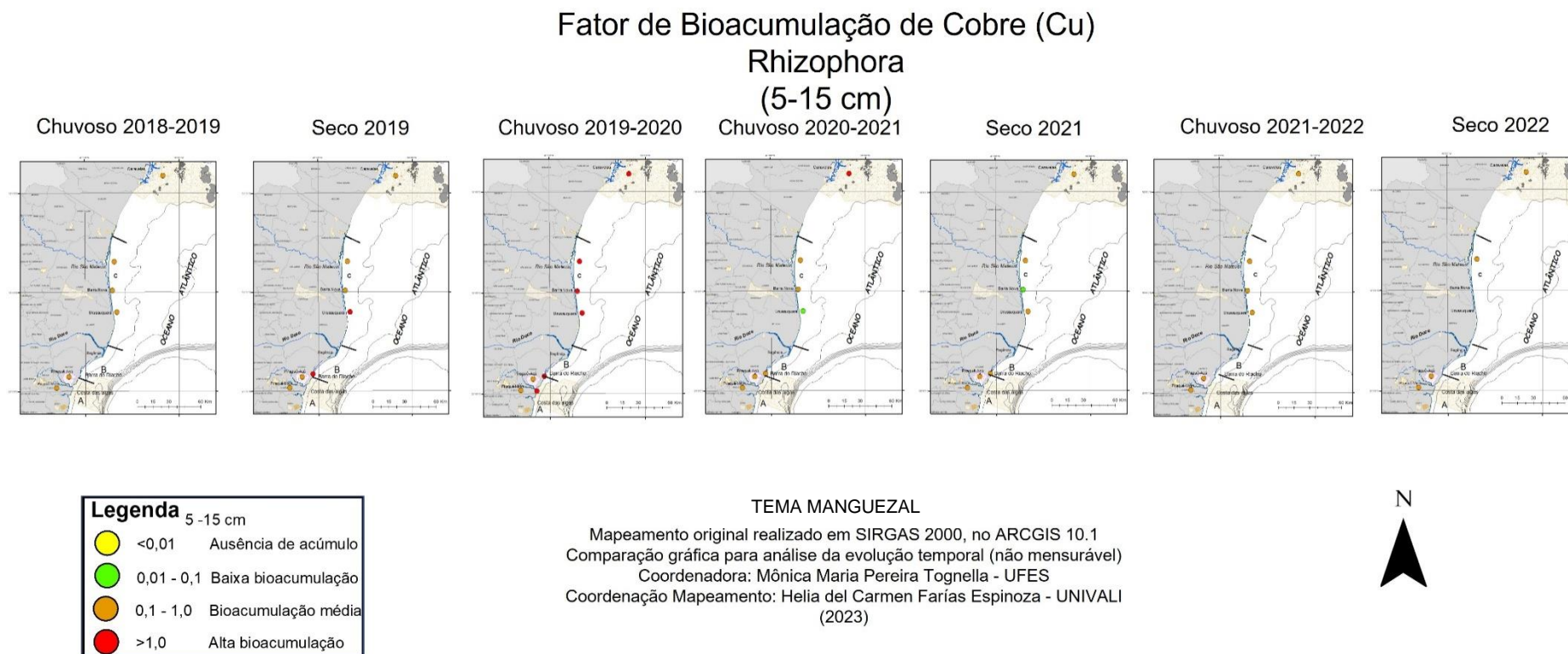


Figura 39: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

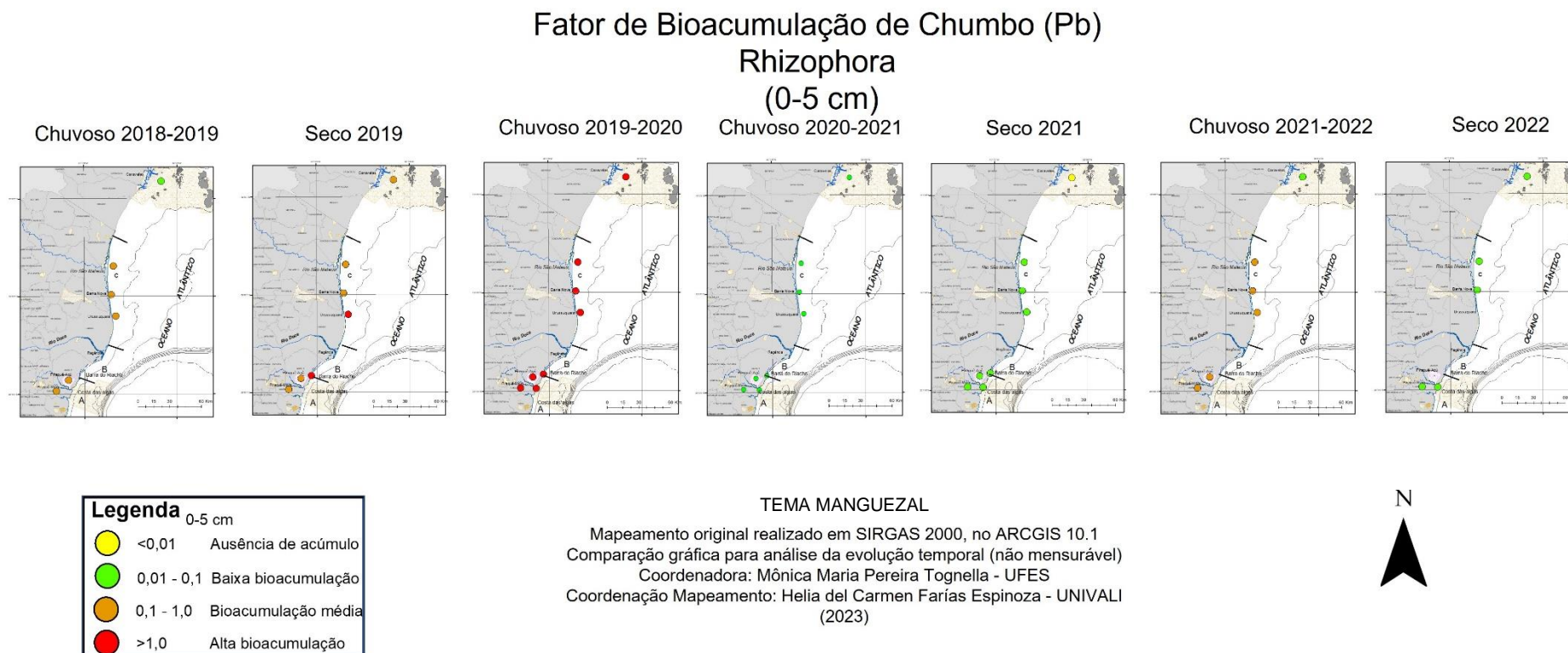
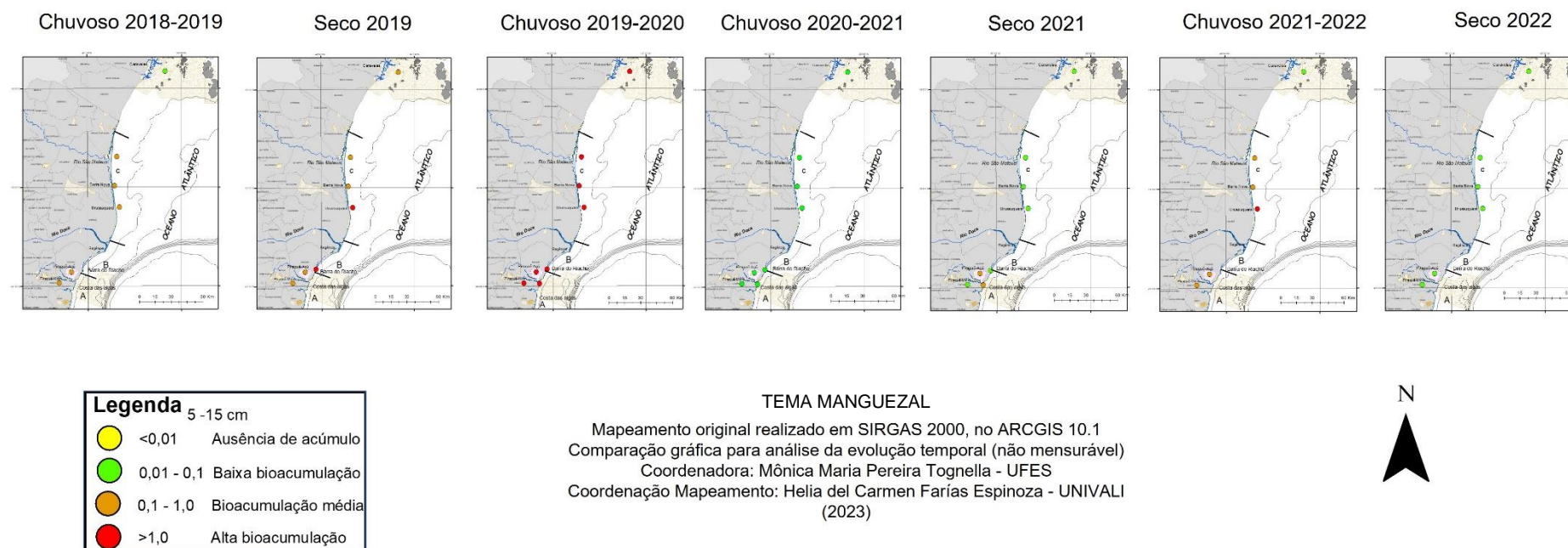


Figura 40: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Pb *Rhizophora* (5-15 cm)



O fator de bioacumulação (FBA) para *R. mangle* apresentado nas figuras revela o acúmulo dos metais nas folhas. Observou-se que não houve acúmulo de Fe ou houve baixa acumulação do metal em todos os períodos e estuários analisados nas duas profundidades de sedimento (0-5 e 5-15 cm) (Figura 31 e Figura 32). Para Mn, houve média e alta bioacumulação em todos os períodos e estuários, considerando as duas profundidades (Figura 33 e Figura 34). Para Zn, houve médio FBA em todos os períodos e estuários, exceto em Costa das Algas, Urussuquara e Barra Nova com alto FBA (Chuvoso 19_20), em Barra do Riacho, São Mateus e Caravelas (Chuvoso 20_21 e Seco_22) com baixo FBA. Na profundidade 5-15 cm, houve alto FBA em Costa das Algas, Urussuquara, Barra Nova e São Mateus (Chuvoso 19_20) e em Costa das Algas no Chuvoso 20_21 (Figura 35 e Figura 36). O FBA para Cu variou entre média e alta bioacumulação, com exceção para Urussuquara (Chuvoso 20_21 e Chuvoso 21_22), na profundidade de 0-5 cm. Comportamento similar foi observado na profundidade de 5-15 cm, com baixo FBA para Urussuquara no período Chuvoso 20_21 e em Barra Nova no Seco_21 (Figura 37 e Figura 38). Para Pb, destaca-se o período Chuvoso 19_20 com alto FBA em todos os estuários e nas duas profundidades. O período Seco_22 mostrou baixo FBA para Pb em todos os estuários. Os demais períodos e estuários apresentaram médio FBA (Figura 39 e Figura 40).

Figura 41: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Fe Laguncularia (0-5 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

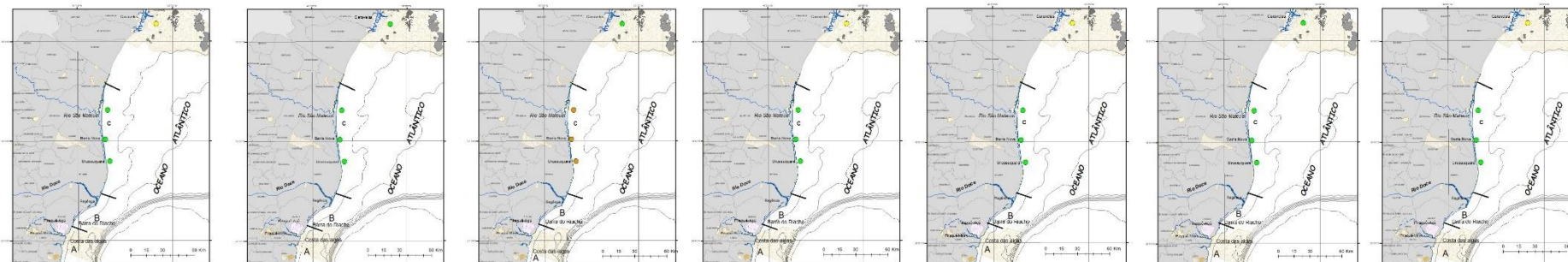
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 0-5 cm	
●	<0,01 Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1 Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0 Bioacumulação média
●	>1,0 Alta bioacumulação

TEMA MANGUEZAL

Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Farias Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 42: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Fe Laguncularia (5-15 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

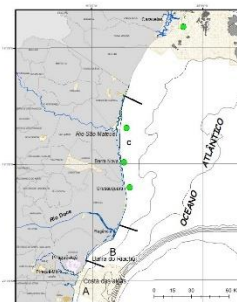
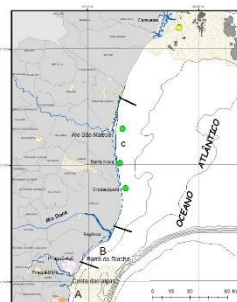
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 5-15 cm	
	<0,01 Ausência de acúmulo
	0,01 - 0,1 Baixa bioacumulação
	0,1 - 1,0 Bioacumulação média
	>1,0 Alta bioacumulação

TEMA MANGUEZAL

Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Fariás Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 43: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Mn Laguncularia (0-5 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

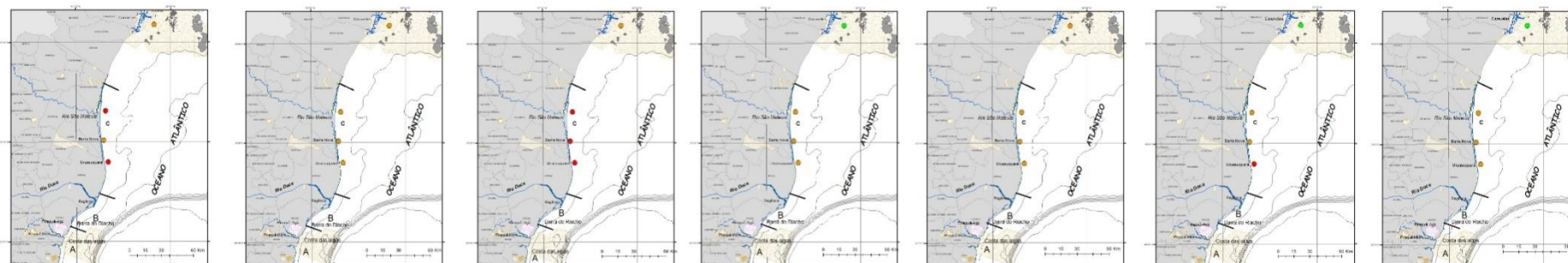
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 0-5 cm	
●	<0,01 Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1 Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0 Bioacumulação média
●	>1,0 Alta bioacumulação

TEMA MANGUEZAL

Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Farias Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 44: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Mn Laguncularia (5-15 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

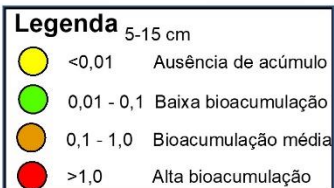
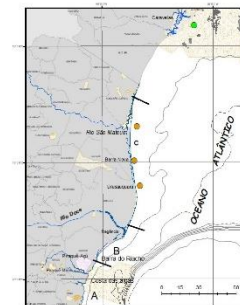
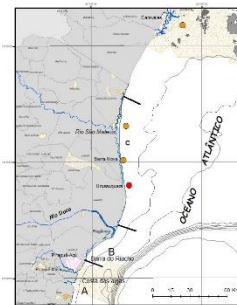
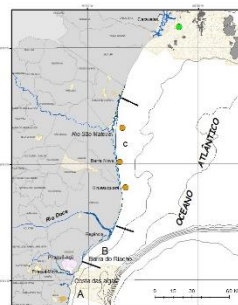
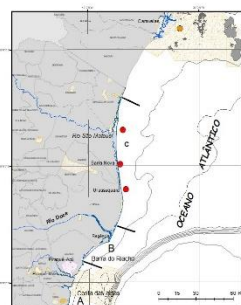
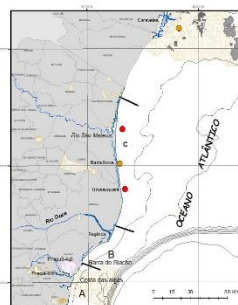
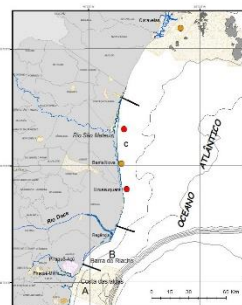
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



TEMA MANGUEZAL

Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Farias Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 45: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Zn *Laguncularia* (0-5 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

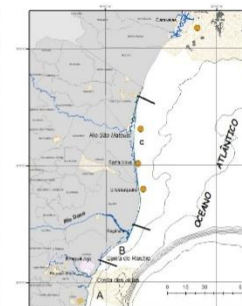
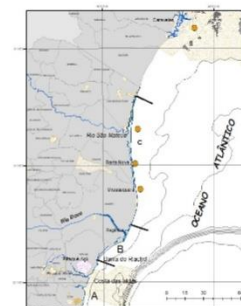
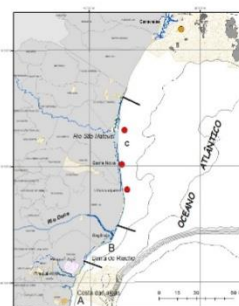
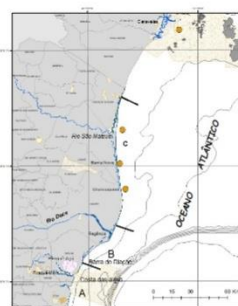
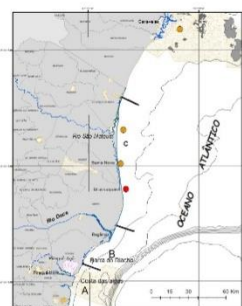
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 0-5 cm	
●	<0,01 Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1 Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0 Bioacumulação média
●	>1,0 Alta bioacumulação

TEMA MANGUEZAL

Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Farias Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 46: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Zn Laguncularia (5-15 cm)

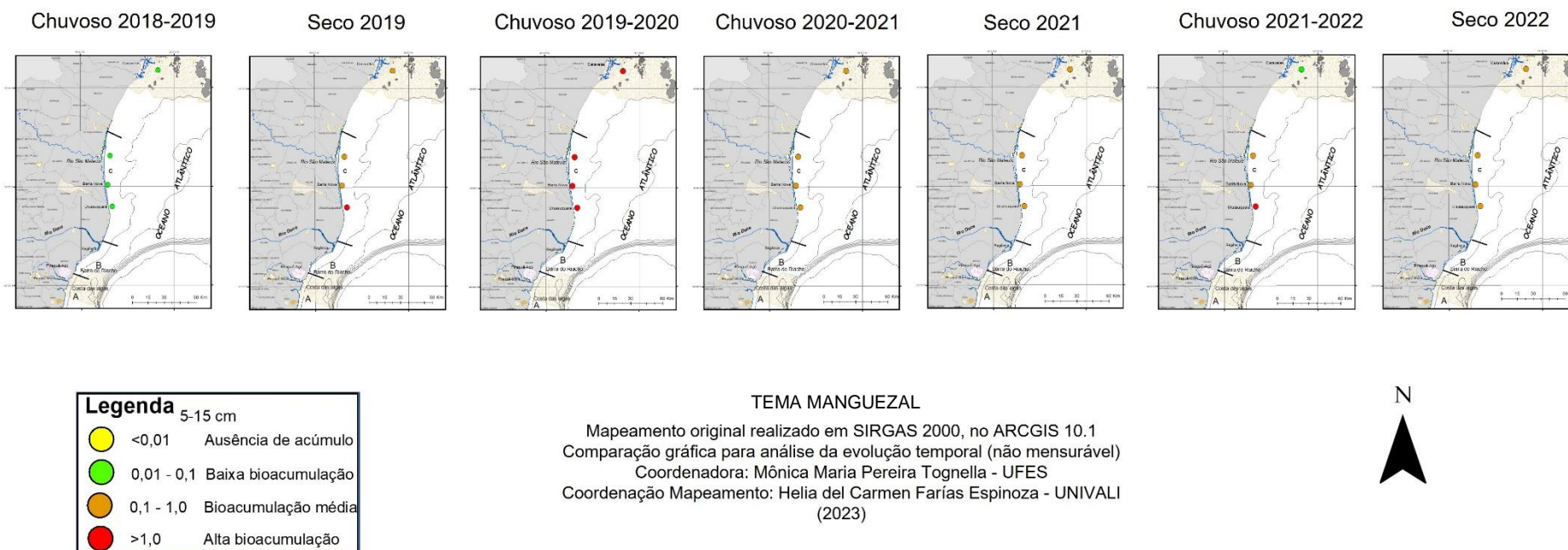


Figura 47: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Cu *Laguncularia* (0-5 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

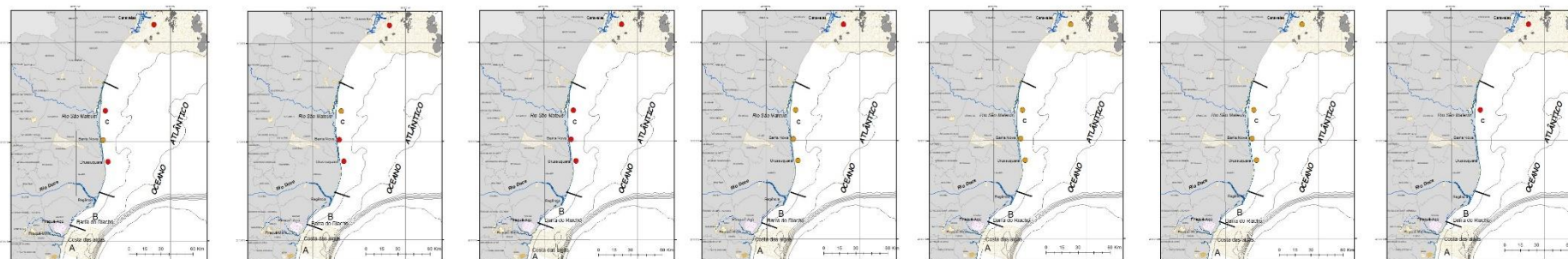
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 0-5 cm	
●	<0,01 Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1 Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0 Bioacumulação média
●	>1,0 Alta bioacumulação

TEMA MANGUEZAL

Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Fariás Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 48: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Cu *Laguncularia* (5-15 cm)

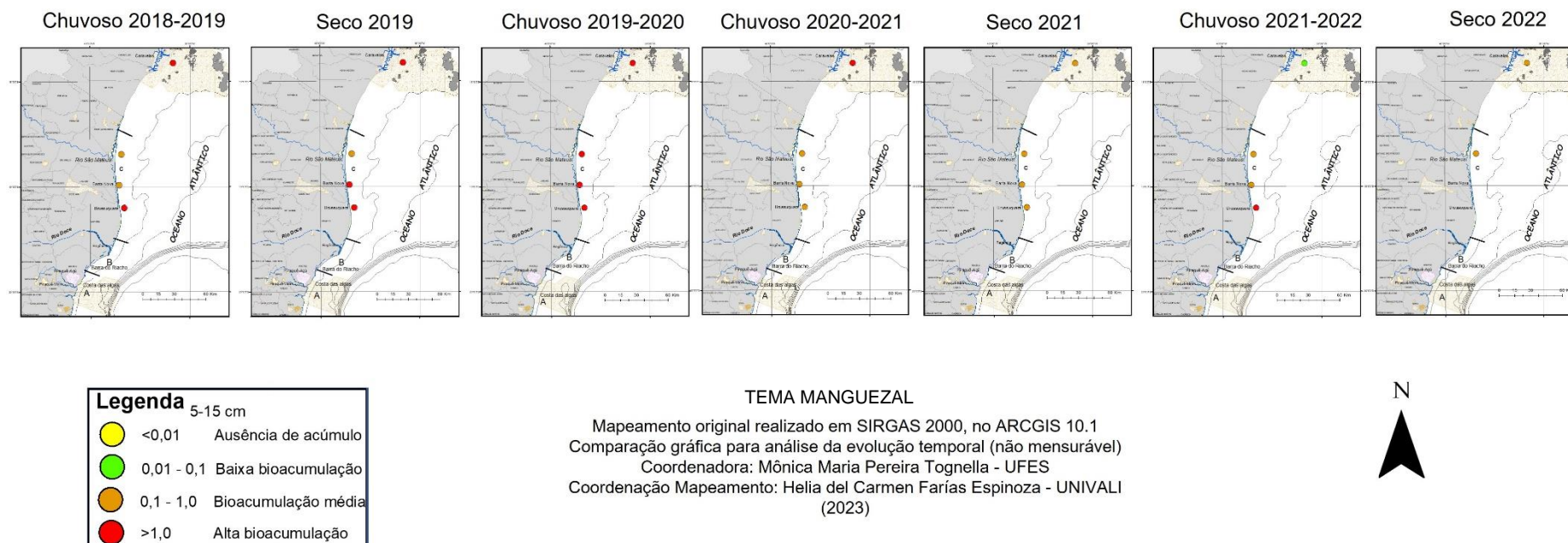


Figura 49: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Pb *Laguncularia* (0-5 cm)

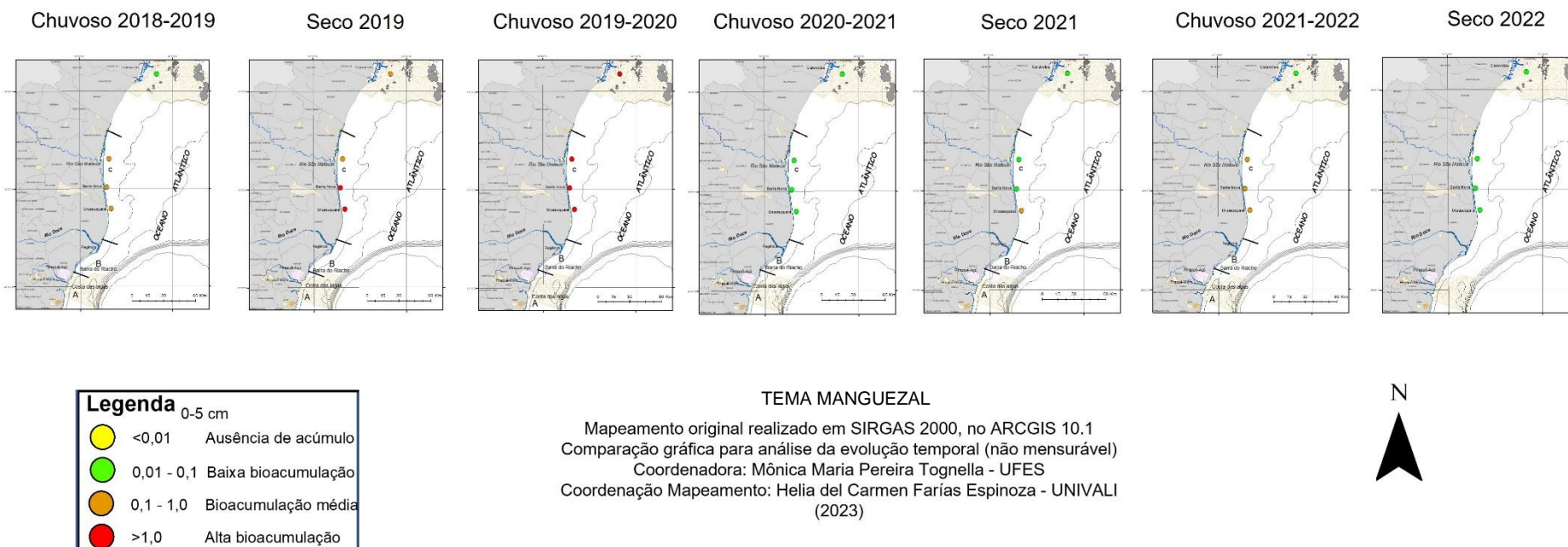
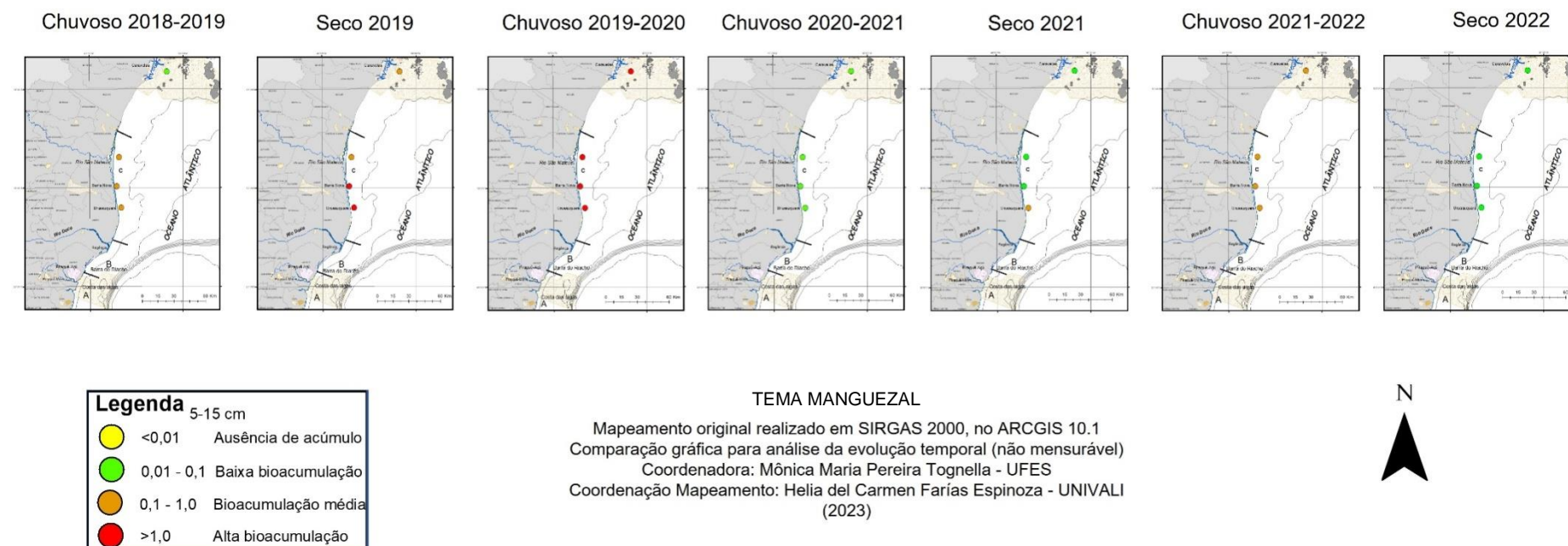


Figura 50: Indicador Ecológico Biorremediação- Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Pb Laguncularia (5-15 cm)



No geral, para a espécie *L. racemosa*, não houve alta bioacumulação para Fe nos períodos e estuários analisados, nas duas profundidades. Entretanto, destacam-se com médio FBA os estuários de Urussuquara, Barra Nova e São Mateus (Chuvoso 19_20), na profundidade de 0-5 cm e Urussuquara e São Mateus (Chuvoso 18_19), Urussuquara (Seco_19), Urussuquara, Barra Nova e São Mateus (Chuvoso 19_20) na profundidade 5-15 cm (Figura 41 e Figura 42). Para Mn, os períodos secos apresentaram média bioacumulação nos estuários analisados em ambas as profundidades (Figura 43 e Figura 44). Zinco mostrou comportamento semelhante ao do Mn, exceto no período Chuvoso 18_19 na profundidade 5-15 cm, com baixo FBA (Figura 45 e Figura 46). Para Cu, observou-se médio e alto FBA em todos os períodos analisados em ambas as profundidades. Destacam-se Urussuquara, Barra Nova, São Mateus, e Caravelas com alto FBA no período Chuvoso 19_20 (Figura 47 e Figura 48). Houve baixo FBA para Pb nos períodos Chuvoso 20_21, Seco_21 (exceto para Urussuquara) e Seco_22. Os demais estuários e períodos apresentaram média bioacumulação em ambas as profundidades (Figura 49 e Figura 50).

Figura 51: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Fe Avicennia (0-5 cm)

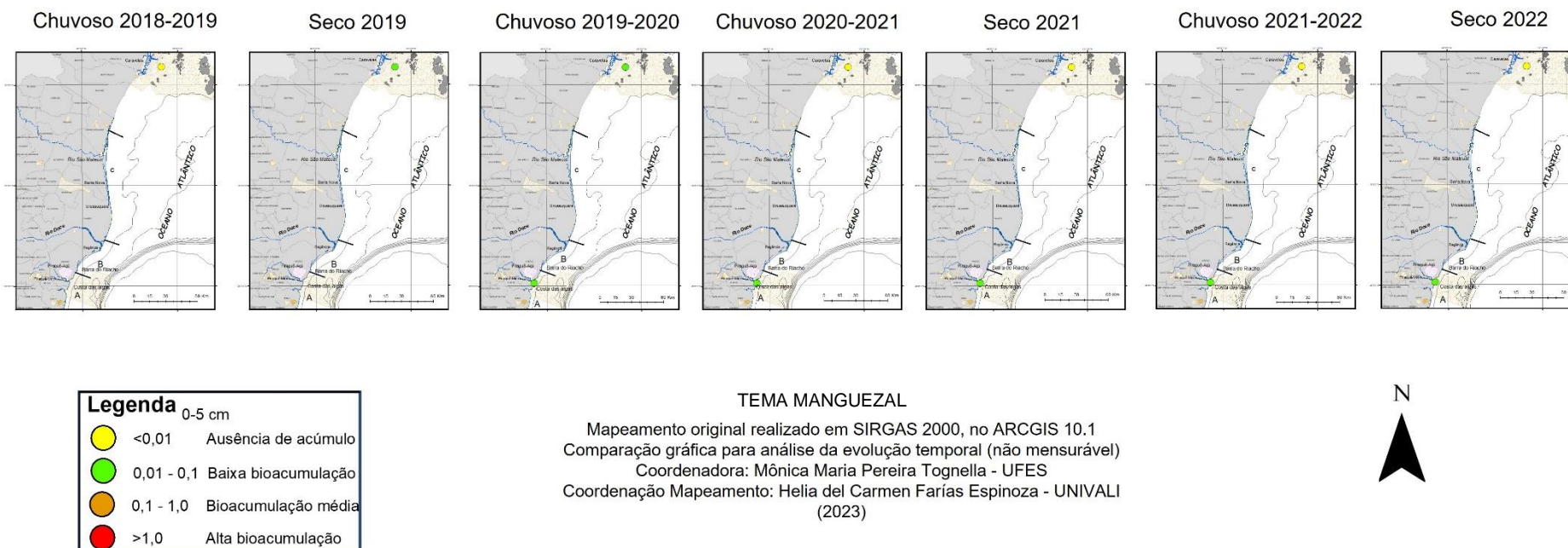


Figura 52: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1 outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Fe *Avicennia* (5-15 cm)

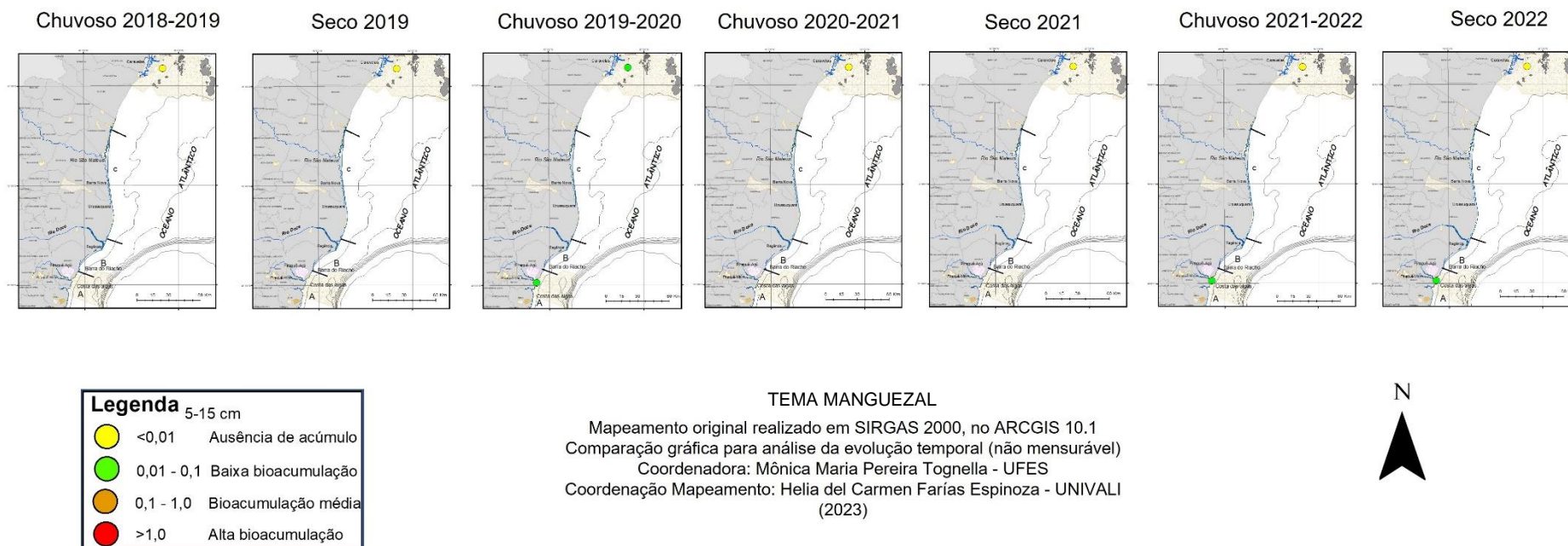


Figura 53: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Mn *Avicennia* (0-5 cm)

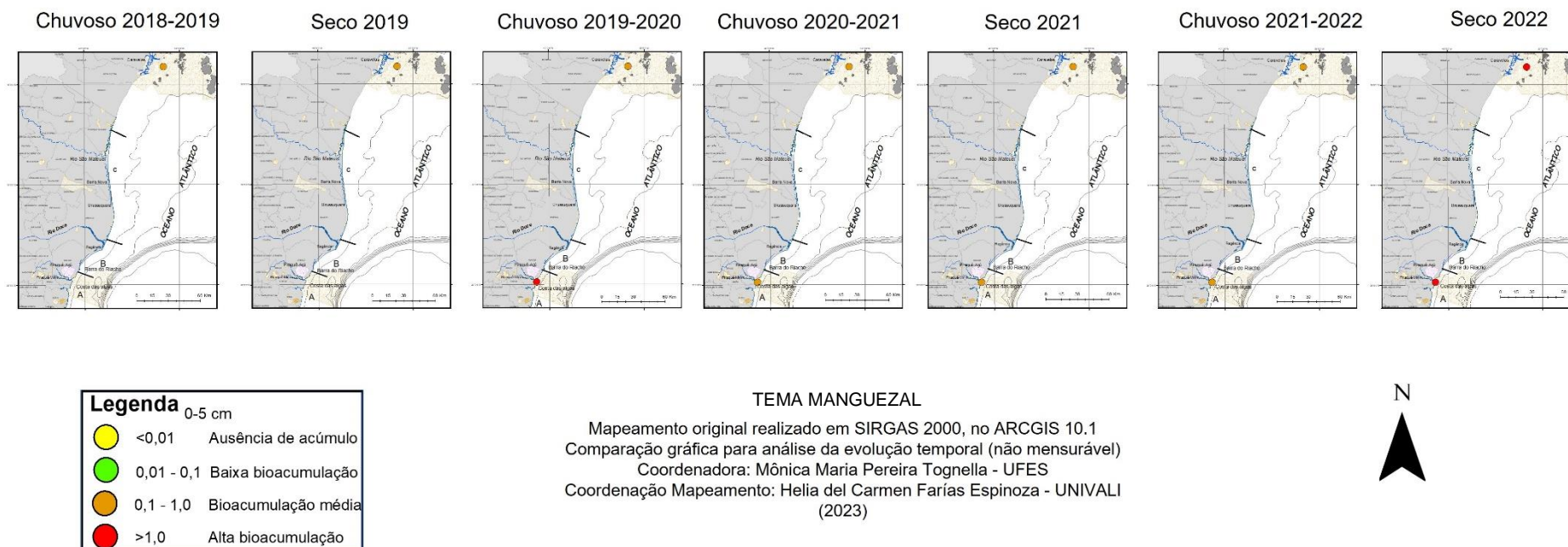


Figura 54: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Mn *Avicennia* (5-15 cm)

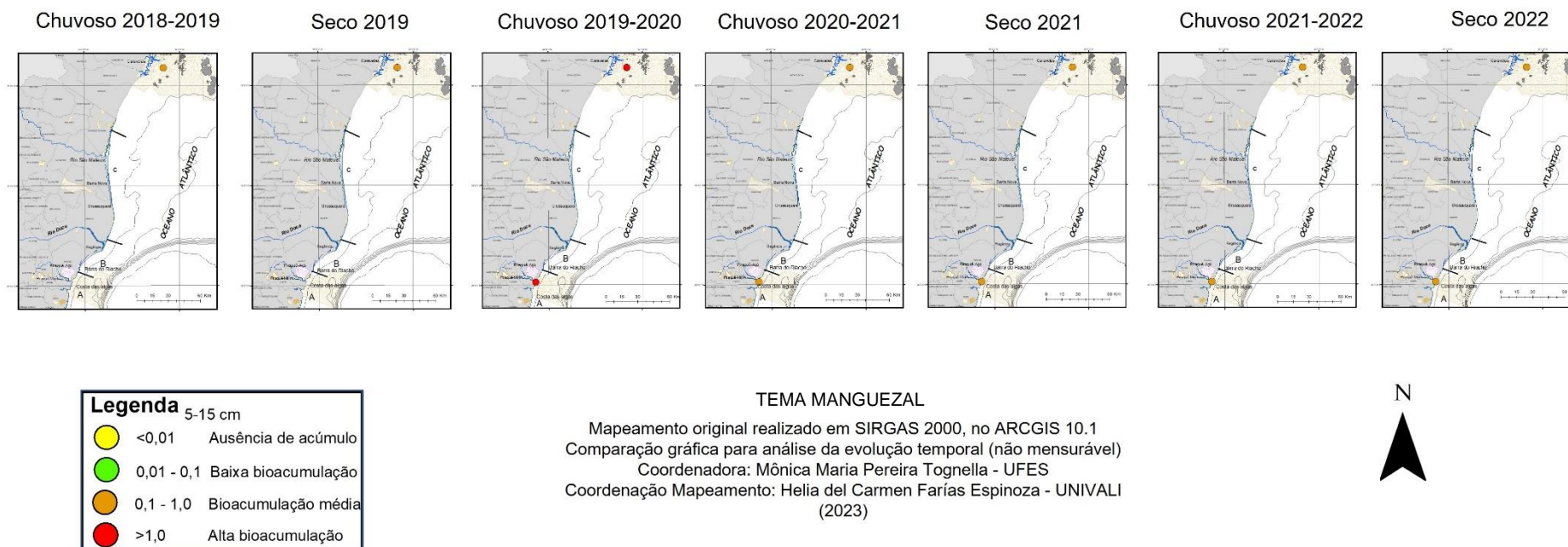


Figura 55: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Zn *Avicennia* (0-5 cm)

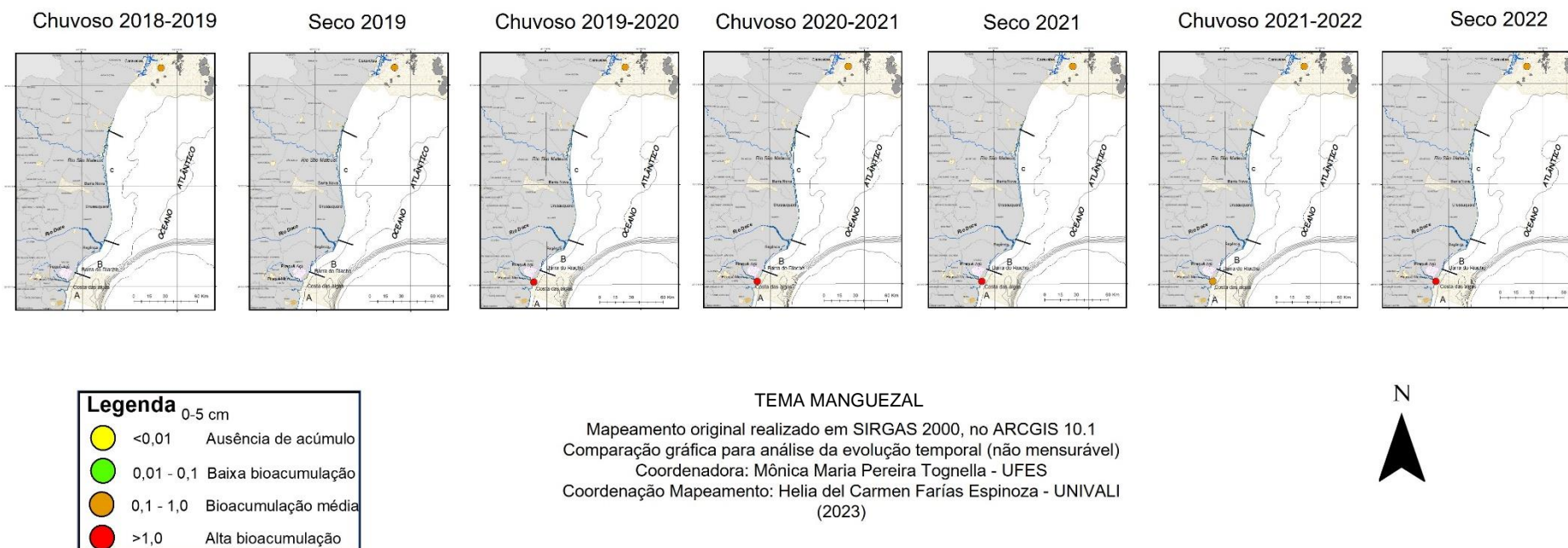


Figura 56: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1 outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Zn Avicennia (5-15 cm)

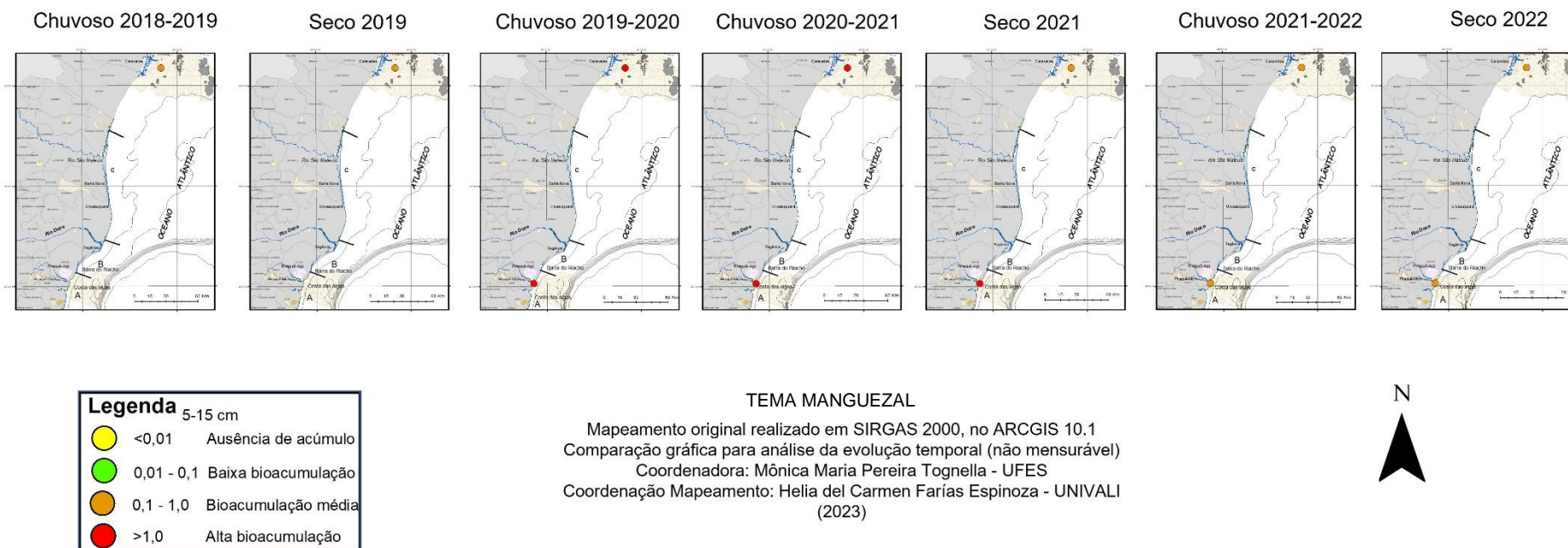


Figura 57: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Cu *Avicennia* (0-5 cm)



Legenda 0-5 cm	
●	<0,01 Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1 Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0 Bioacumulação média
●	>1,0 Alta bioacumulação

TEMA MANGUEZAL

Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Farías Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 58: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Cu *Avicennia* (5-15 cm)

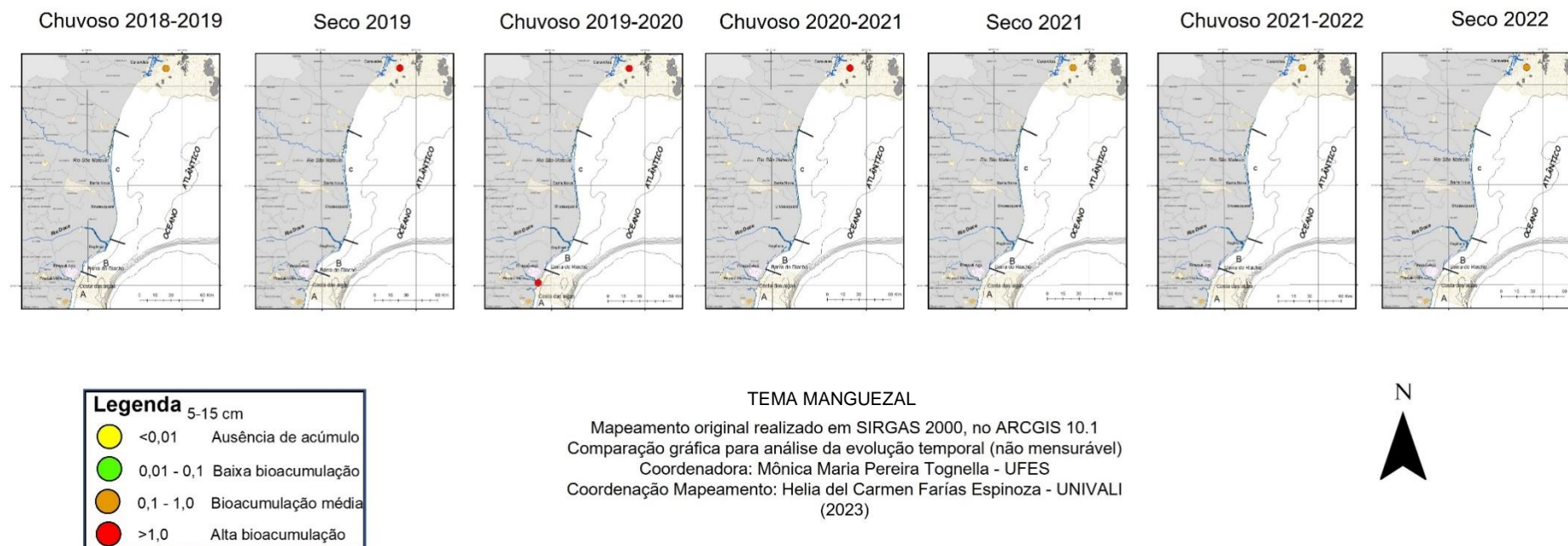


Figura 59: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Pb *Avicennia* (0-5 cm)

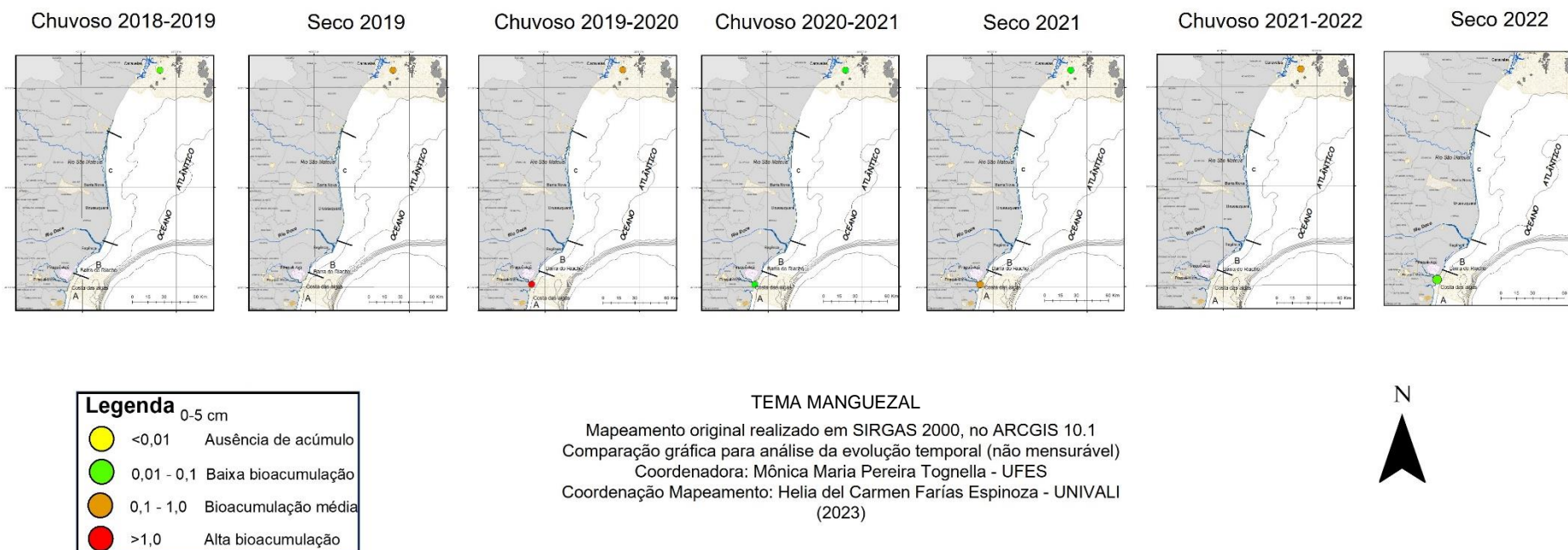
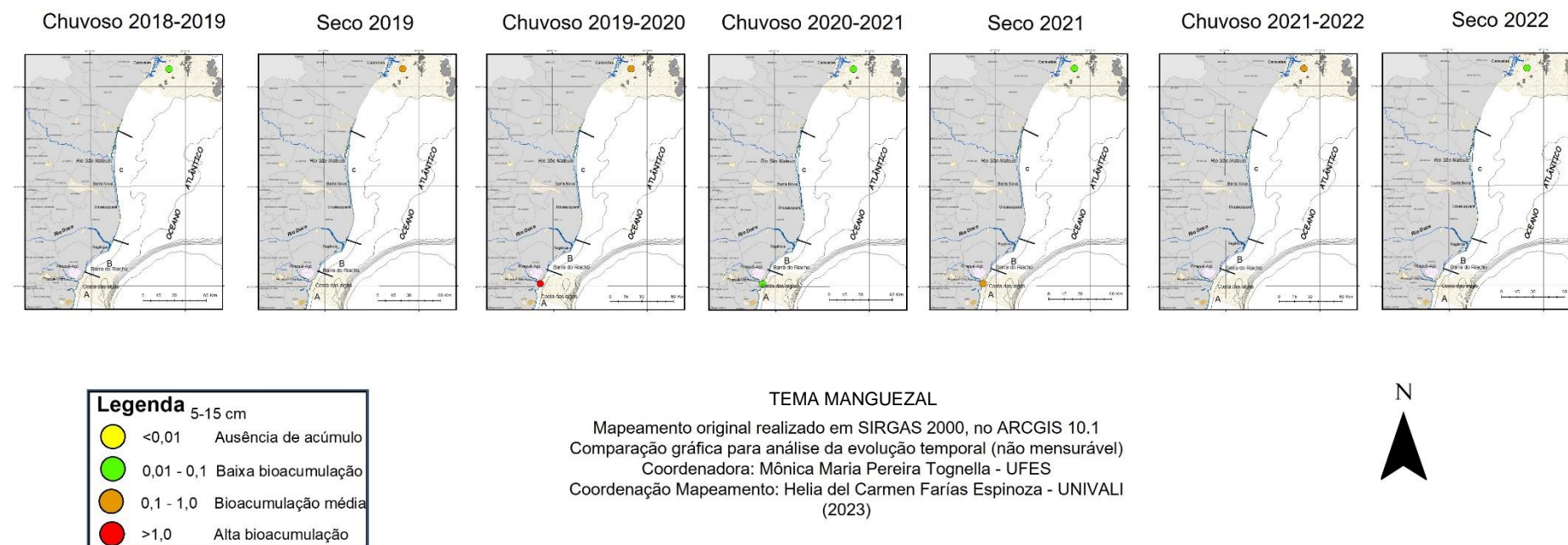


Figura 60: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais de Costa das Algas e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Pb *Avicennia* (5-15 cm)



Para *A. schaueriana*, houve baixa bioacumulação de Fe em Costa das Algas em todos os períodos, nas duas profundidades. Em Caravelas, houve baixo acúmulo de Fe nos períodos Seco_19 e Chuvoso 19_20 (Figura 51 e Figura 52). Para Mn, no geral houve média bioacumulação em todos os períodos, tanto em Costa das Algas como em Caravelas. Exceção para o período Chuvoso 19_20, com alto FBA (Figura 53 e Figura 54). Houve alto FBA também para Zn em Costa das Algas em todos os períodos, exceto no Chuvoso 21_22, em ambas as profundidades e no período Seco_22 na profundidade 5-15 cm. Em caravelas, a bioacumulação de Zn foi média, exceto no período Chuvoso 19_20 e Chuvoso 20_21, com alto FBA (Figura 55 e Figura 56). Para Cu, houve alta bioacumulação com destaque para os períodos Chuvoso 19_20, Chuvoso 20_21, Seco_19 e Seco_21. Os demais períodos apresentaram médio FBA (Figura 57 e Figura 58). Em relação ao Pb, houve alto FBA nos períodos Chuvoso 19_20 e Seco_21 em Costa das Algas e Seco_19, Chuvoso 19_20 e Chuvoso 21_22 em Caravelas nas duas profundidades (Figura 59 e Figura 60).

Figura 61: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce.

Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Fe Talipariti (0-5 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

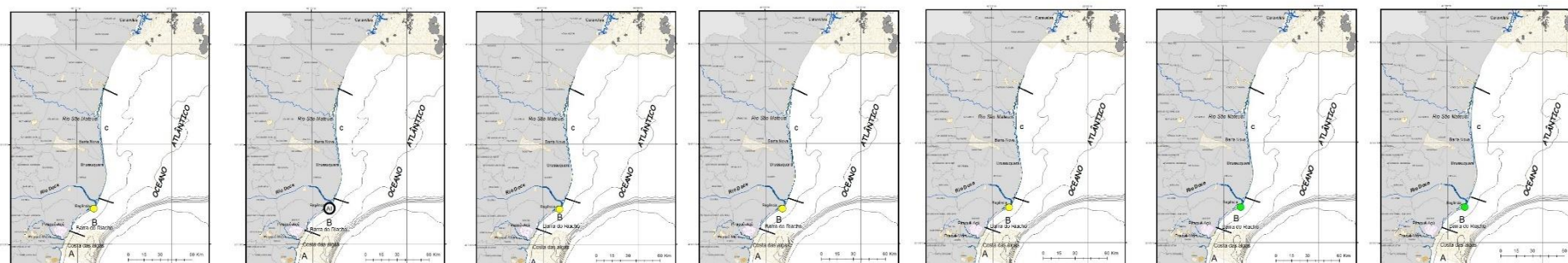
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 0-5 cm	
●	<0,01 Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1 Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0 Bioacumulação média
●	>1,0 Alta bioacumulação

TEMA MANGUEZAL

Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Fariás Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 62: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce.

Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Fe Talipariti (5-15 cm)

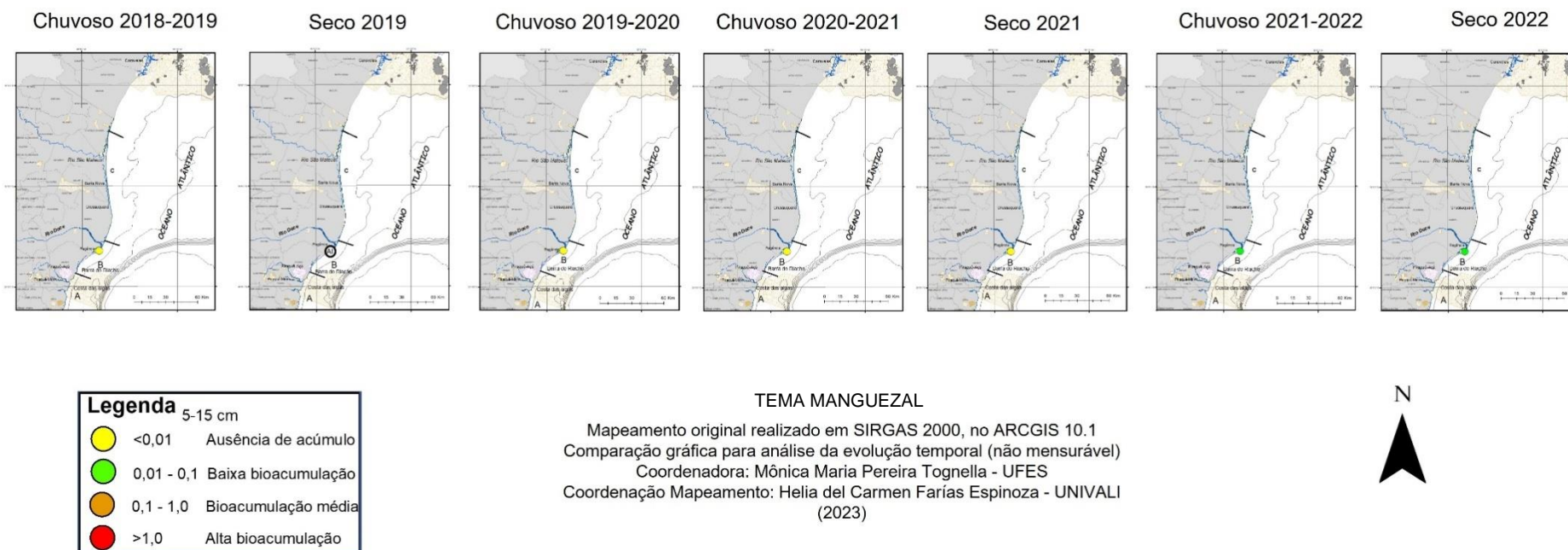


Figura 63: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Mn Talipariti (0-5 cm)

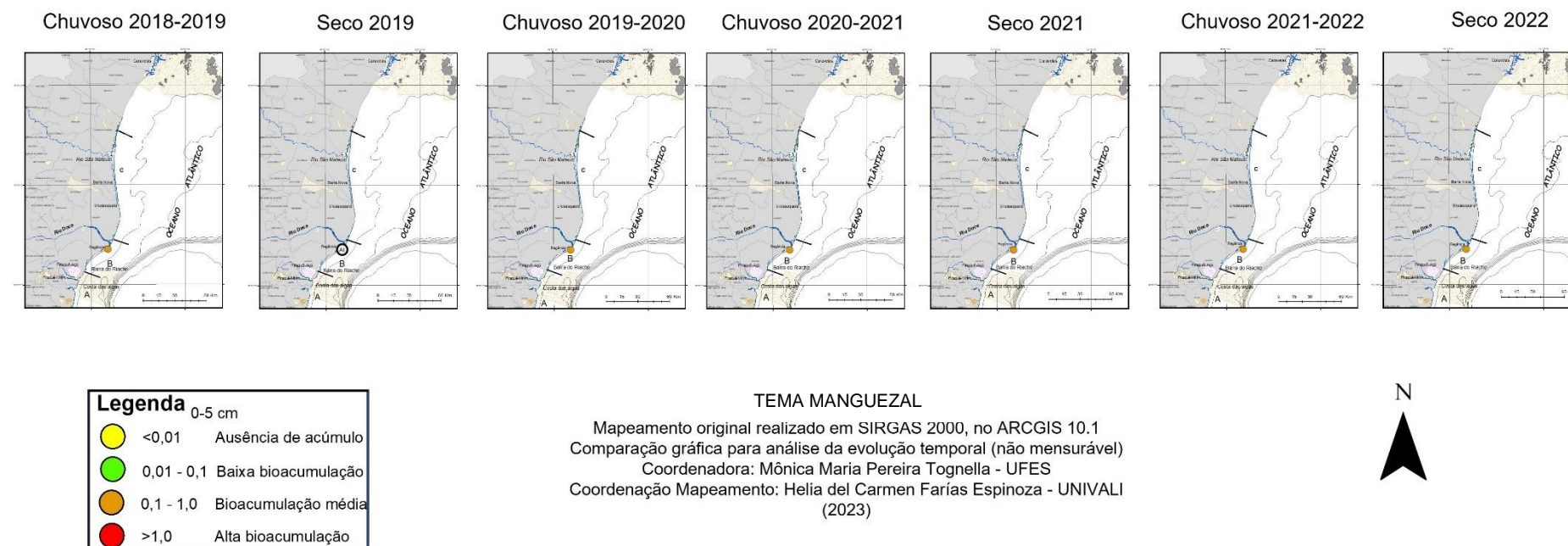


Figura 64: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Mn Talipariti (5-15 cm)

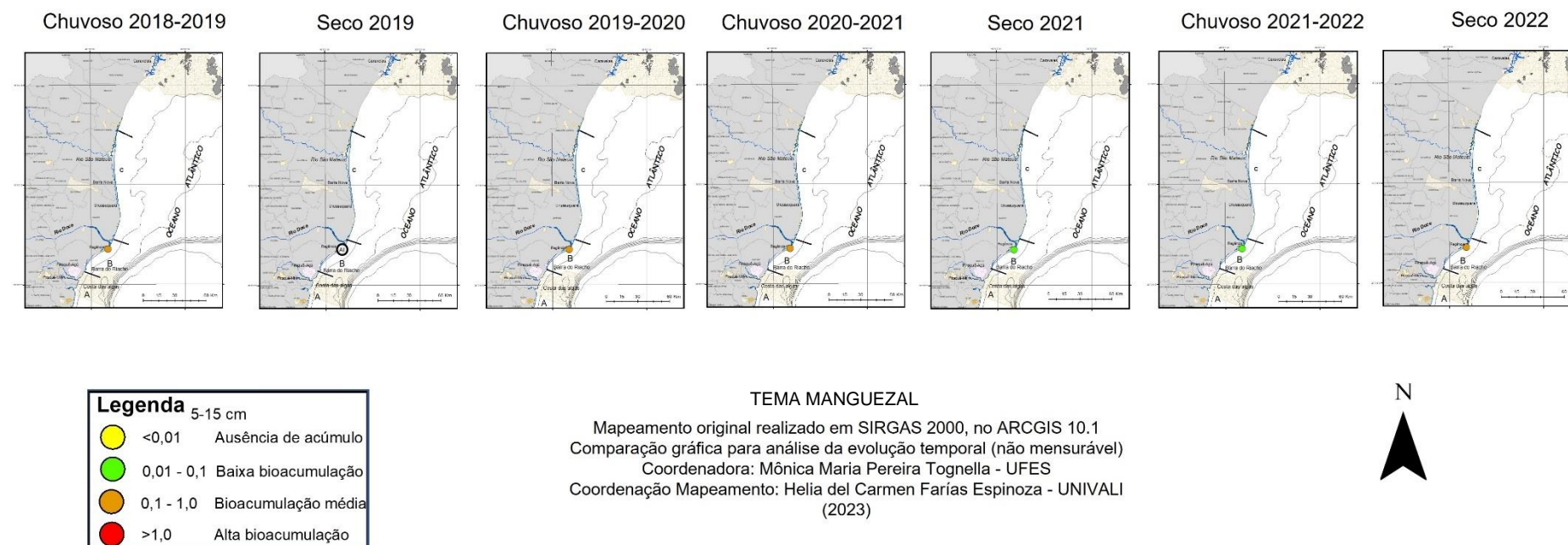


Figura 65: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce.

Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Zn Talipariti (0-5 cm)

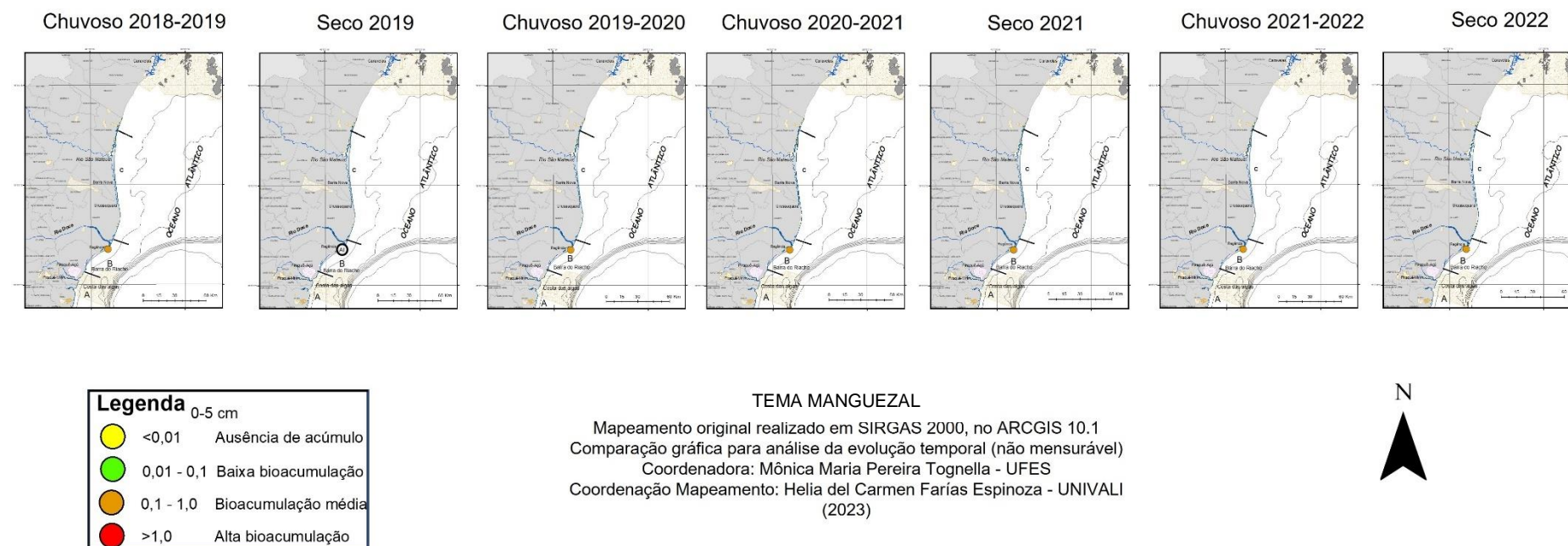


Figura 66: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce.

Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Zn Talipariti (5-15 cm)

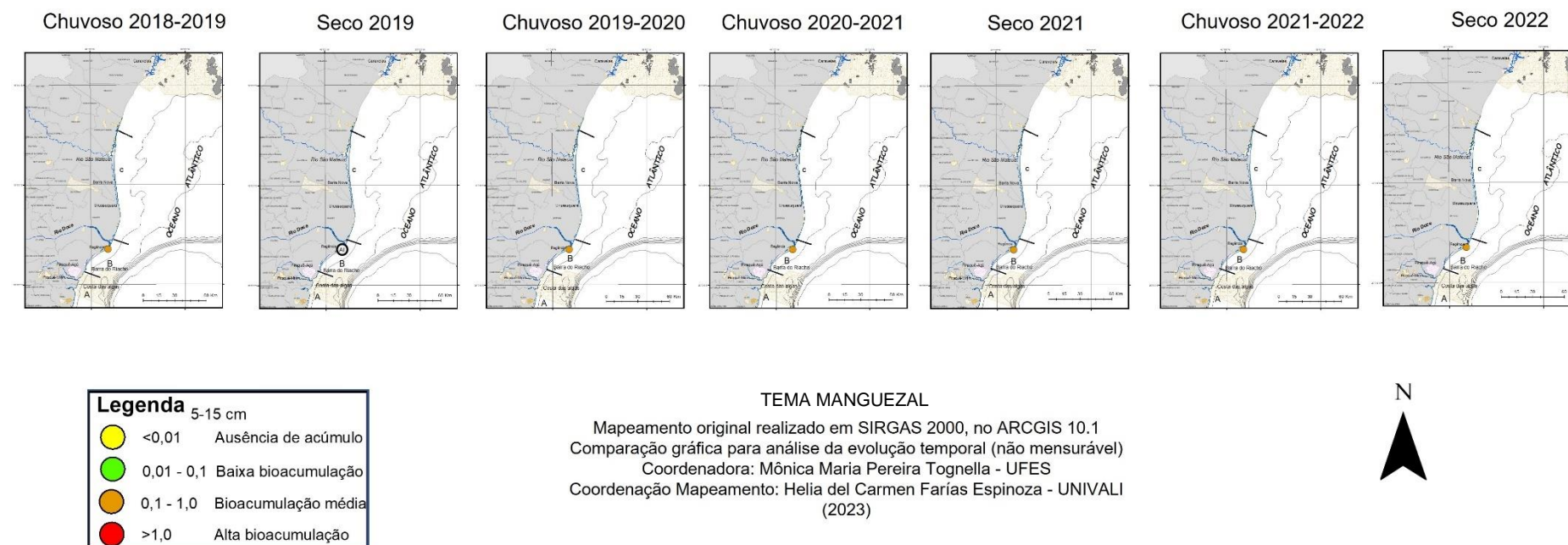


Figura 67: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce.

Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Cu Talipariti (0-5 cm)

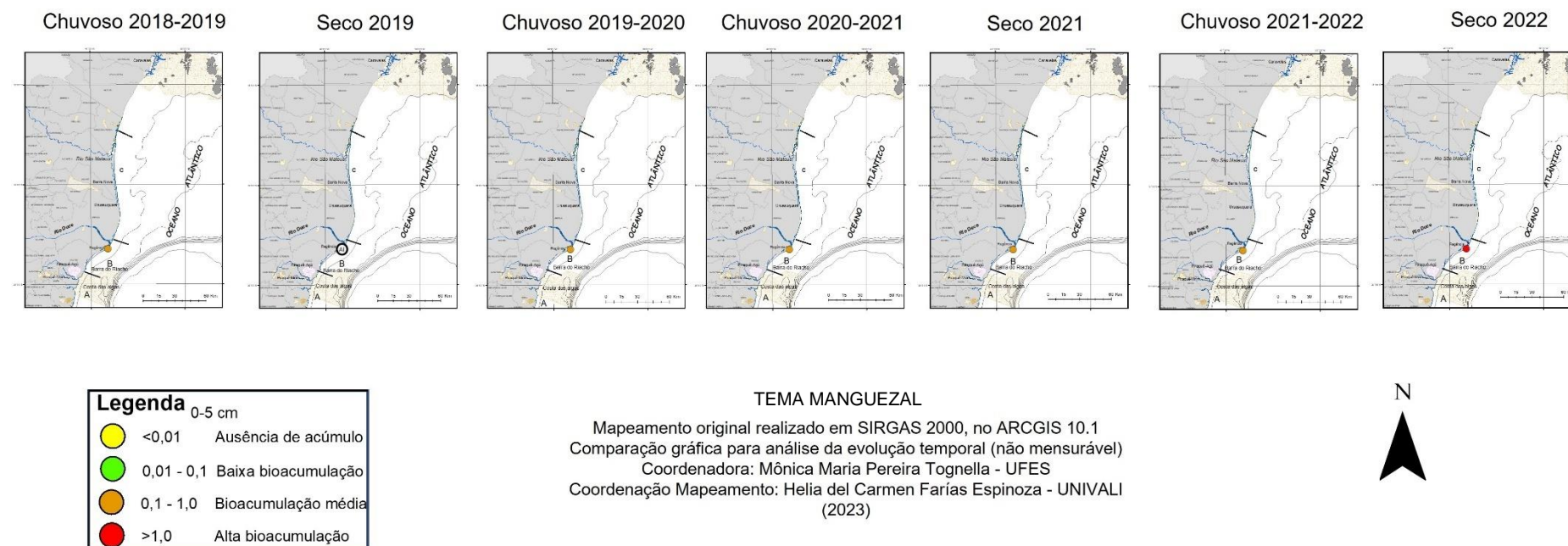


Figura 68: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce.

Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Cu Talipariti (5-15 cm)

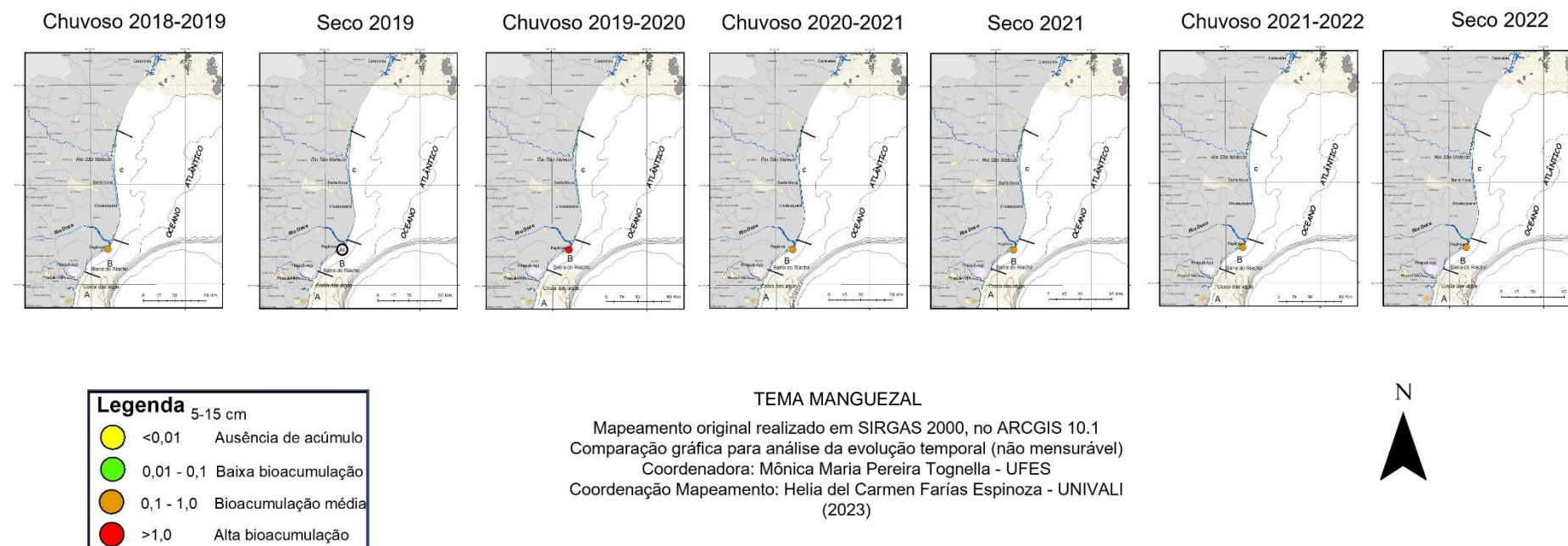


Figura 69: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Pb Talipariti (0-5 cm)

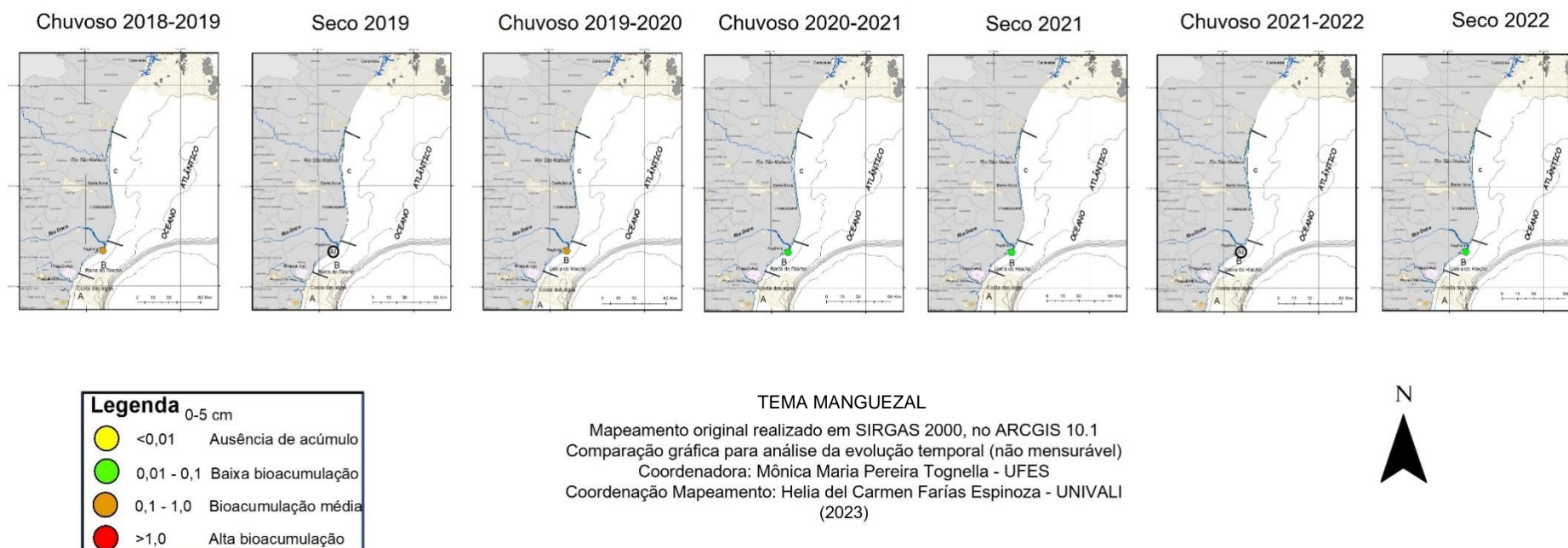
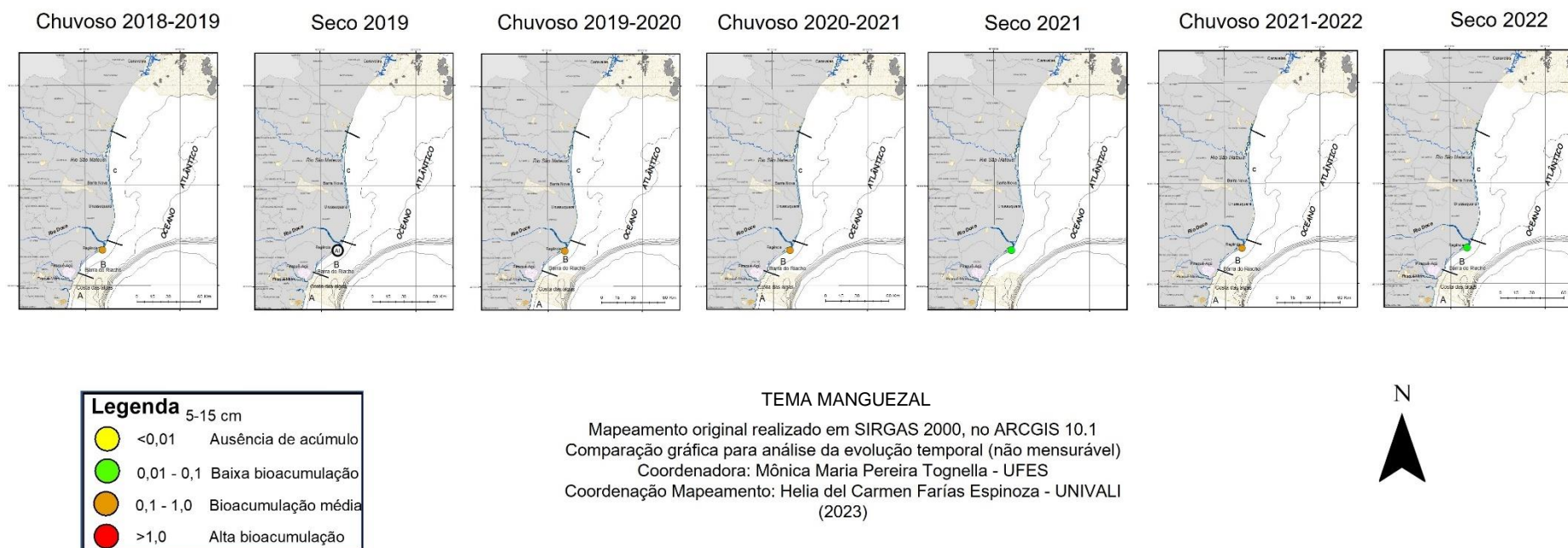


Figura 70: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos manguezais do Rio Doce. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm.

Fator de Bioacumulação de Pb Talipariti (5-15 cm)



Não houve bioacumulação para Fe (Figura 61 e Figura 62) para a espécie *T. pernambucense*. Houve média bioacumulação de Mn e Zn em ambas as profundidades. Para Pb, houve um padrão de médio FBA nos períodos chuvosos e baixo FBA nos períodos secos, nas profundidades de 0-5 e 5-15 cm. Alto FBA para Cu foi observado no período Chuvoso 2020_2021, na profundidade de 5-15 cm (Figura 63, Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68, Figura 69 e Figura 70).

Figura 71: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de ferro foliar (Fe) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), Compartimento B (Barra do Riacho) e Compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

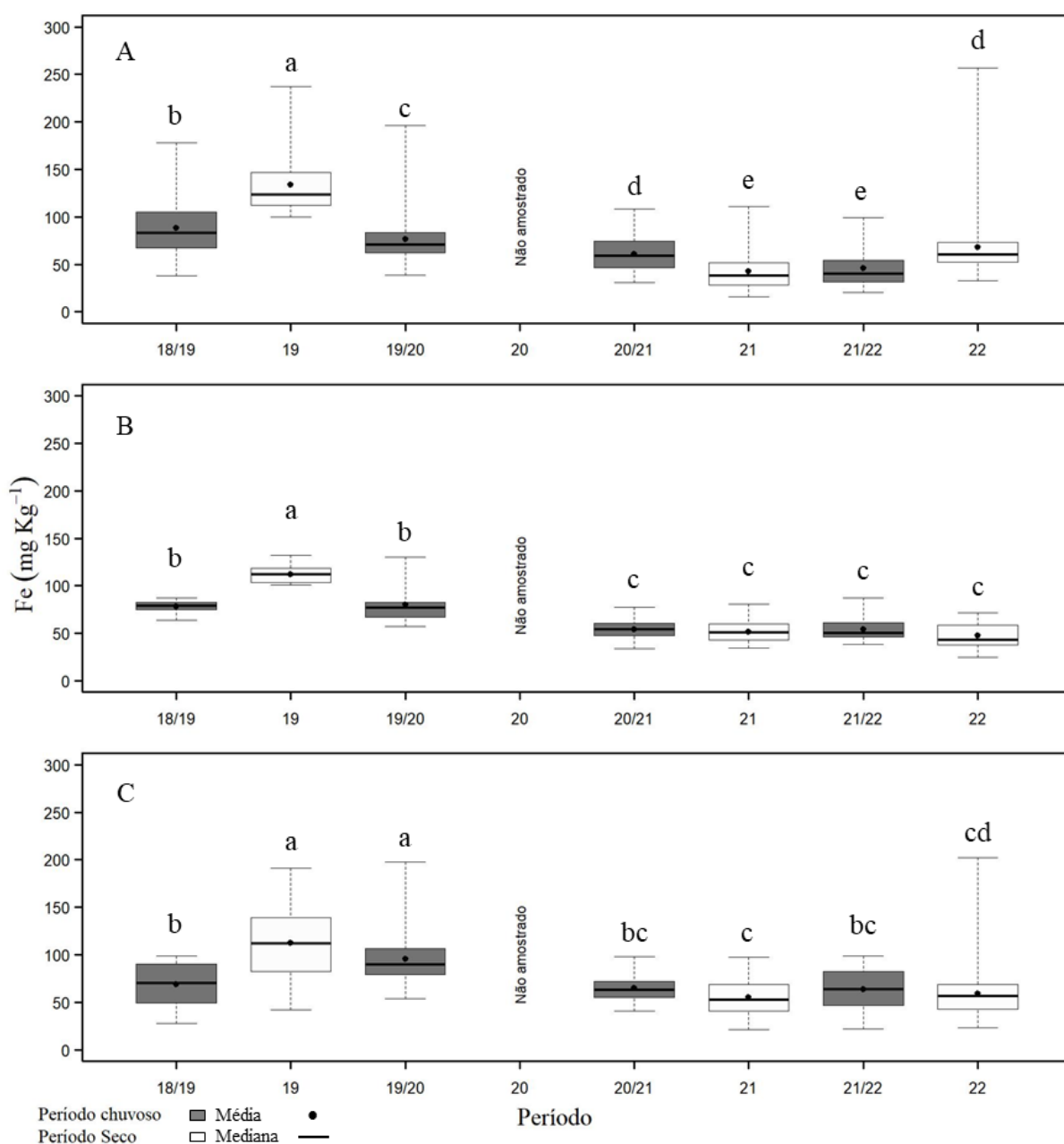


Figura 72: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de manganês foliar (Mn) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), Compartimento B (Barra do Riacho) e Compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

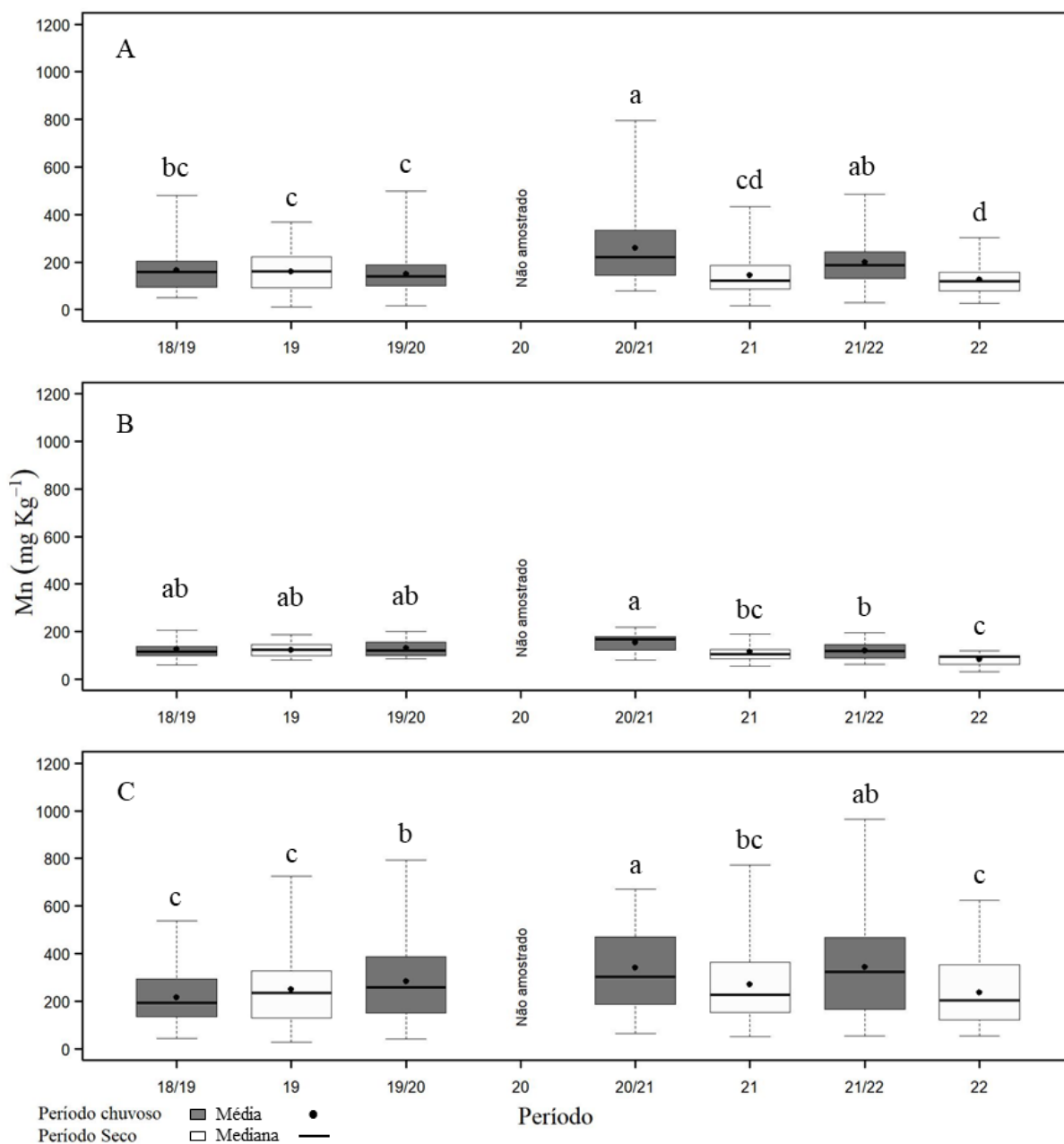


Figura 73: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de zinco foliar (Zn) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), Compartimento B (Barra do Riacho) e Compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

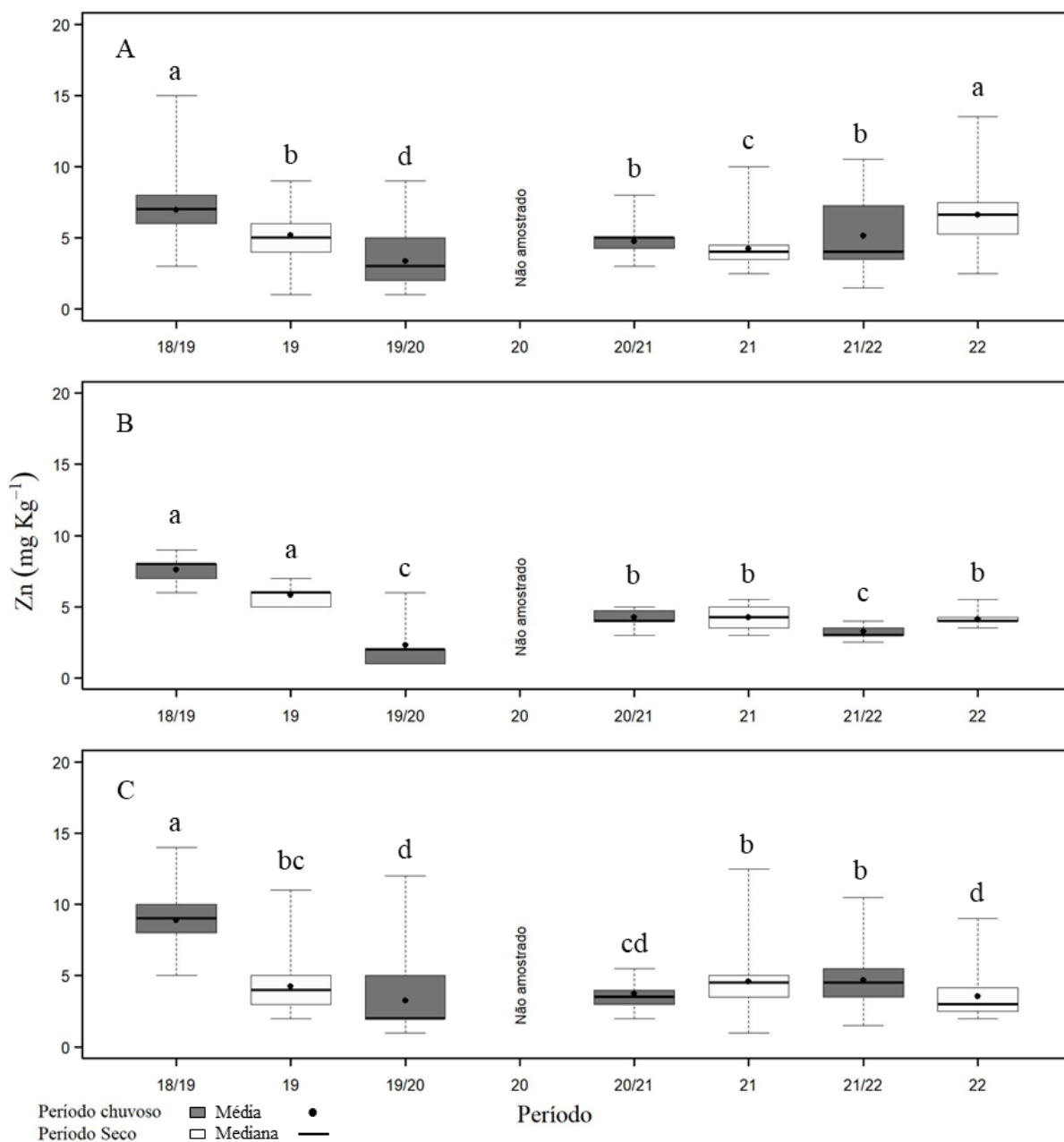


Figura 74: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de cobre foliar (Cu) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), Compartimento B (Barra do Riacho) e Compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

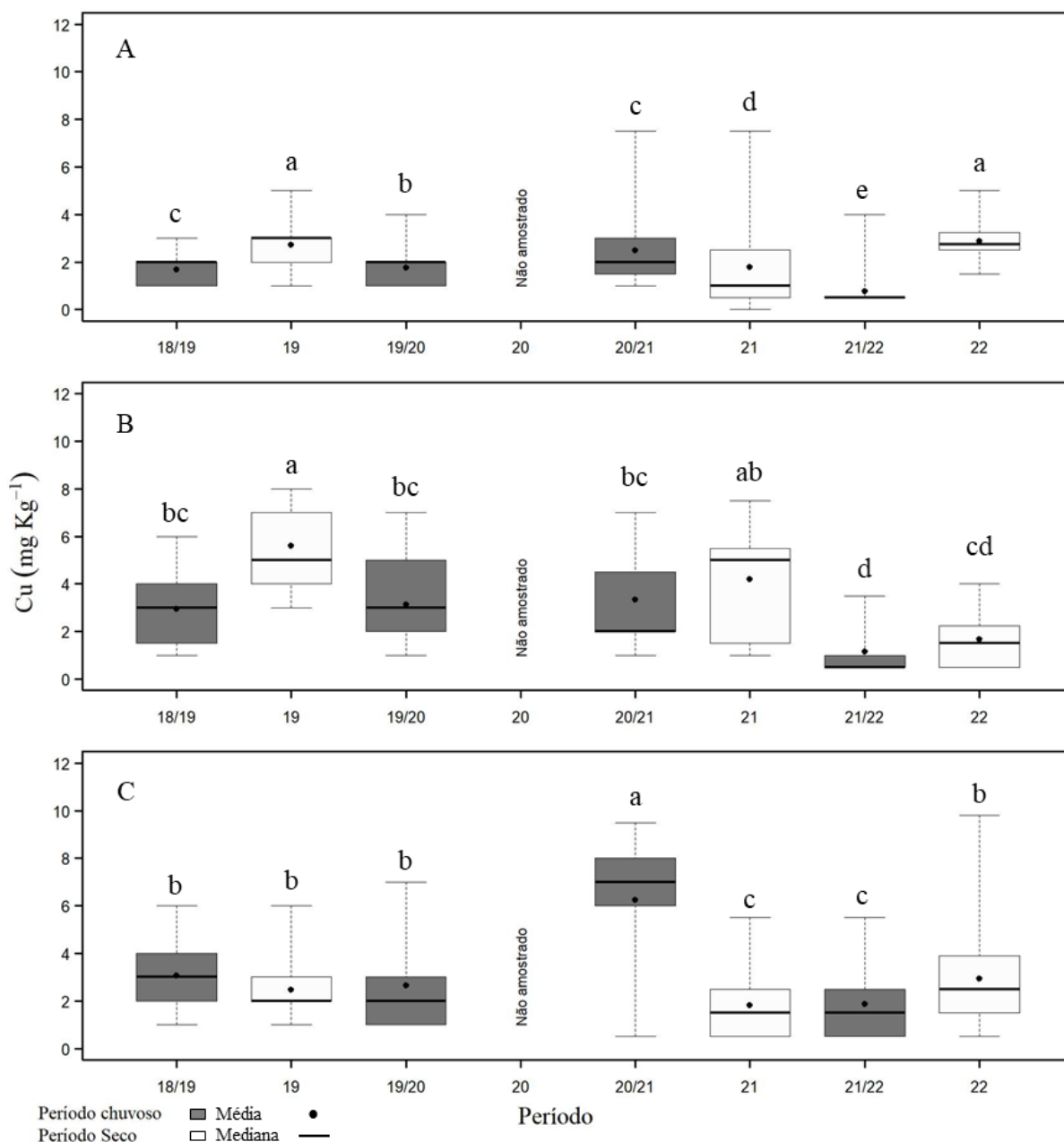
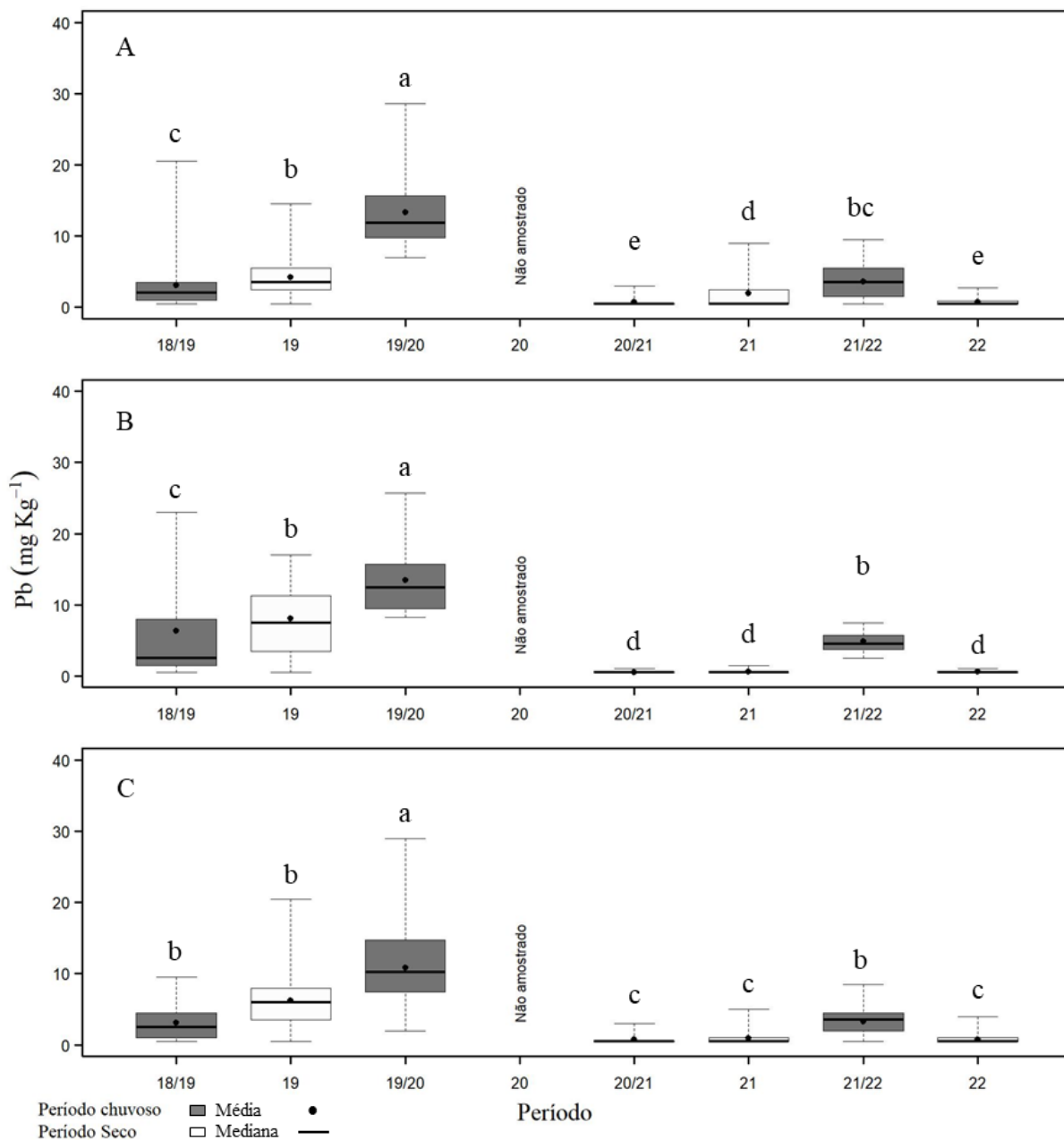


Figura 75: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de chumbo foliar (Pb) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas), Compartimento B (Barra do Riacho) e Compartimento C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Os dados de Fe foliar para *R. mangle* mostraram variação temporal ao longo do monitoramento, nos três compartimentos (A, B e C). Os maiores valores de Fe foram observados no período seco_19 em todos os compartimentos. No compartimento A, os menores valores do metal foram observados nos períodos Seco_21 e Chuvoso 21_22. Os compartimentos B e C mostraram comportamento semelhante de redução de ferro foliar a partir do período Chuvoso 20_21. Em relação aos estuários, o Fe também se destaca no período Seco_19, exceto em Caravelas. No geral, há tendência de queda ou estabilidade desses valores a partir do período Chuvoso 20_21 (Figura 71). Para o metal Mn, maiores concentrações foram observadas no período Chuvoso 20_21, nos três compartimentos, com redução de valores a partir desse período no compartimento B. Nos compartimentos A e C, observou-se redução de Mn no período Seco_21, recuperação no período Chuvoso 21_22 e redução novamente no período Seco_22 (Figura 72). Para o metal Zn, maiores valores foram observados nos períodos Chuvoso 18_19 e Seco_22 no compartimento A. No compartimento B, houve maior valor de Zn nos períodos Chuvoso 18_19 e Seco_19, com tendência de estabilidade nos demais períodos. No compartimento C, observou-se grande variação em relação aos valores de Zn, destacando-se o período Chuvoso 18_19 com maior valor e uma tendência de instabilidade para as médias dos demais períodos (Figura 73). Para Cu, não houve um comportamento característico entre os compartimentos, cada um apresentando uma particularidade. O compartimento A apresentou maiores valores de Cu nos períodos Seco_19 e Seco_22. Nos demais períodos, houve redução desses valores, com destaque para o período Chuvoso 21_22. No compartimento B, observou-se altos valores de Cu nos períodos Seco_19 e Seco_21. Entretanto, sem confirmação de tendência de maiores valores do metal nos períodos secos para *R. mangle*. No compartimento C, observou-se que o período Chuvoso 20_21 concentrou maiores valores do metal, sendo que nos demais períodos houve diminuição (Figura 74). Em relação ao Pb foliar, maior concentração foi observada no período Chuvoso 19_20, nos três compartimentos. Nos demais períodos, houve variação nas concentrações do metal com baixíssimos valores no último período analisado (Figura 75).

Figura 76: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de ferro foliar (Fe) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

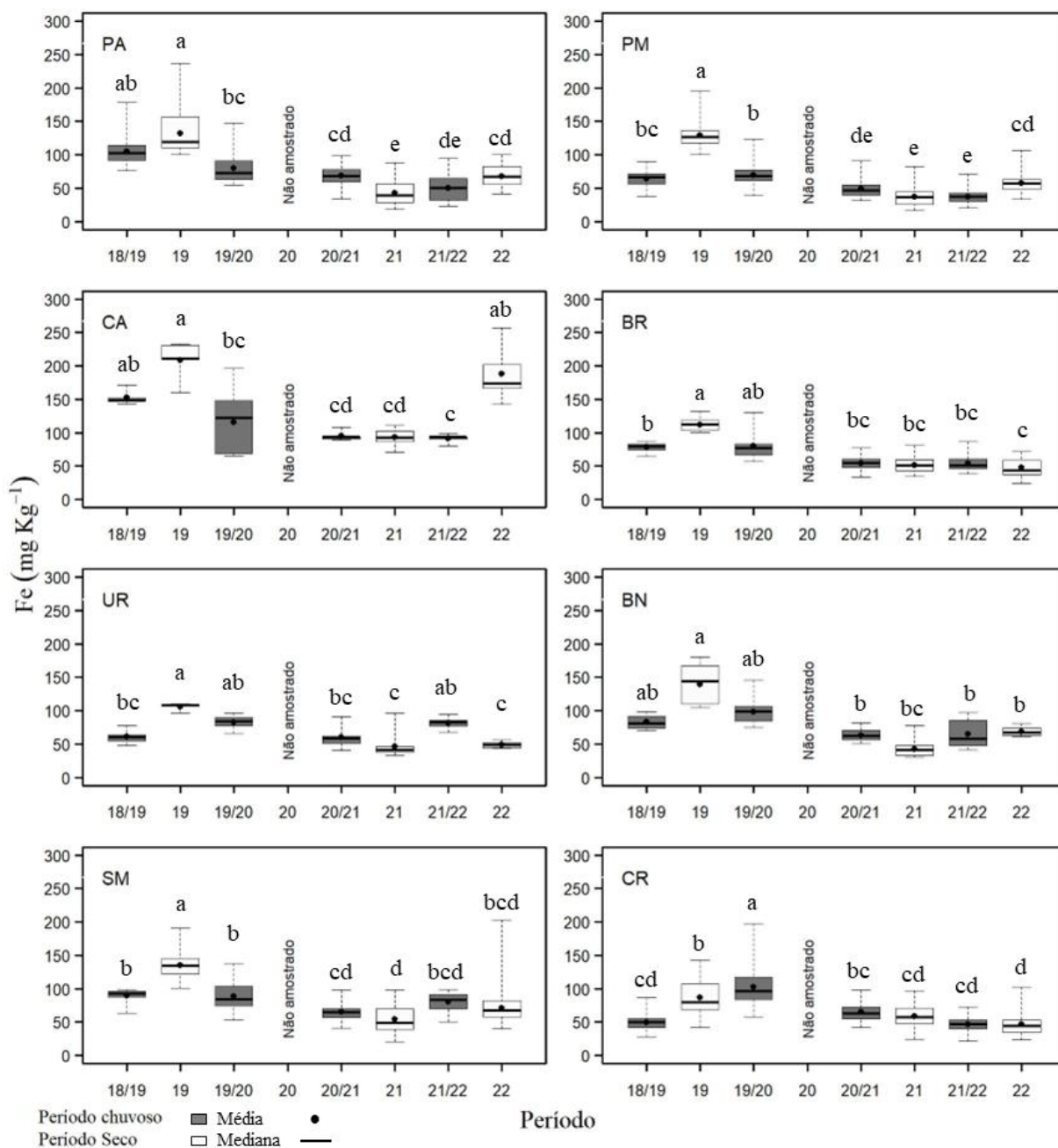


Figura 77: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de manganês foliar (Mn) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

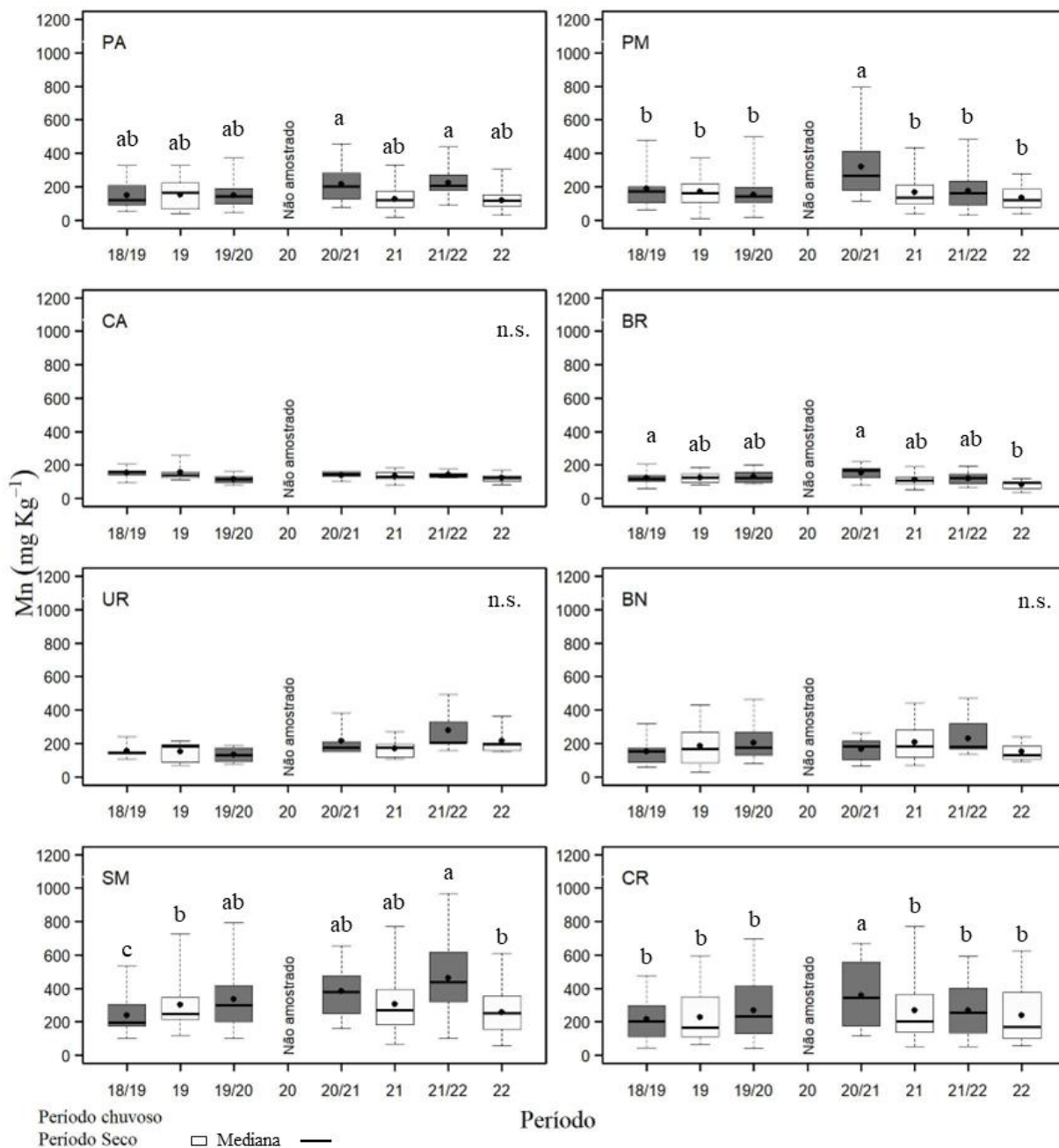


Figura 78: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de zinco foliar (Zn) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

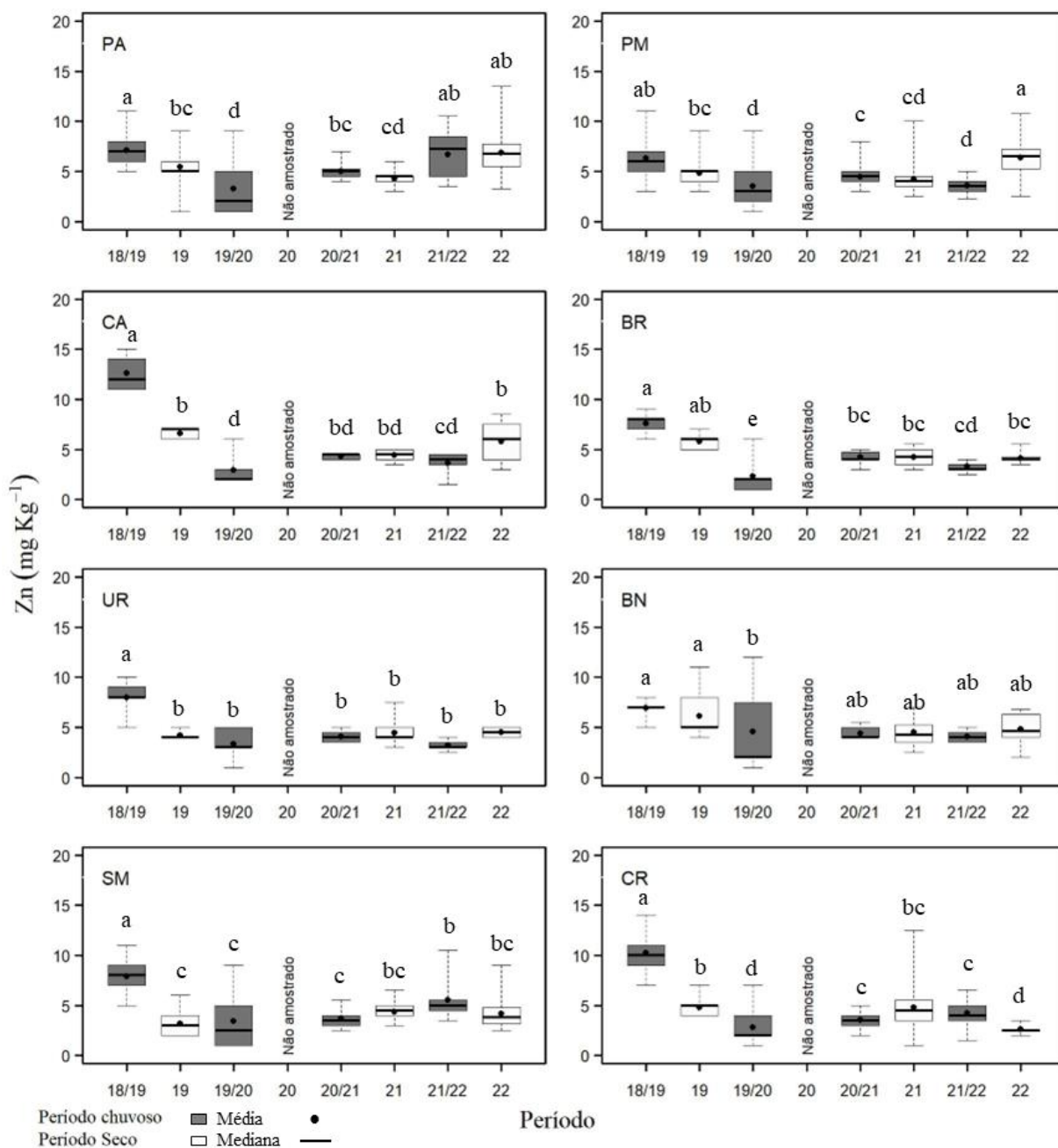


Figura 79: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de cobre foliar (Cu) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

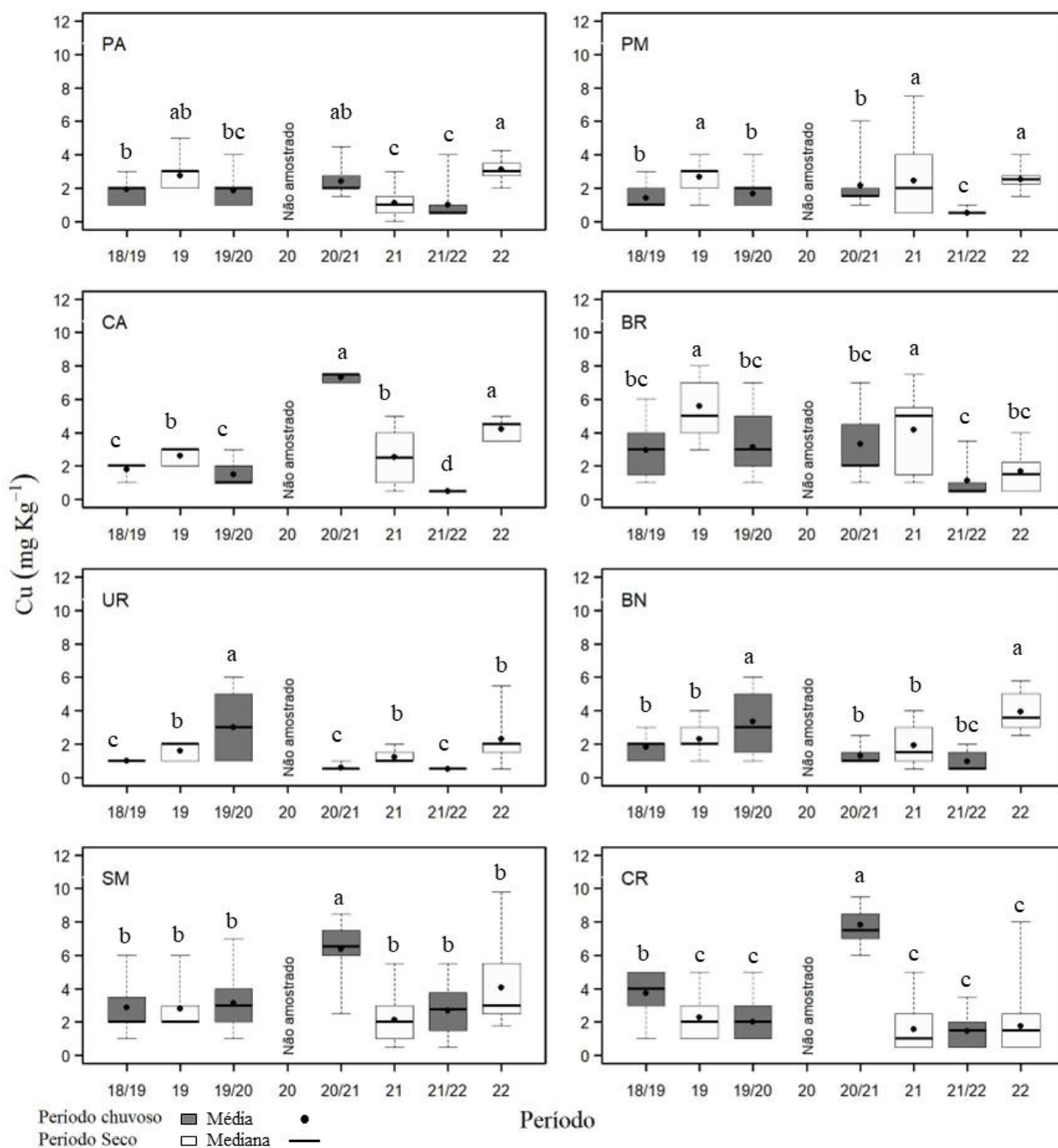
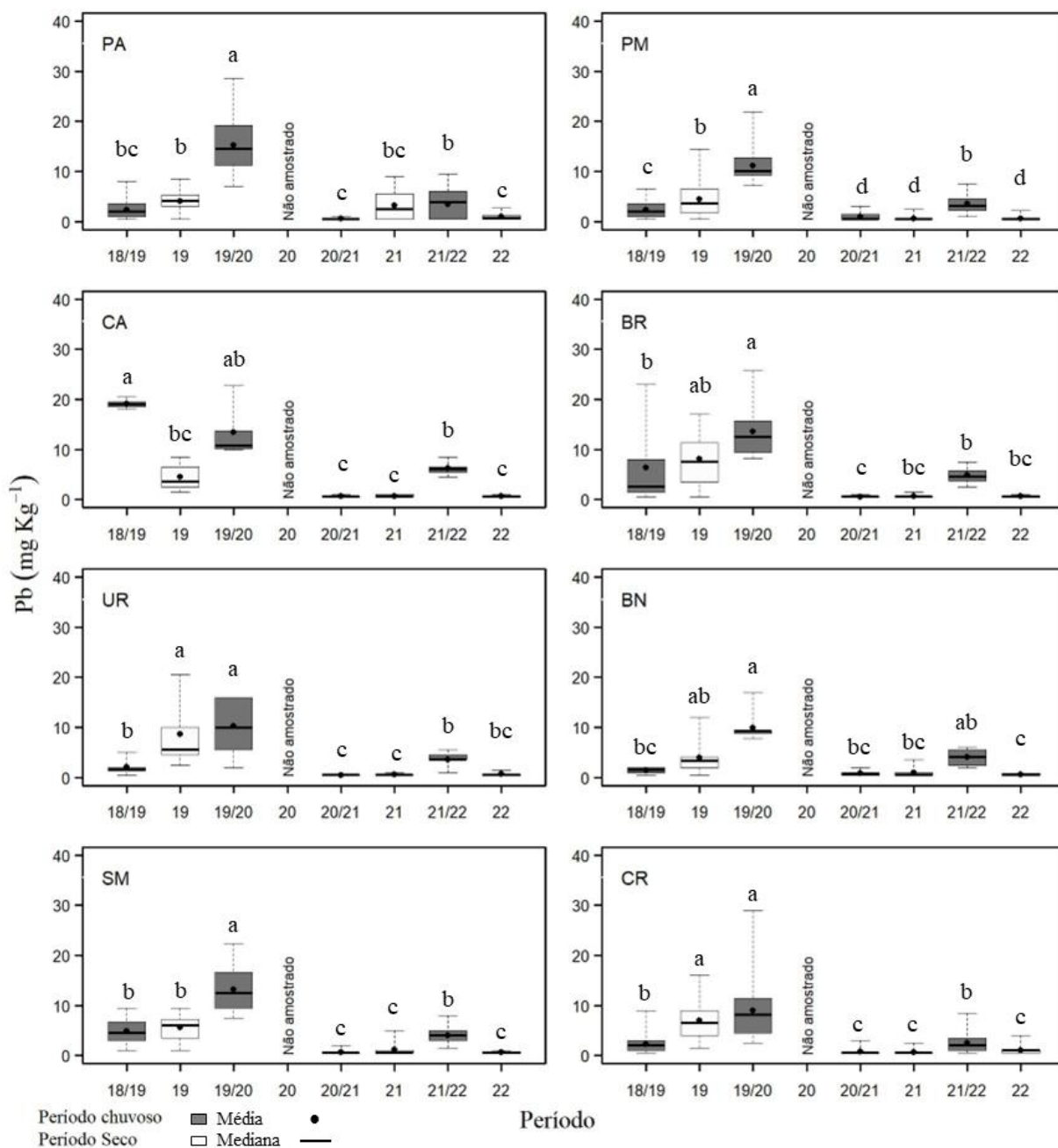


Figura 80: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de chumbo foliar (Pb) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Observou-se maiores concentrações de Fe foliar nos estuários do Piraquê-Açú, Piraquê-Mirim e Costa das Algas no período Seco_22 para as plantas de *R. mangle*. Em Barra do Riacho e Urussuquara houve diminuição nos valores do metal enquanto que em Barra Nova, São Mateus e Caravelas observou-se manutenção dos valores no último período analisado. O Fe se destaca com maior concentração foliar no período Seco_19, exceto em Caravelas (Figura 76). Houve destaque para Mn no período Chuvoso 20_21 nos estuários do Piraquê-Açú, Piraquê-Mirim, Barra do Riacho e Caravelas. Em Costa das Algas, Urussuquara e Barra Nova não houve diferença significativa para o metal nos períodos analisados (Figura 77). No geral, o período Chuvoso 18_19 teve maior valor para Zn, seguido de queda ou estabilidade nos demais períodos. Entretanto, observou-se que no Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim houve recuperação de Zn no período Seco_22 e em Barra Nova houve recuperação nos valores do metal a partir do período Chuvoso 20_21 (Figura 78). Os valores de Cu variaram muito entre os períodos. Pode-se destacar os estuários Piraquê-Açú, com maior concentração do metal no período Seco_22, Piraquê-Mirim nos períodos Seco_19, Seco_21 e Seco_22, Costa das Algas nos períodos Chuvoso 20_21 e Seco_22, Barra do Riacho nos períodos Secos 19 e 21, Urussuquara com maior concentração de Cu apenas no período Chuvoso 19_20, Barra Nova nos períodos Chuvoso 19_20 e Seco_22 e São Mateus e Caravelas no período Chuvoso 20_21 (Figura 79). A maior representação de Pb ocorreu no período Chuvoso 19_20, com redução desses valores nos demais períodos (Figura 80).

Figura 81: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração ferro foliar(Fe) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

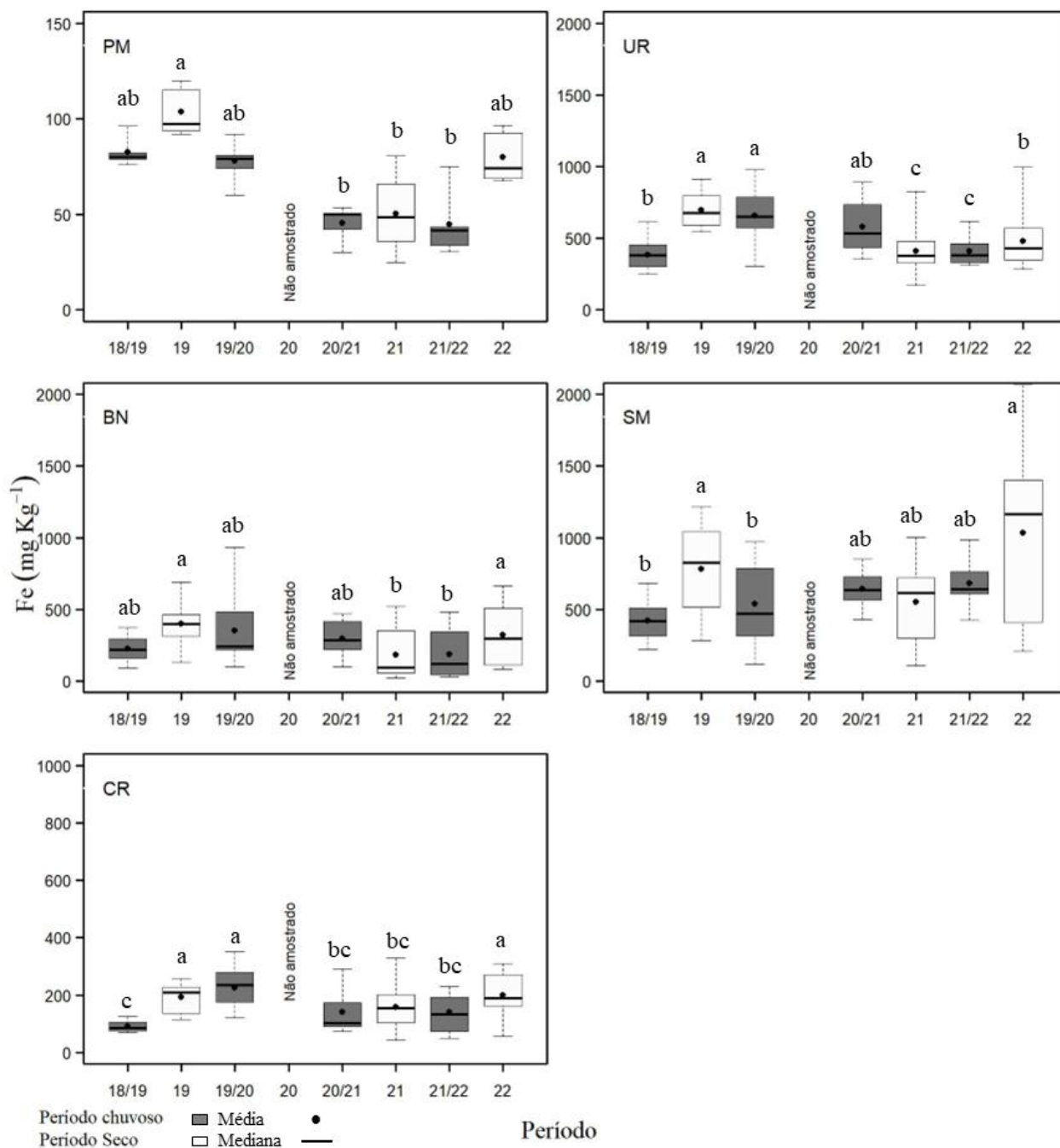


Figura 82: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração manganês foliar (Mn) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

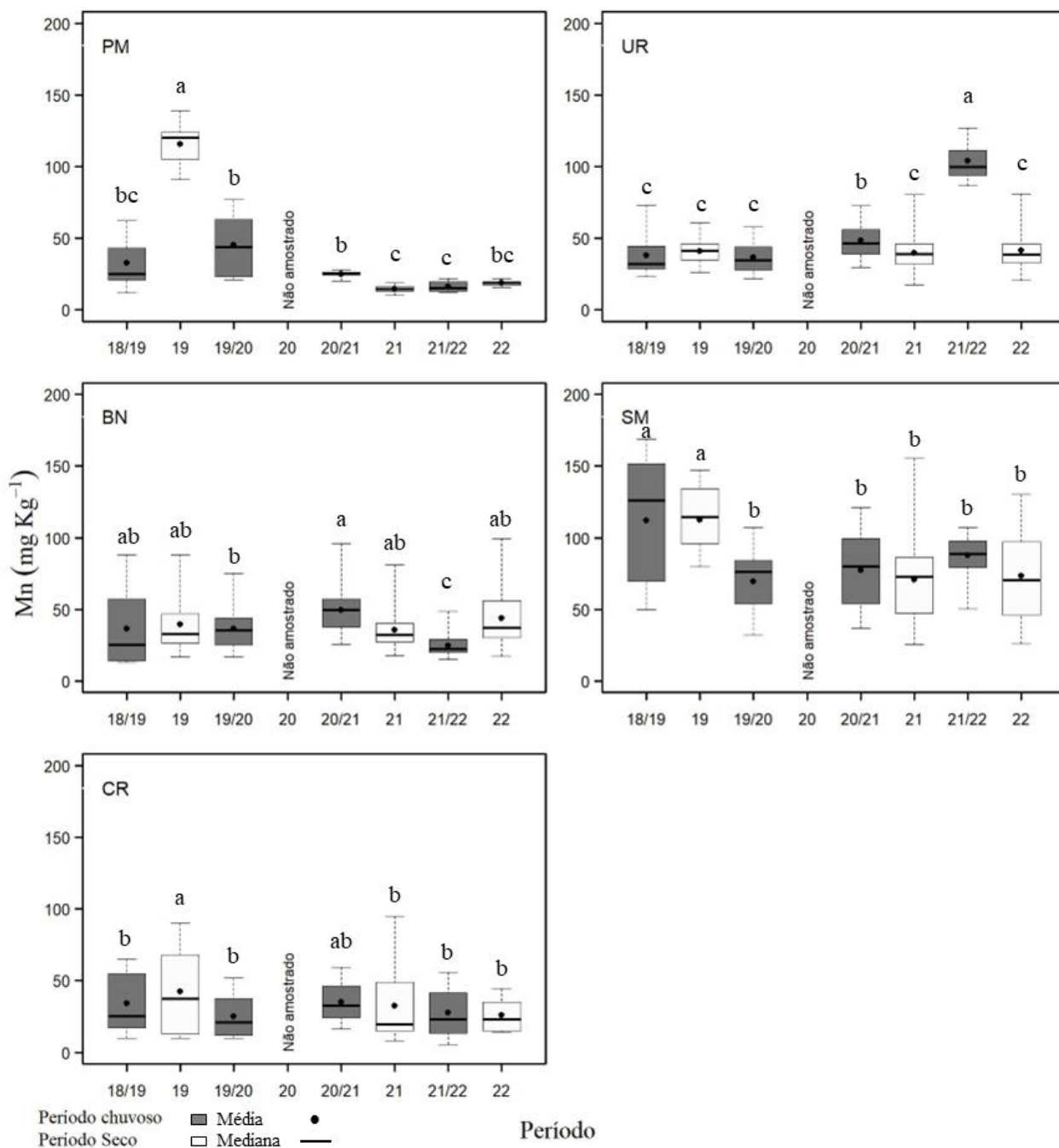


Figura 83: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração zinco foliar (Zn) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

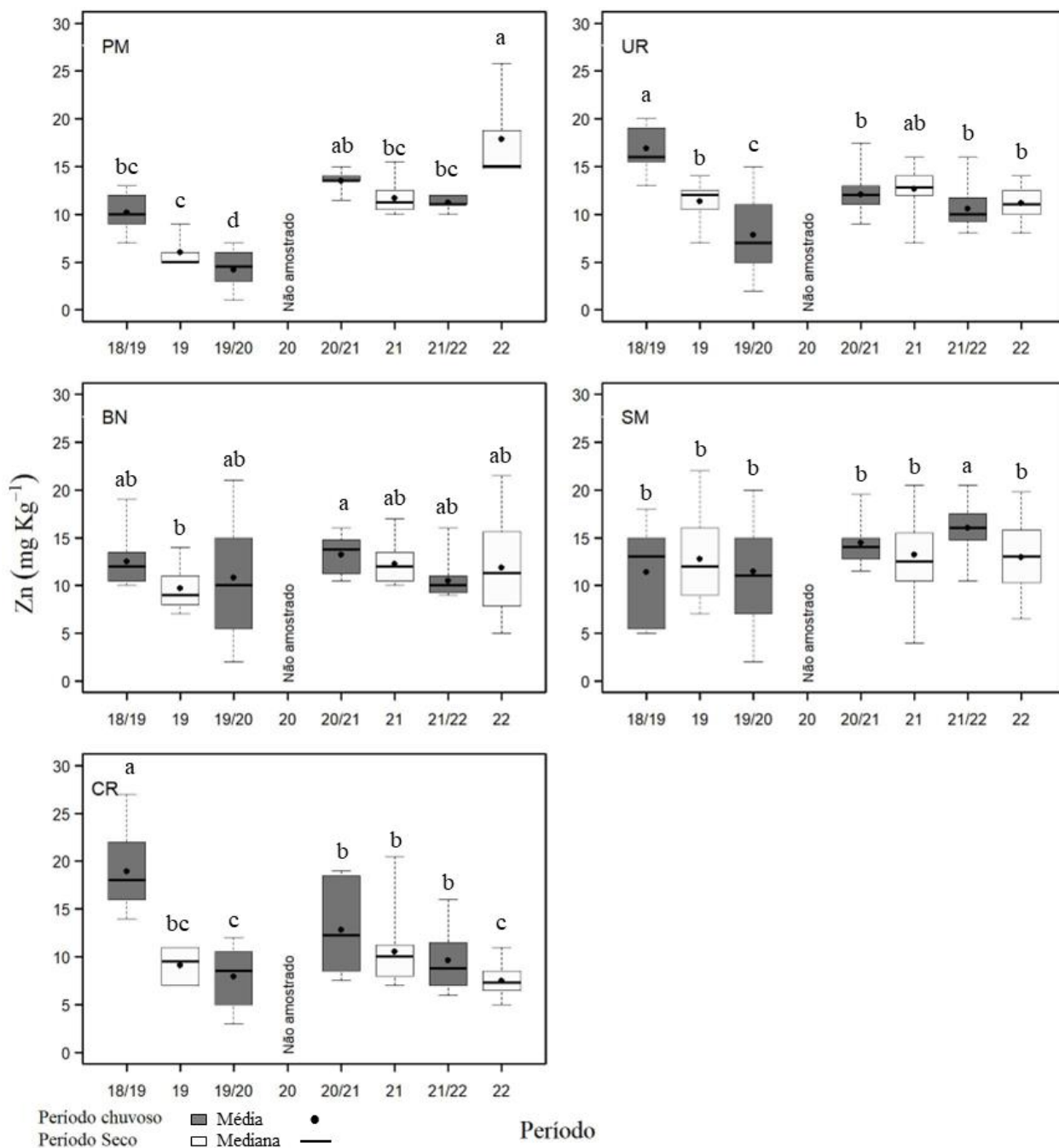


Figura 84: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração cobre foliar (Cu) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

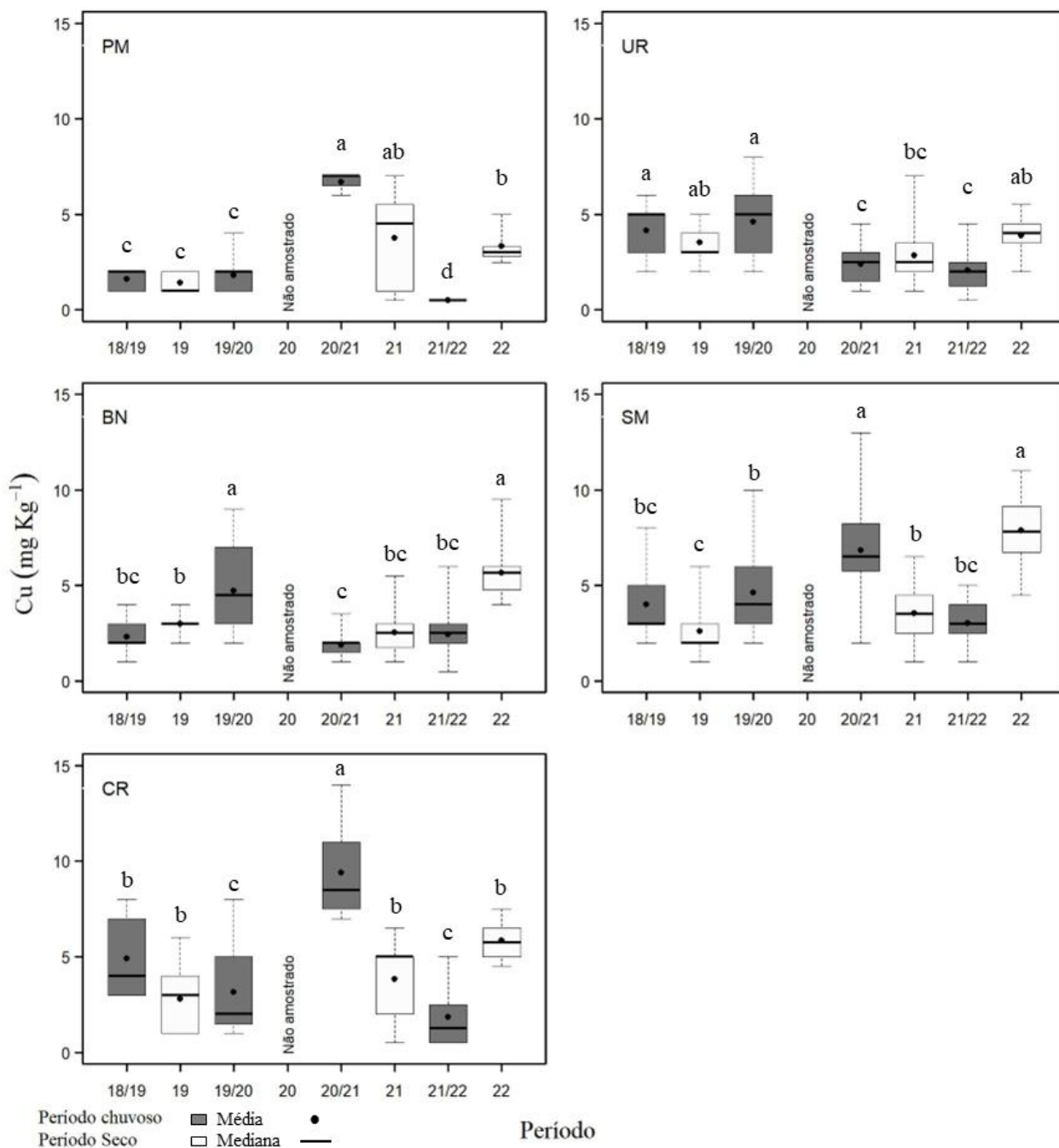
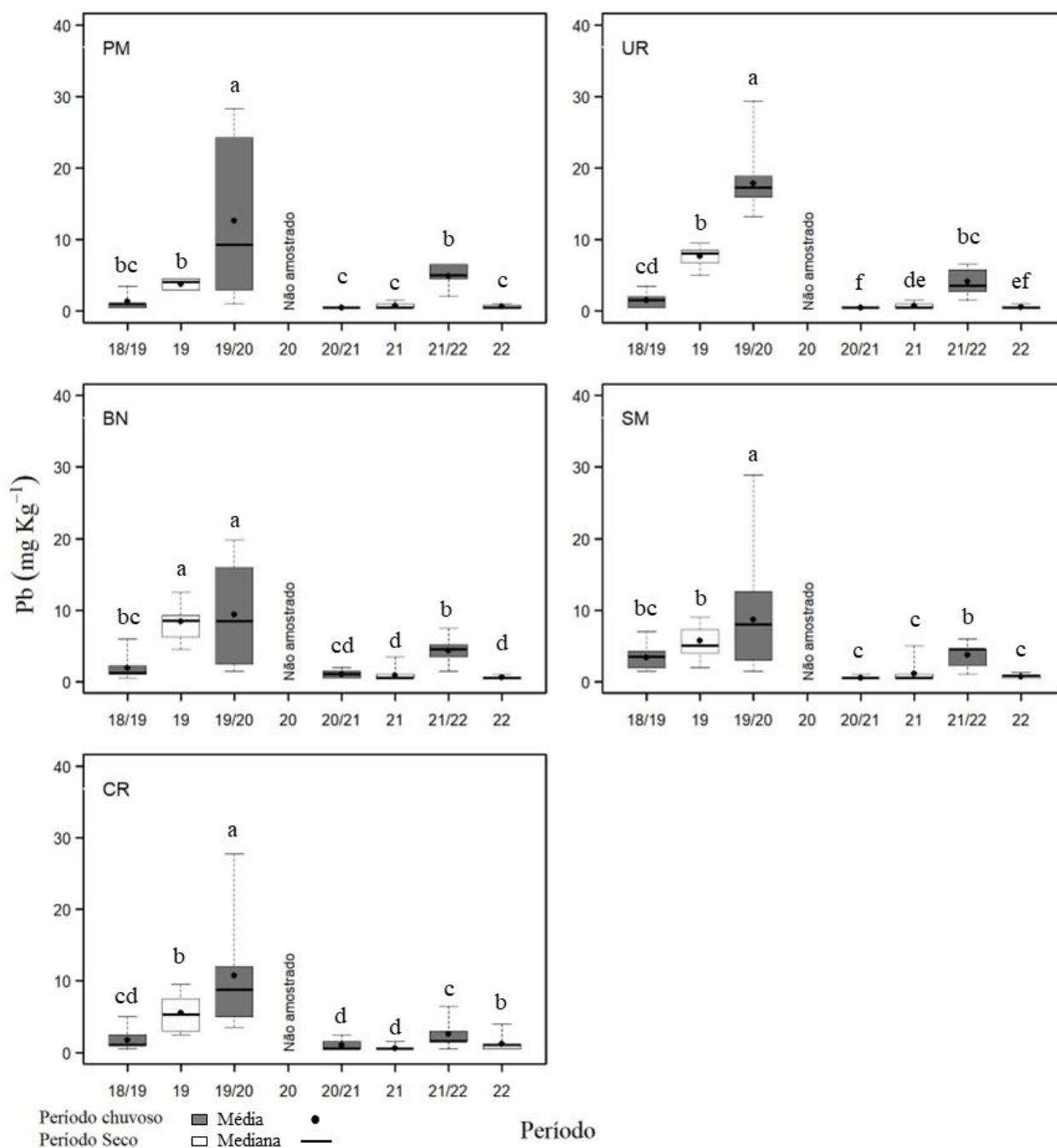


Figura 85: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração chumbo foliar (Pb) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco/2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários do Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Para *L. racemosa*, houve aumento na concentração de Fe foliar no período Seco_22 em Piraquê-Mirim, Barra Nova, São Mateus e Caravelas, com valores próximos aos do período Seco_19 (Figura 81). Para Mn, houve manutenção de valores nos estuários do Piraquê-Mirim, São Mateus e Caravelas, a partir dos períodos Chuvoso 19_20. Em Urussuquara e Barra Nova, todos os períodos secos mantiveram concentrações similares de Mn. O mesmo não foi observado para os períodos chuvosos (Figura 82). Houve aumento nos valores de Zn no período Seco_22 no Piraquê-Mirim. Os demais estuários apresentaram redução (São Mateus e Caravelas) ou manutenção (Urussuquara e Barra Nova) na concentração do metal (Figura 83). Para Cu, observou-se aumento da concentração no período Seco_22 em todos os estuários, mas sem apresentar um padrão em relação aos demais períodos (Figura 84). Houve redução de Pb foliar em todos os estuários no período Seco_22. O período Chuvoso 19_20 foi o que apresentou maior concentração do metal, comparativamente aos demais períodos analisados (Figura 85).

Figura 86: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foliar de *Avicennia schaueriana* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários de Costa das Algas e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

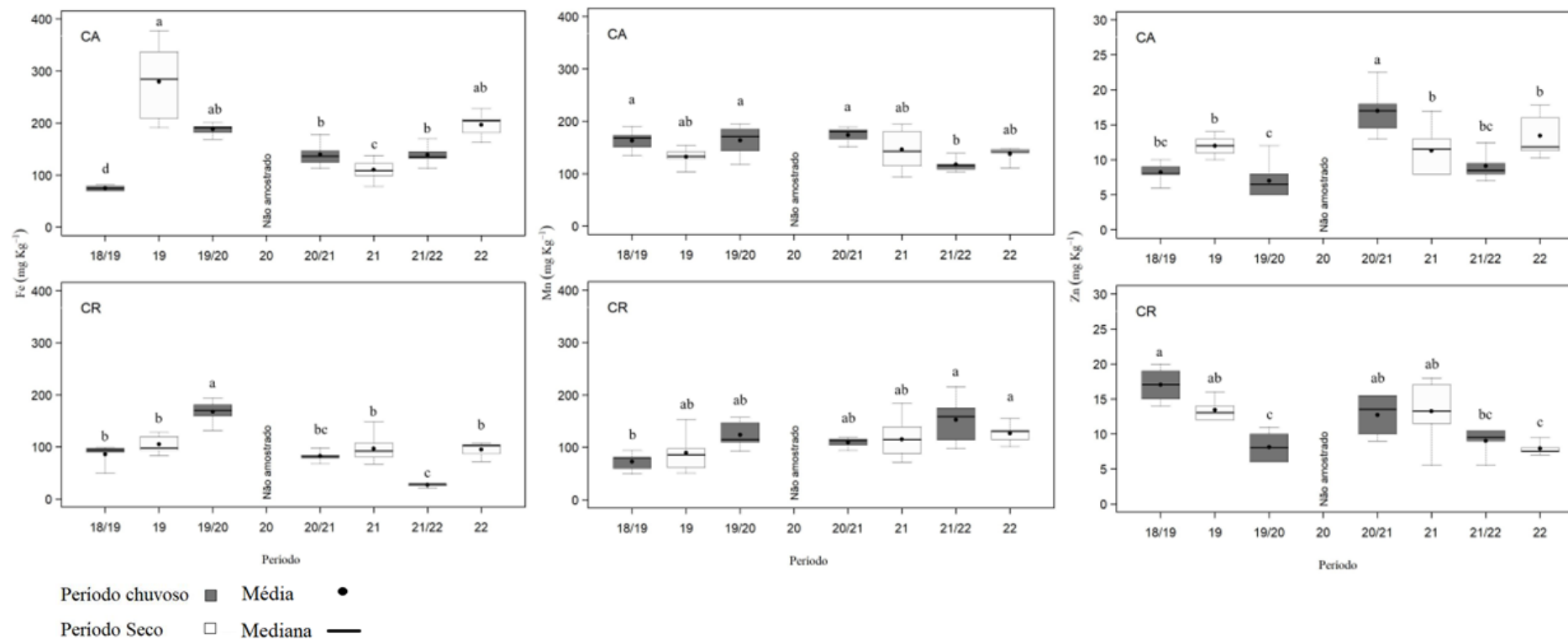
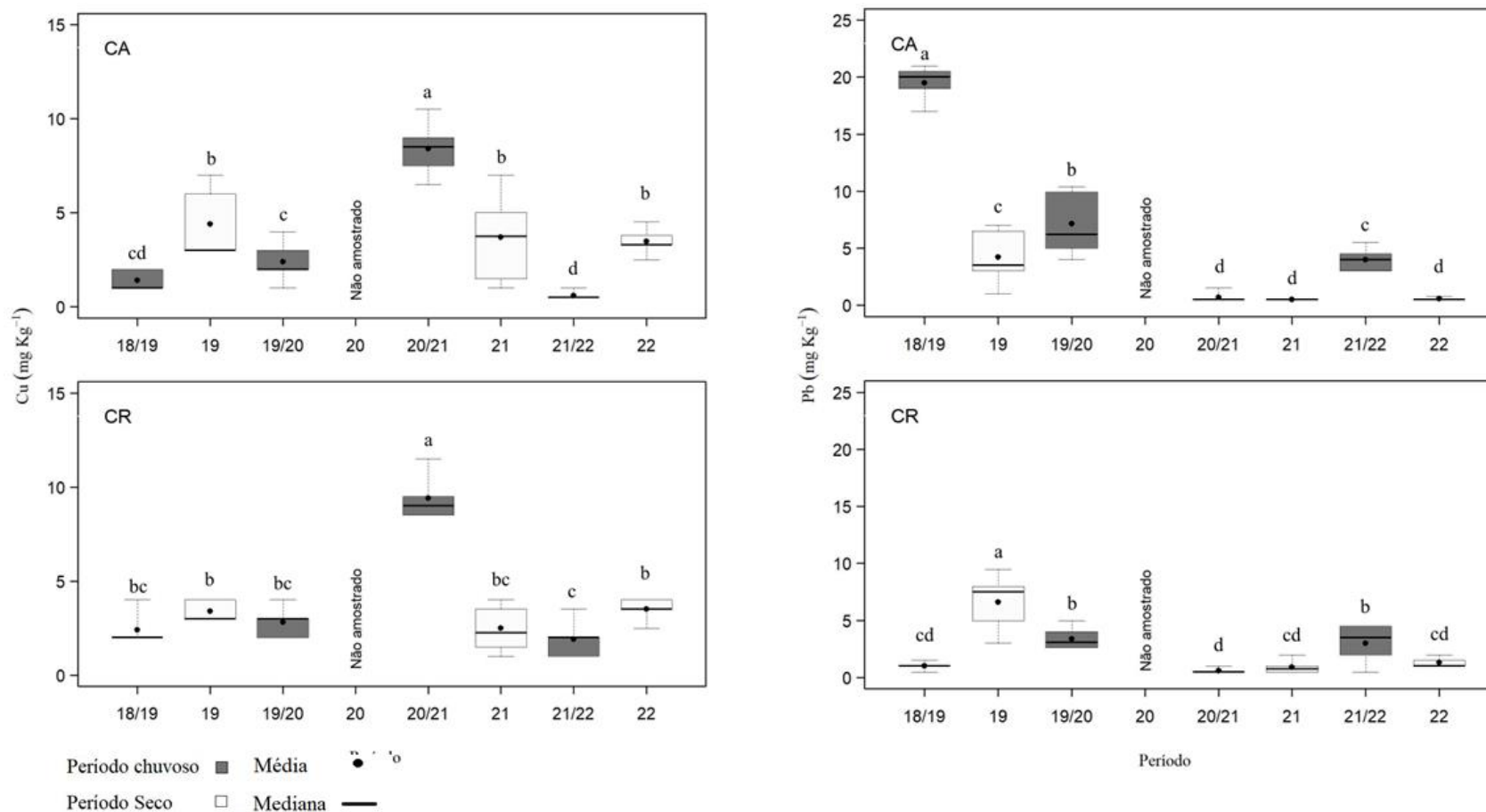
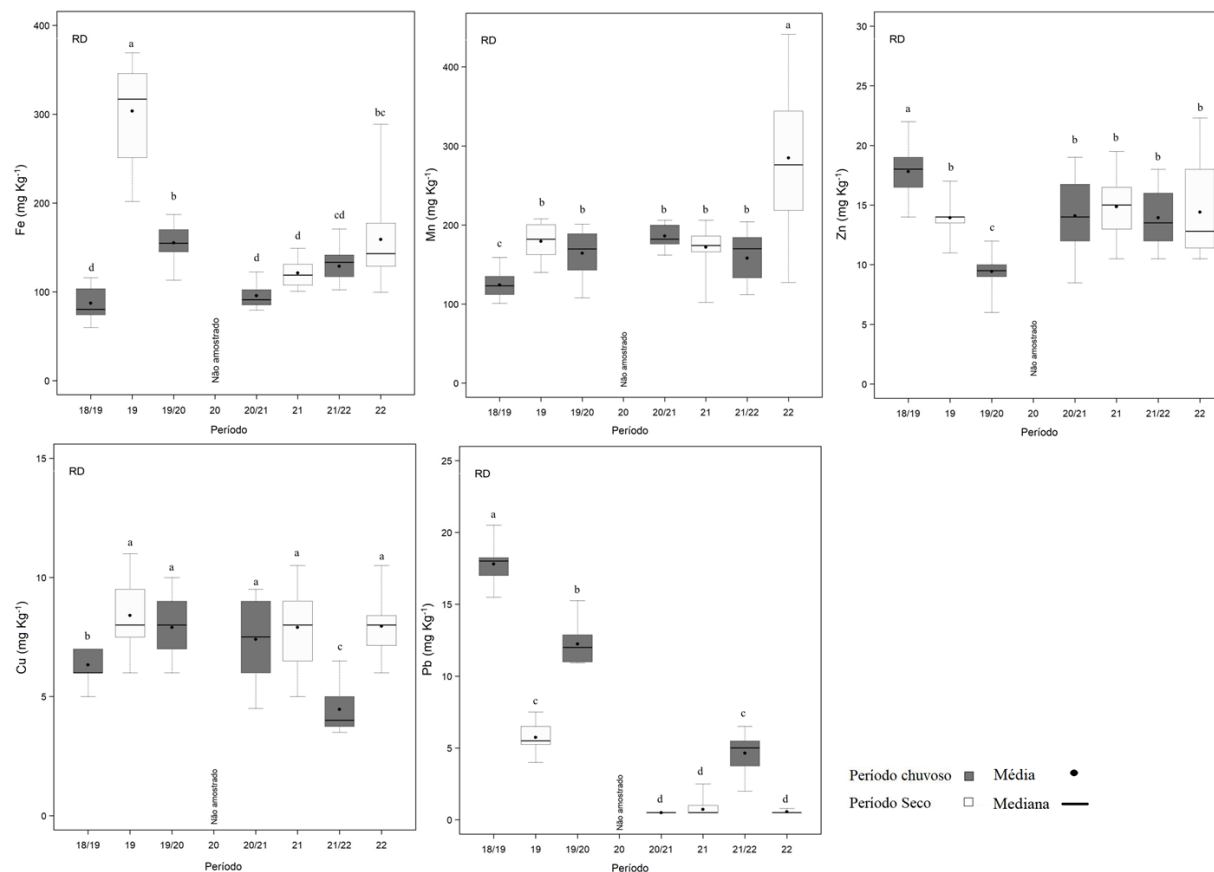


Figura 87: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de cobre foliar (Cu) e chumbo foliar (Pb) de *Avicennia schaueriana* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários de Costa das Algas e Caravelas. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Nas plantas de *A. schaueriana*, houve aumento de Fe foliar no período Seco_22 em Costa das Algas com valores comparáveis aos do período Chuvoso 19_20, mas sem atingir a maior concentração encontrada no período Seco_19. Em Caravelas, o período Seco_22 pode ser comparado aos demais períodos secos do monitoramento. Em relação ao último período analisado (Chuvoso 21_22) houve aumento na concentração de Fe (Figura 86). Para Mn, Zn e Cu foliar analisados em Costa das Algas, houve similaridade entre os períodos Seco_19, Seco_21 e Seco_22. Em relação ao último período analisado (Chuvoso 21_22) houve aumento nos valores dos três metais (Figura 86 e Figura 87). Em Caravelas, houve manutenção de Mn nos períodos Chuvoso 21_22 e Seco_22, com os maiores valores do metal encontrados durante todo o monitoramento. Houve redução nos valores de Zn e Pb no período Seco_22 comparados ao último período analisado e aumento nos valores de Cu (Figura 86 e Figura 87).

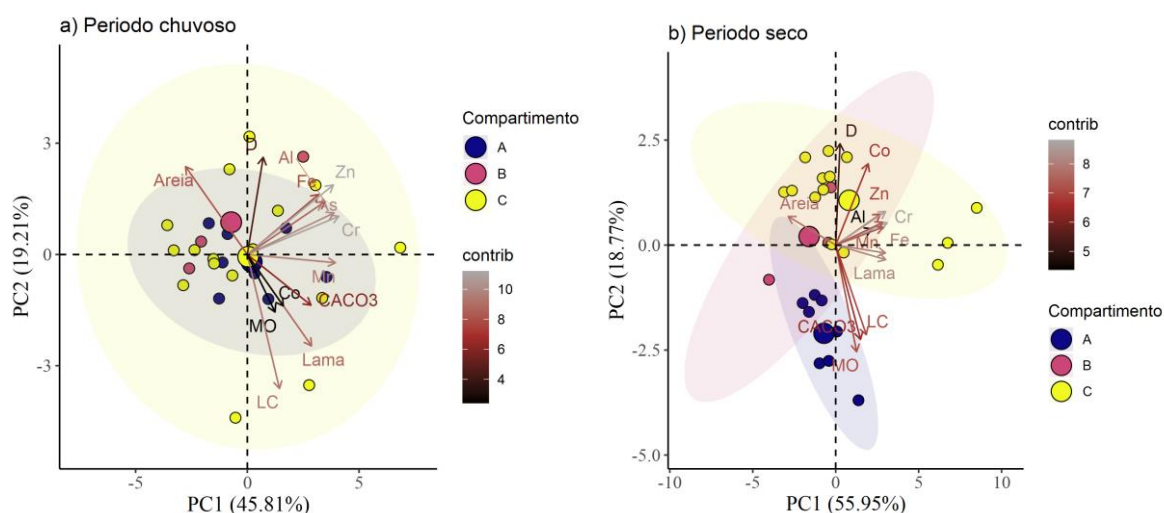
Figura 88: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração foliar de ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb), mande de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, no estuário do Rio Doce. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Houve aumento na concentração de Fe, Mn e Cu no período Seco₂₂ em relação ao último período analisado (Chuvoso 21₂₂) para a espécie *T. pernambucense*. Destaca-se o Mn, com os maiores valores encontrados durante todo o monitoramento. Houve manutenção nos valores de Zn a partir do período Chuvoso 20₂₁ e redução de Pb no período Seco₂₂, com valores similares ao Seco₂₁.

3.3 DECAPODA

Figura 89: Indicador Ecológico Decapoda – Análise de componente principal (ACP) entre os parâmetros populacionais (Densidade e Largura do cefalotórax) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), granulometria (teor de areia e lama %), matéria orgânica (MO %), carbonato de cálcio (CaCO_3 %), concentração (mg/kg) de Alumínio (Al), Arsênio (As), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Fe (Ferro), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no sedimento no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a setembro/2022) considerando todos os períodos (a) chuvosos e (b) secos nos compartimentos A (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim), B (Barra do Riacho) e C (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas)



As representações gráficas bidimensionais destas análises indicaram que 65.02% e 74.72% da variância total dos dados foi explicada pelos dois componentes (eixo 1 e 2) nos períodos chuvosos e secos (b), respectivamente. Os parâmetros populacionais de *U. cordatus* e ambientais dos manguezais em Costa das Algas e Rio Doce não foram inseridos nesta análise justificado pelas particularidades em sua fisionomia, geomorfologia e hidrodinâmica. Houve sobreposição dos compartimentos no período chuvoso, onde indivíduos com os maiores tamanhos foram associados com estuários mais lamosos. Al, As, Cr, Fe, Mn e Zn mostraram fortes relações com a componente 1. Co e matéria orgânica apresentaram baixa contribuição para a formação das componentes. A componente 2 foi composta principalmente pela D e LC, onde apresentaram relação positiva e negativa com o eixo, respectivamente. A separação entre os estuários correspondentes a cada compartimento ficou evidente no período seco. O compartimento A associou com o CaCO_3 , LC e lama, indicando que as maiores classes de tamanho e as populações menos densas, representado pela relação inversa com D, ocupam bosques mais lamosos e estuários com maior influência marinha, situados ao sul do Rio Doce. Apesar da leve sobreposição observada entre os compartimentos B, o qual destaca-se pela influência e aporte via bacia do Rio Doce, e C no período seco, houve separação do compartimento A. Neste período, o compartimento C continuou associado as maiores concentrações de metais no sedimento, com presença marcante de Cr, Mn e Zn, e exibiu as maiores densidades dentre os compartimentos, entretanto, populações com os menores tamanhos médios de carapaça.

Tabela 1: Indicador Ecológico Decapoda – Resultado da correlação e *p*-valor entre os parâmetros populacionais densidade (D) e largura do cefalotórax (LC) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), e concentração (mg/kg) de metais no sedimento (Al, As, Ba, Co, Cr, Fe, Mn, Pb, V, Zn) e nas folhas (Al, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) considerando todos os períodos chuvosos e secos no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a setembro/2022) em cada área monitorada. Legenda: CA - Costa das Algas, PA - Piraquê-Açu, PM - Piraquê-Mirim, BR - Barra do Riacho, RD - Rio Doce, UR - Urussuquara, BN - Barra Nova, SM - São Mateus, CR - Caravelas.

Estuário	Variáveis	r	p
PA	D x Mn.f	0.49	< 0.01
	LC x V	0.35	< 0.01
	LC x Co	0.48	< 0.01
	LC x Cu	0.54	< 0.01
	LC x Pb	0.50	< 0.01
	LC x Cr	0.37	< 0.01
	LC x Fe	0.40	< 0.01
	LC x Al	0.43	< 0.01
	LC x Zn	0.48	< 0.01
	LC x Zn.f	0.33	< 0.01
	LC x Pb.f	-0.37	< 0.01
	LC x Al.f	0.29	0.01
PM	D x Co	-0.30	< 0.01
	D x Pb	-0.24	0.03
	D x Cr	-0.30	< 0.01
	D x Fe	-0.28	0.01
	D x Al	-0.28	0.01
	D x Mn.f	-0.31	< 0.01
	D x Zn	-0.31	< 0.01
	LC x V	0.61	< 0.01
	LC x Co	0.66	< 0.01
	LC x Pb	0.64	< 0.01
	LC x Cr	0.64	< 0.01
	LC x Fe	0.57	< 0.01

Estuário	Variáveis	r	p
	LC x Al	0.59	< 0.01
	LC x Mn	0.65	< 0.01
	LC x Zn	0.67	< 0.01
	LC x Mn.f	0.46	< 0.01
CA	D x Pb.f	0.69	0.03
	LC x V	0.76	0.01
	LC x Co	0.81	< 0.01
	LC x As	0.96	< 0.01
	LC x Ba	0.73	0.02
	LC x Cr	0.84	< 0.01
	LC x Fe	0.77	0.01
	LC x Zn	0.89	< 0.01
BR	D x Mn.f	0.70	< 0.01
	LC x Co	0.65	0.01
	LC x Cu.f	-0.59	0.03
RD	D x LC	-0.98	< 0.01
UR	D x Al	0.40	0.04
	LC x Zn.f	0.60	< 0.01
	LC x Al.f	-0.49	0.01
BN	D X Co	-0.36	0.02
	D x Pb	-0.34	0.03
	D x Mn	-0.51	< 0.01
	D x Fe.f	0.45	< 0.01
	LC x V	0.60	< 0.01
	LC x Co	0.55	< 0.01
	LC x As	0.60	< 0.01
	LC x Ba	0.55	< 0.01
	LC x Pb	0.56	< 0.01

Estuário	Variáveis	r	p
	LC x Cr	0.53	< 0.01
	LC x Fe	0.51	< 0.01
	LC x Al	0.54	< 0.01
	LC x Zn	0.58	< 0.01
	LC x Fe.f	-0.55	< 0.01
	LC x Zn.f	-0.63	< 0.01
	LC x Cu.f	-0.54	< 0.01
	LC x Mn.f	0.80	< 0.01
	LC x Pb.f	-0.33	0.04
SM	D x Ba	0.30	< 0.01
	D x Al	0.29	0.01
	D x Fe.f	0.44	< 0.01
	LC x V	0.43	< 0.01
	LC x As	0.32	< 0.01
	LC x Ba	0.43	< 0.01
	LC x Pb	0.48	< 0.01
	LC x Cr	0.42	< 0.01
	LC x Fe	0.33	< 0.01
	LC x Al	0.29	0.01
	LC x Mn	0.33	< 0.01
	LC x Zn	0.39	< 0.01
	LC x Fe.f	0.27	0.01
	LC x Zn.f	0.25	0.02
	LC x Cu.f	0.27	0.01
CR	D x LC	-0.56	< 0.01
	D x V	0.32	< 0.01
	D x As	0.37	< 0.01
	D x Ba	0.42	< 0.01

Estuário	Variáveis	r	p
	D x Pb	0.42	< 0.01
	D x Cr	0.46	< 0.01
	D x Fe	0.27	0.01
	D x Al	0.23	0.04
	D x Zn	0.48	< 0.01
	D x Cu.f	0.24	0.04
	D x Pb.f	-0.31	< 0.01
	LC x V	-0.33	< 0.01
	LC x As	-0.50	< 0.01
	LC x Ba	-0.44	< 0.01
	LC x Pb	-0.53	< 0.01
	LC x Cr	-0.63	< 0.01
	LC x Fe	-0.44	< 0.01
	LC x Mn	-0.35	< 0.01
	LC x Zn	-0.66	< 0.01
	LC x Cu.f	-0.30	< 0.01
	LC x Pb.f	0.58	< 0.01

Populações de *U. cordatus* com maior tamanho médio de carapaça e frequência relativa de adultos e/ou tamanho comercial foram correlacionadas com os bosques que apresentaram elevadas concentrações de metais no sedimento. Essa relação com metais específicos variou em função dos manguezais. Destaca-se a relação significativa entre a concentração de chumbo nos compartimentos sedimento e folha e a D e/ou LC. No geral, populações mais densas e com menor tamanho estrutural dominaram os bosques com menor concentração de Pb no sedimento, exceto em Caravelas, onde as mais densas e com menor tamanho médio foram registradas em bosques com maior concentração deste elemento. Piraquê-Açu e Barra Nova apresentaram correlações negativas entre tamanho médio e Pb foliar, isto significa que as menores classes de tamanho ocuparam áreas onde a vegetação registrou maior concentração. Comportamento distinto ao observado em Caravelas, onde LC e Pb foliar foram correlacionadas positivamente. As particularidades estruturais, geomorfológicas e hidrodinâmicas de cada estuário ditam o perfil dos manguezais ao longo da costa Norte do Espírito Santo e Caravelas, como discutidos em relatórios anteriores, e estas forças irão reger as diferentes relações entre os parâmetros populações e a concentração de metais nos compartimentos bióticos e abióticos, refletindo nas diferentes respostas das populações de *U. cordatus*.

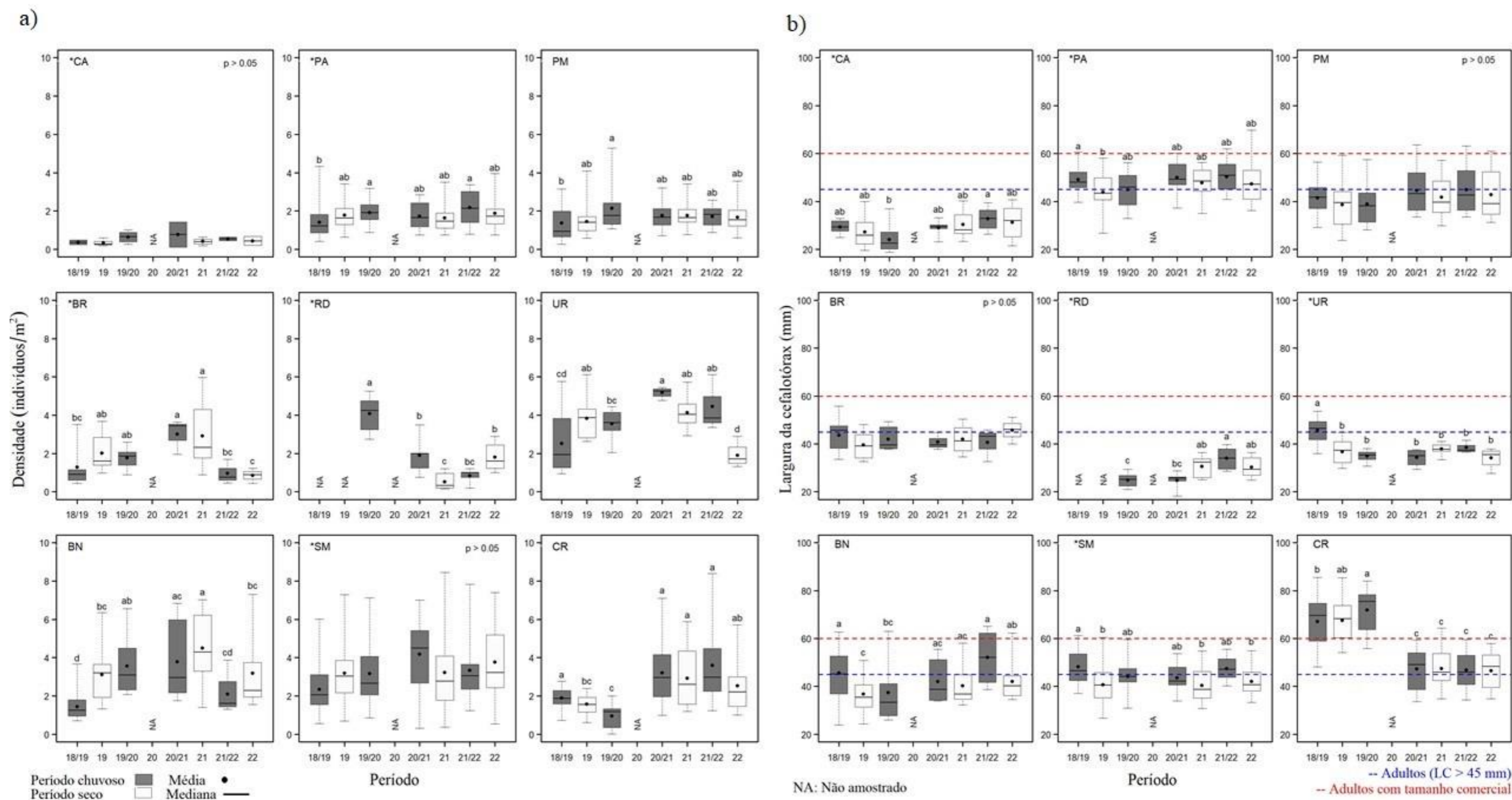
Tabela 2: Indicador Ecológico Decapoda – Resultado da correlação e *p*-valor entre os parâmetros populacionais densidade (D) e largura do cefalotórax (LC) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), e concentração (mg/kg) de metais no sedimento (Al, As, Ba, Co, Cr, Fe, Mn, Pb, V, Zn) e nas folhas (Al, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) considerando todos os períodos chuvosos e secos e agrupando todas as áreas monitoradas no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a setembro/2022).

Período	Variáveis	r	p
Chuvoso	D x LC	-0.39	< 0.01
	D x Fe.f	0.24	< 0.01
	D x Cu.f	0.30	< 0.01
	LC x V	0.23	< 0.01
	LC x Co	0.30	< 0.01
	LC x Cu	0.20	< 0.01
	LC x Pb	0.25	< 0.01
	LC x Cr	0.24	< 0.01
	LC x Fe	0.22	< 0.01
	LC x Al	0.27	< 0.01
	LC x Zn	0.25	< 0.01
	LC x Cu.f	-0.17	0.01
	LC x Pb.f	-0.23	< 0.01
	LC x Al.f	0.26	< 0.01
Seco	D x LC	-0.15	0.03
	D x Zn	0.17	0.01
	D x Fe.f	0.44	< 0.01
	D x Zn.f	0.22	< 0.01
	D x Cu.f	0.16	0.02
	D x Al.f	0.20	0.02
	LC x V	0.50	< 0.01
	LC x As	0.27	< 0.01
	LC x Pb	0.24	< 0.01
	LC x Cr	0.40	< 0.01
	LC x Fe	0.36	< 0.01

Período	Variáveis	r	p
	LC x Al	0.48	< 0.01
	LC x Zn	0.22	< 0.01
	LC x Cu.f	-0.21	< 0.01
	LC x Mn.f	0.24	< 0.01
	LC x Pb.f	0.17	0.01
	LC x Al.f	-0.15	0.03

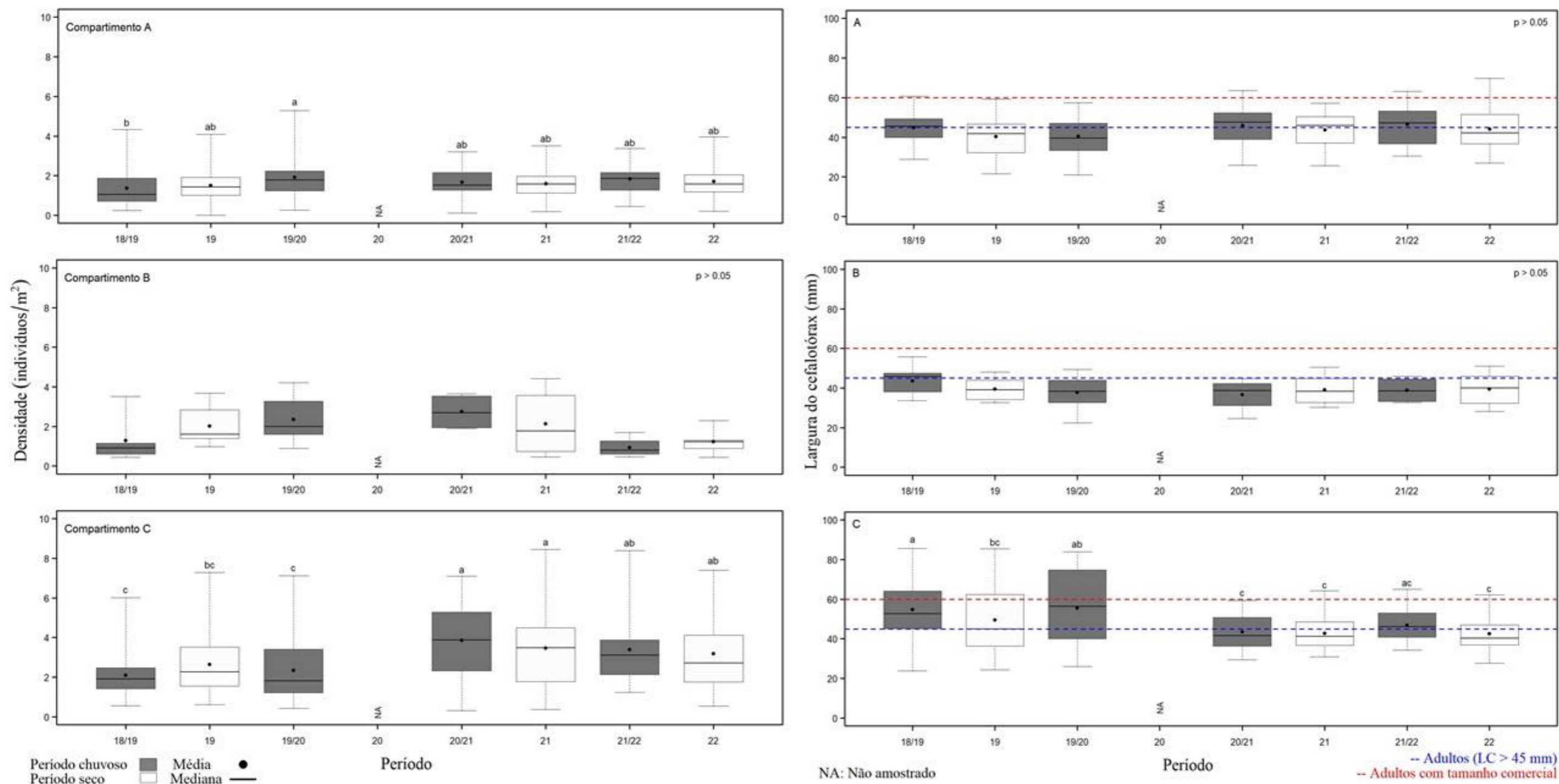
Ao considerar todos os períodos chuvosos e, posteriormente os secos, e as populações monitoradas sem distinção entre as populações de cada estuário, as interpretações realizadas a partir dos resultados das correlações entre os parâmetros populacionais e a concentração de metais no sedimento e nas folhas foram similares as apresentadas na Tabela 1. Em ambos os períodos, no geral, as relações significativas observadas nos chuvosos foram semelhantes àquelas registradas nos secos. Destaca-se a correlação negativa entre tamanho médio e densidade, o que significa que, as populações mais densas são formadas por juvenis. Populações com predomínio de adultos ou adultos/comerciais foram correlacionadas positivamente com bosques com maiores concentrações de metais no sedimento. Em contrapartida, essas classes de tamanho foram registradas em áreas onde a vegetação apresentou menor concentração de cobre e chumbo foliar no período chuvoso e cobre e alumínio foliar no seco.

Figura 90: Indicador Ecológico Decapoda – (a) Densidade (indivíduos/m²) e (b) largura do cefalotórax (mm) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), por estuários em função dos períodos chuvosos (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a setembro/2022). Legenda: CA - Costa das Algas, PA - Piraquê-Açu, PM - Piraquê-Mirim, BR - Barra do Riacho, RD - Rio Doce, UR - Urussuquara, BN - Barra Nova, SM - São Mateus, CR – Caravelas.



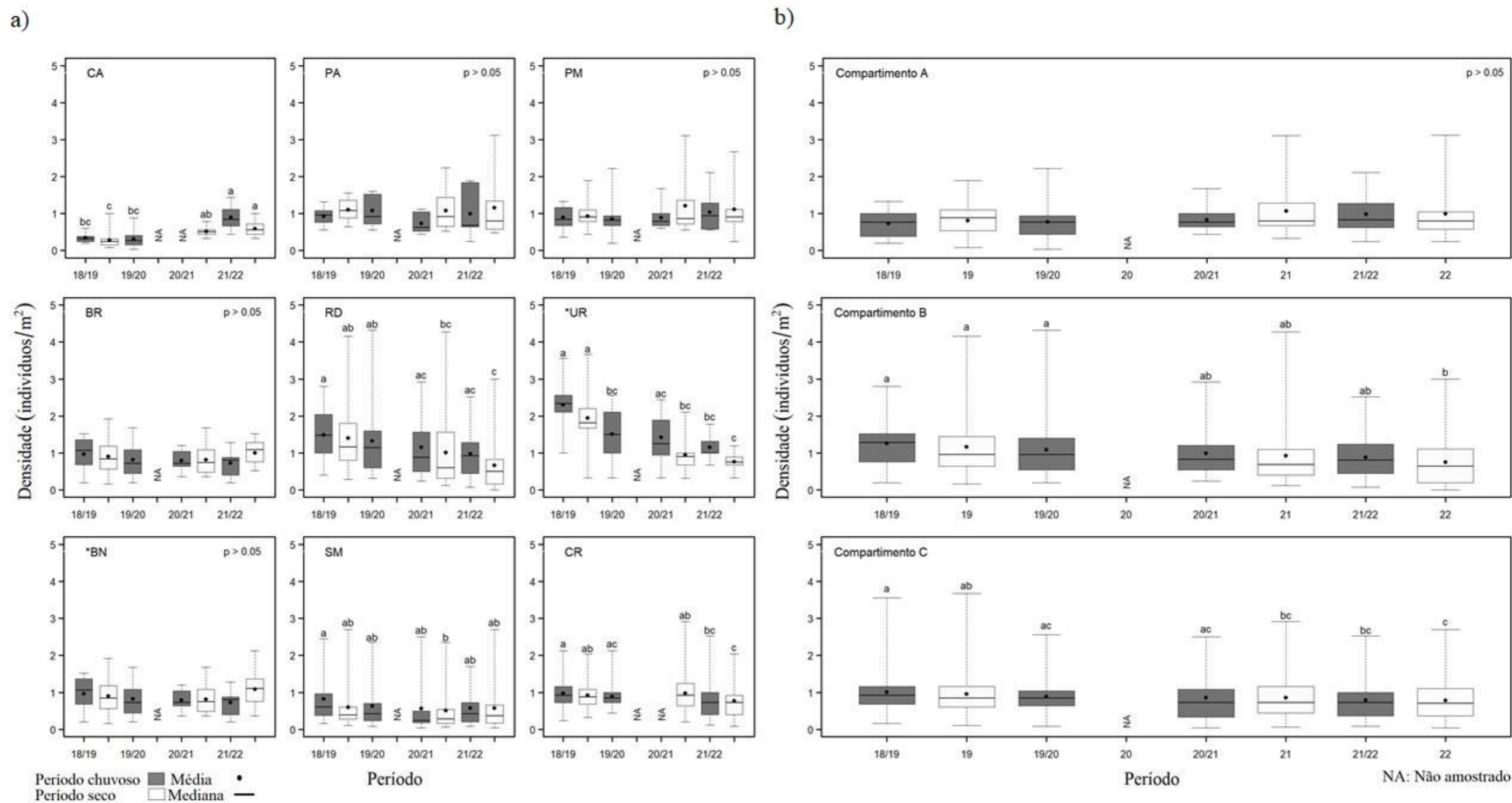
A densidade de *U. cordatus* variou temporalmente e de forma significativa em todos os manguezais, exceto nas populações em Costa das Algas e São Mateus, onde permaneceram estáveis, mas com uma leve tendência ao aumento neste estuário. Apesar da variabilidade observada no Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, a densidade tende a manter-se próximo a 2 indivíduos/m². O período chuvoso 2018/2019 apresentou a menor média em ambas as áreas, 1.4 e 1.3 indivíduo/m² no Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, respectivamente. O tamanho médio da população, em termos de estrutura, no Piraquê-Açu foi superior ou próximo a 45 mm, com o seco 2022 apresentando a menor média (43 mm) e chuvoso 2021/2022, a maior (50.3 mm). A densidade exibiu comportamento similar em Barra do Riacho e Urussuquara, com significativo aumento e posterior declínio, onde as maiores e menores médias foram registradas no chuvoso 2020/2021 e seco 2022 em Barra do Riacho (3.1 e 0.9 indivíduos/m²) e Urussuquara (5.2 e 1.9 indivíduos/m²), respectivamente. A população no Rio Doce apresentou declínio significativo a partir do período chuvoso 2020/2021 e ampliação da sua área de ocorrência, onde o número máximo de indivíduos por m² foi registrado no chuvoso 2019/2020 (4.0 indivíduos/m²) e o mínimo, no seco 2021 (0.5 indivíduo/m²). Comportamento antagônico foi observado para o tamanho médio, onde houve aumento expressivo da carapaça em função dos períodos, variando entre 24.7 e 33.9 mm, com recrutamento de indivíduos nas maiores classes de tamanho a partir do período chuvoso 2021/2022, refletindo na presença de indivíduos adultos na população. Variações significativas também foram encontradas nos parâmetros populacionais em Urussuquara, no qual a densidade aumentou a partir do período seco 2019 (3.8 indivíduos/m²) reduzindo quase 50% no seco 2022 (1.9 indivíduo/m²). Em relação a estrutura, o maior tamanho médio (LC: 46 mm) foi no início do monitoramento (período chuvoso 2018/2019) e a partir de então, as médias ficaram abaixo de 40 mm. As populações aumentaram em número de indivíduos por m² em Barra Nova e Caravelas no âmbito do PMBA/Fest, com 3.2 e 2.5 indivíduos no período seco 2022, respectivamente. A densidade e o tamanho médio de *U. cordatus* apresentaram comportamento opostos, com aumento significativo na densidade observado a partir do período chuvoso 2020/2021 (3.2 indivíduos/m²) e declínio acentuado no tamanho médio neste mesmo período (46.6 mm). Este estuário destaca-se com maior frequência relativa de indivíduos adultos nos dois primeiros anos de monitoramento e, posteriormente, a partir do período chuvoso 2020/2021, os juvenis foram mais abundantes indicando recrutamento nas menores classes de tamanho. No geral, a instabilidade em torno da densidade média observada em Barra do Riacho e nos estuários ao norte da foz do Rio Doce mostra problemas no equilíbrio das populações indicando não haver ajustes em suas variações sazonais, especialmente em termos de densidade e frequência de juvenis e adultos, uma vez que pode estar ocorrendo falhas no recrutamento para as maiores classes de tamanho, comprometendo o estoque comercial.

Figura 91: Indicador Ecológico Decapoda – (a) Densidade (indivíduos/m²) e (b) largura do cefalotórax (mm) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), por compartimento em função dos períodos chuvosos (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito PMBA/Fest (setembro/2018 a setembro/2022). Compartimento A - Costa das Algas, Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; B - Barra do Riacho e Rio Doce; C - Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas.



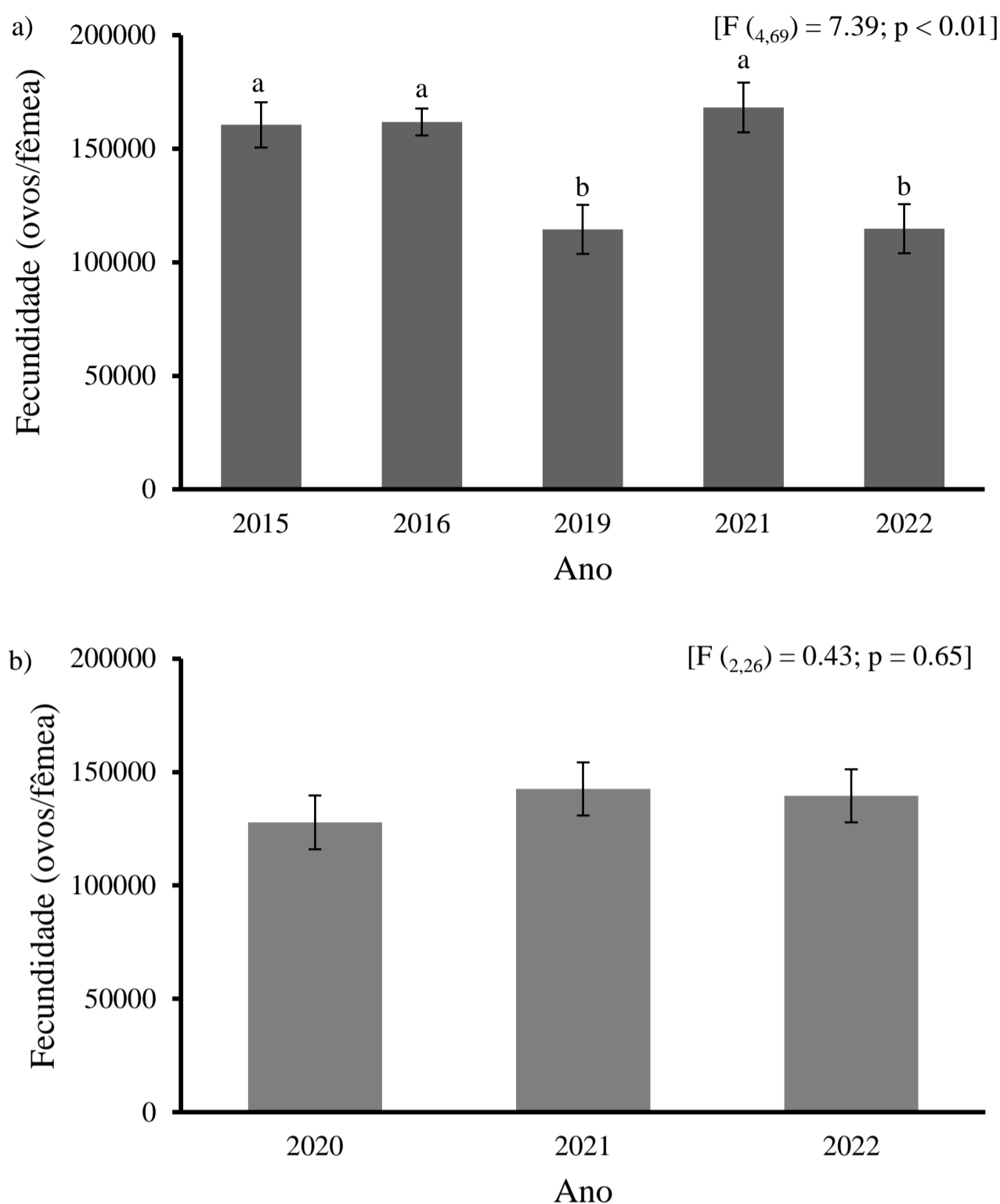
Ao avaliar todo o compartimento A, a densidade das populações e *U. cordatus* está dentro do esperado ao considerar os períodos de abrangência do PMBA/Fest e o tamanho médio está próximo ou superior (períodos chuvosos 2020/2021 e 2021/2022) a 45 mm. Indivíduos com tamanho comercial em todos os períodos, especialmente, chuvoso 2020/2021, 2021/2022 e seco 2022 com maiores frequências relativas. Piraquê-Açu apresentou maior contribuição para aumentar o tamanho médio neste compartimento e a frequências de indivíduos com tamanho comercial. Não houve diferenças significativas na densidade e no tamanho médio em função dos períodos no compartimento B, mas ao avaliar as populações separadamente as discrepâncias foram observadas como apresentado anteriormente. Ressalta-se que o Rio Doce apresentou populações recém-recrutadas (indivíduos predominantemente nas menores classes de tamanho, inferior a 45 mm). Neste compartimento, destaca-se a média do LC inferior a classe de tamanho 45 mm, indicando o predomínio de indivíduos juvenis na população. As variações sazonais dos parâmetros demográficos no compartimento C foram evidentes, com aumento significativo da densidade e declínio do tamanho médio no âmbito do PMBA/Fest. Ambos apresentaram efeitos antagônicos com relação significativa e negativa ($r = -0.50$, $p < 0.01$). Este aumento ocorreu a partir do período chuvoso 2020/2021 (3.9 indivíduos/m), mesmo momento em que houve redução no tamanho médio (43.40 mm). A partir de então, este ficou inferior ou próximo a 45 mm, indicando menor frequência relativa de adultos e adultos/comerciais na população. Caravelas destaca-se por elevar o tamanho médio nos dois primeiros anos do monitoramento. Essas alterações registradas nos parâmetros demográficos auxiliarão na interpretação da resposta das populações em diferentes escalas espaciais e temporais frente ao risco das concentrações de metais nos compartimentos bióticos e abióticos nos estuários decorrentes do aporte dos rejeitos provenientes do Rio Doce em função dos diferentes períodos sazonais podendo ocasionar impactos de danos em cascata até o nível indivíduo-população.

Figura 92: Indicador Ecológico Decapoda – Densidade (indivíduos/m²) do caranguejo guaiamum, *Cardisoma guanhumi* (Latreille, 1825), (a) por estuários e (b) compartimentos (A: Costa das Algas, Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, B: Barra do Riacho e Rio Doce, C: Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas) em função dos períodos chuvosos (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a setembro/2022). Legenda: CA - Costa das Algas, PA - Piraquê-Açu, PM - Piraquê-Mirim, BR - Barra do Riacho, RD - Rio Doce, UR - Urussuquara, BN - Barra Nova, SM - São Mateus, CR - Caravelas.



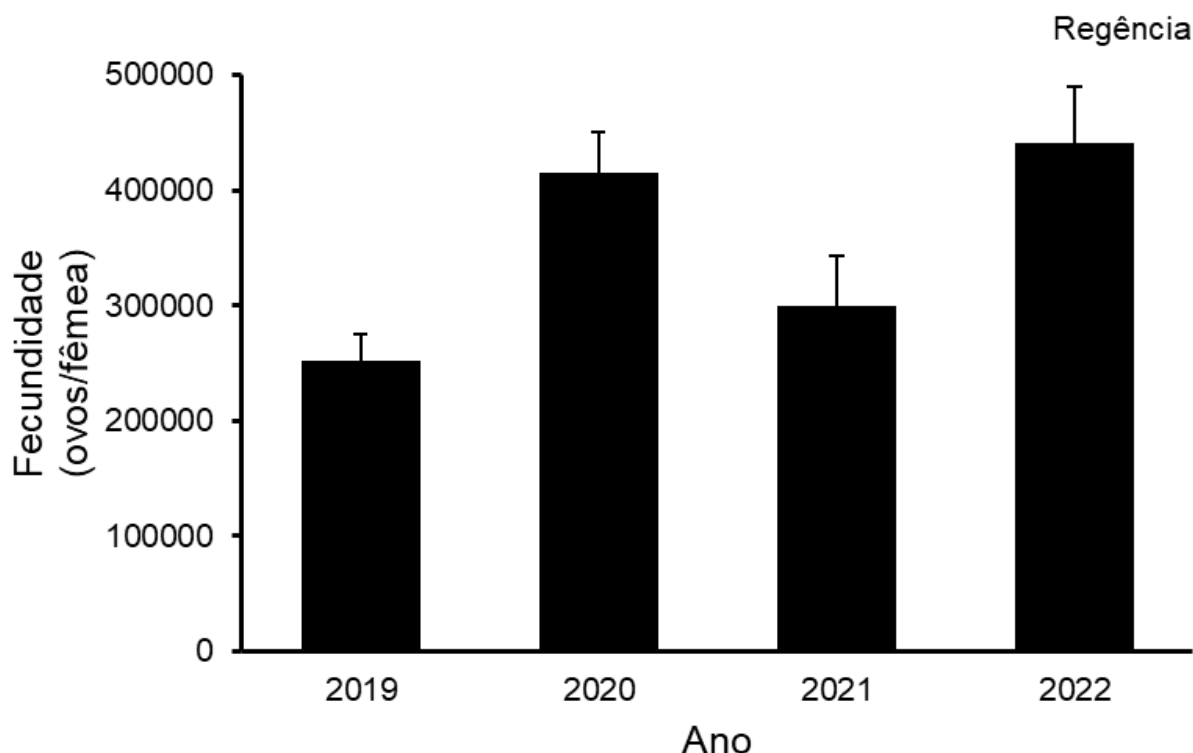
Ao longo do PMBA/Fest, os resultados mostraram estabilidade na densidade média populacional de *Cardisoma guanhumi* no Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Barra do Riacho e Barra Nova, onde diferenças significativas não foram registradas entre os períodos. Apesar das discrepâncias sazonais detectadas em São Mateus, a média se manteve dentro do esperado considerando os 4 anos amostrados. Reduções significativas foram observadas nas populações no Rio Doce, Urussuquara e Caravelas. As maiores médias foram associadas ao Rio Doce e Urussuquara. Esta área registrou médias de 2.1 indivíduos por m² no primeiro ano de monitoramento e declinou para aproximadamente 1 indivíduo/m² nos últimos períodos (Ano 4). Um padrão distinto foi observado nos diferentes compartimentos, onde o A não apresentou diferenças sazonais significativas. Por outro lado, a densidade média nos compartimentos B e C declinaram de forma significativa ao observar o início e o fim do período de abrangência do PMBA/Fest dos resultados apresentados até o momento. No geral, todas as populações apresentaram densidade inferior ou próximo a 1 indivíduo/m². A baixa densidade observada em todas as áreas monitoradas juntamente com o estado de conservação da espécie no ES, classificada como Vulnerável (VU) na Lista de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção no Estado do Espírito Santo em 2005 (IEMA, 2005), a extensão e disponibilidade de habitat para ocupação da espécie e a pressão de captura existente nas áreas refletem diretamente na vulnerabilidade das populações frente aos potenciais impactos do metais sobre a dispersão e o desenvolvimento larval na região costeira e indicam substanciais problemas no ingresso de indivíduos juvenis e consequentemente, no equilíbrio da população. Esse equilíbrio, em termos de densidade e frequência proporcional de jovens e adultos, torna-se fundamental para a espécie ser retirada da lista.

Figura 93: Indicador Ecológico Decapoda – Fecundidade média (ovos/fêmea) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), (a) no estuário do rio São Mateus, Conceição da Barra (Espírito Santo) em 2015 e 2016 (Porto, 2021) e, 2019, 2021 e 2022 (PMBA/Fest) e (b) no estuário do rio Caravelas entre os anos 2020 e 2022 no âmbito do PMBA/Fest. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.



Para explicar a flutuação no número de ovos de das fêmeas de *U. cordatus* observado no estuário do rio São Mateus torna-se necessário averiguar os resultados apresentados pelo Tema Ecotoxicologia no período que antecedeu a captura das fêmeas ovígeras em 2019 e 2022, justificado pelos meses de maior demanda energética direcionada para maturação gonadal e produção dos ovos (ALMEIDA et al., 2022) e compreendidos, no âmbito do PMBA, pelas campanhas 1: setembro/outubro de 2018 (período seco) e campanha 6: junho/agosto de 2021 (período seco). Os resultados evidenciaram elevadas concentrações de Pb, Cr, Mn, Fe, Cd, Hg e As em todos tecidos-avos avaliados (brânquias, hepatopâncreas e músculos), assim com, Al e As ultrapassaram um dos níveis para efeitos biológicos provenientes da contaminação no sedimento durante o período chuvoso (2018/2019), seco (2021) e chuvoso (2021/2022) e, Mn, Cu e Fe nos tecidos foliares, ambas informações analisadas pelo Tema Manguezal (RRDM, 2019, RT17, Anexo 1 Ecotoxicologia; RRDM, 2019, RT21, Anexo 5 Manguezal; RRDM, 2020, RT36C, Anexo 1 Ecotoxicologia e Anexo 5 Manguezal; RRDM, 2021, RT39C, Anexo 1 Ecotoxicologia e Anexo 5 Manguezal). Elevadas concentrações de metais na água (via de ingestão e processos respiratórios nos crustáceos), sedimento (via de contato e alimentação) e folha de mangue (alimentação) (ALMEIDA et al., 2016; DUARTE et al., 2017) acarretam efeitos nocivos nos crustáceos mesmo que alguns destes (Pb, Cr, Mn, Fe, Cd, Hg, Al, Cu e As) sejam considerados metais essenciais (MARSDEN e RAINBOW, 2004; DUARTE et al., 2017). A absorção desses metais provoca alterações no metabolismo da espécie, causam diminuição da fecundidade, atraso na metamorfose larval mesmo em baixas concentrações de contaminantes, assim como, as larvas recém-eclodidas podem apresentar anomalias morfológicas, além de inibir a muda, aumentar a duração do desenvolvimento e redução do tamanho corporal dos juvenis (PASUPATHI e KANNUPANDI, 1989; MORTIMER e MILLER, 1994; RODRÍGUEZ e MEDESANI, 1994; HARRIS e SANTOS, 2000; ALMEIDA et al., 2021). Todo esse desequilíbrio ocorre devido a necessidade de direcionar o gasto energético e investimento metabólico para desintoxicação (HARRIS e SANTOS, 2000; MARSDEN e RAINBOW, 2004). Neste contexto, a variabilidade da fecundidade observada na população no estuário de São Mateus pode, com cautela, ser explicada pela variabilidade ambiental (temperatura, salinidade, precipitação, concentração de metais nos diferentes compartimentos abióticos e bióticos dentre outros fatores) antecedente ao período de coleta das fêmeas, além dos fatores intrínsecos de cada indivíduo. A estabilidade na fecundidade observada na população em Caravelas pode ser atribuída as estratégias reprodutivas realizada pelos crustáceos. Para diminuir os efeitos adversos sobre a fecundidade, os crustáceos, de forma geral, desenvolvem recursos reprodutivos com ampla variação na produção do número de ovos, buscando por mecanismos de tolerância contra contaminantes (HARRIS e SANTOS, 2000; AHEARN et al., 2004; ORTEGA et al., 2016) podendo produzir uma pequena quantidade de ovos grandes ou maior número de ovos pequenos (VERÍSIMO et al., 2010).

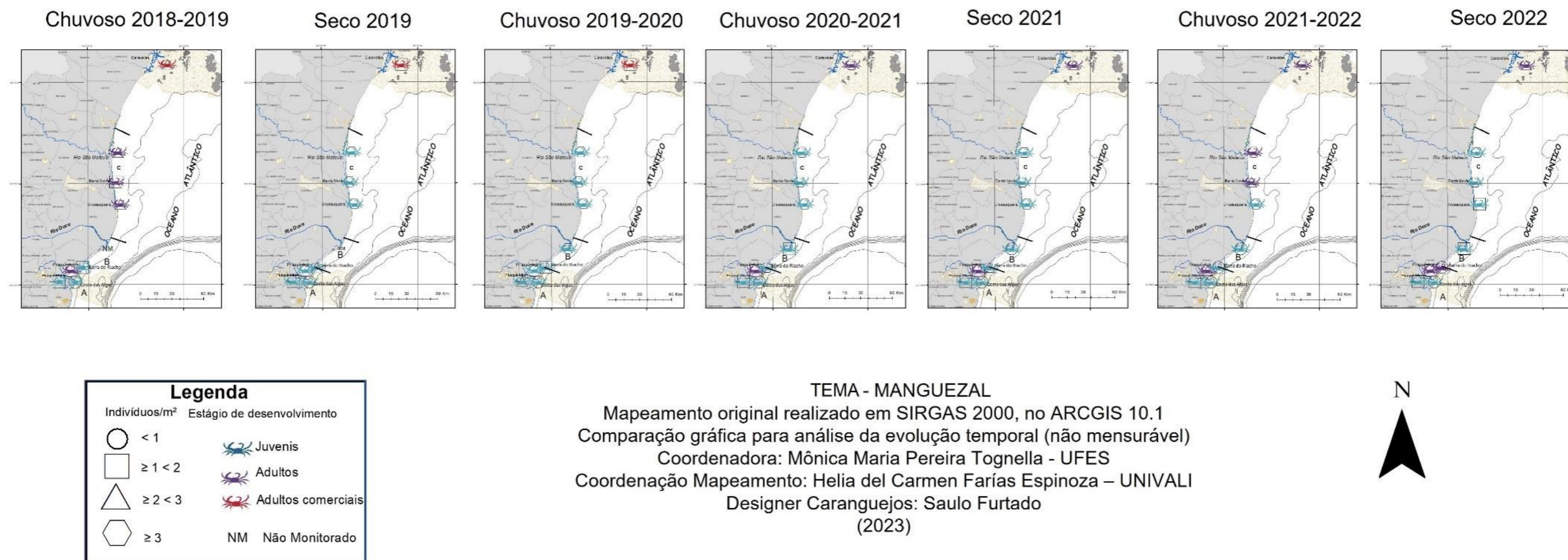
Figura 94: Indicador Ecológico Decapoda – Fecundidade média (ovos/fêmea) do caranguejo guaiamum, *Cardisoma guanhumi* (Latreille, 1825), na foz do Rio Doce, Regência (Espírito Santo) entre os anos 2019 e 2022 no âmbito do PMBA/Fest.



A fecundidade média de *C. guanhumi* foi 251539 (± 24098), 415834 (± 34823), 300210 (± 43244) e 441488 (± 49155) ovos/fêmea, entre 2019 e 2022, respectivamente. Um dos pressupostos (independência entre a covariável e a variável independente) para a realização da ANCOVA não foi atendido não sendo possível o prosseguimento da análise. Apesar disso, visivelmente são apresentadas flutuações entre os anos. As menores médias registradas em 2019 e 2021 podem ter sido intensificadas pelas mudanças na temperatura provocada por frente fria e maior pluviosidade registrada pela tempestade tropical Iba em 2019, anterior a coleta das fêmeas ovígeras em 2019, e elevada vazão do Rio Doce e, por consequência, maior descarga de metais (como Al, Ba, Pb, Fe, Cr, Mn, V, Cu e As) observado no período chuvoso de 2020/2021, que antecede o período de coleta das fêmeas em 2021 (RRDM, 2020, RT36C, Ambiente Costeiro). Destaca-se que alterações na salinidade, temperatura, alimentação e exposição a poluentes podem provocar alterações no número de ovos produzido pela fêmea (ANGER, 2001; VERISSIMO et al., 2010; ALMEIDA et al., 2016; BEMBE et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2017). A foz do Rio Doce vem sofrendo ao longo dos últimos anos pela contaminação crônica, que pode acarretar uma série de mudanças na fisiologia dos crustáceos pertencentes a essa região (LEME, 2006), inclusive *C. guanhumi* que apresenta habitat sob a influência direta da descarga fluvial. Outro ponto a destacar é a ausência de dados pré-rompimento impossibilitando uma análise mais criteriosa. Somados a isso, as estratégias adotadas para produção do número de ovos pelos crustáceos, já citadas anteriormente para *U. cordatus*, também precisam ser levadas em consideração para *C. guanhumi*.

Figura 95: Indicador Ecológico Decapoda – Mapa temático da densidade média (indivíduos/m²) e Largura do cefalotórax (mm) do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), nos períodos chuvosos (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest.

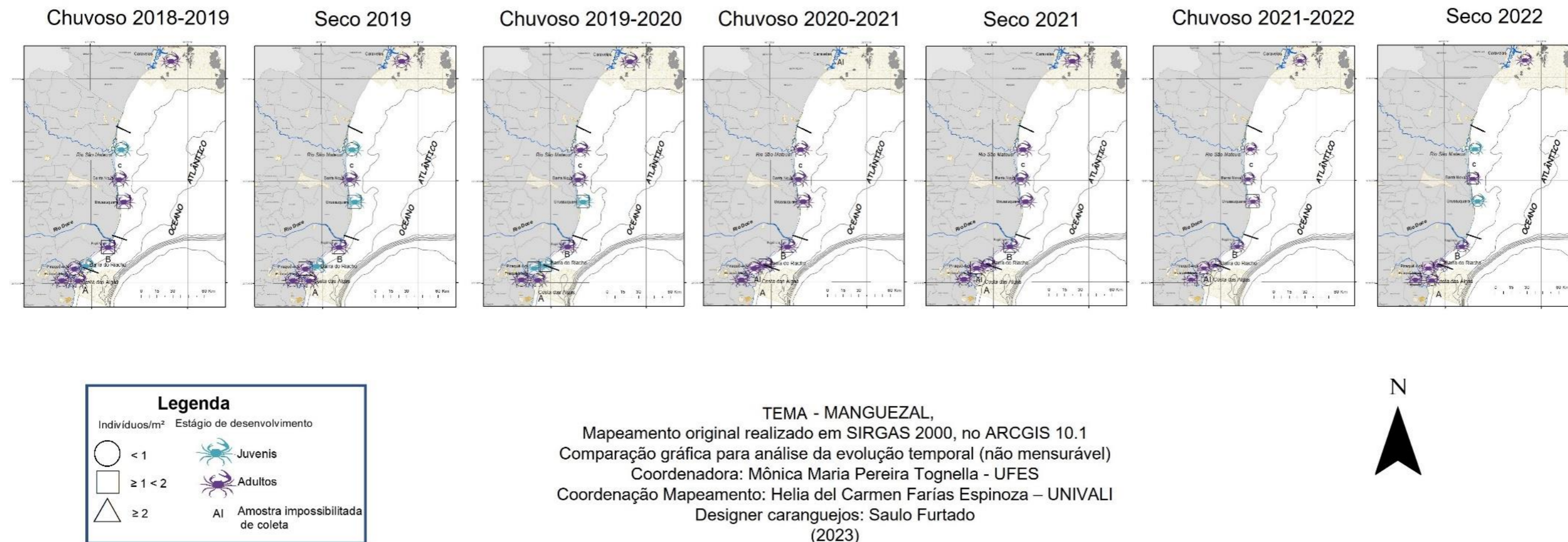
Densidade e Estágio de Desenvolvimento *Ucides Cordatus*



Ao longo do monitoramento, no compartimento A, Costa das Algas manteve densidade média semelhante ao longo dos períodos, enquanto os demais estuários apresentaram flutuabilidade neste parâmetro, como observado no Piraquê-Açu no período chuvoso 2018/2019 e 2021/2022, Piraquê-Mirim chuvoso 2018/2019 e 2019/2020. Este compartimento é composto por indivíduos juvenis em ambos os períodos, com exceção do Piraquê-Açu, que apresentou média do LC acima de 45 mm em praticamente todos os períodos, exceto seco 2019 e chuvoso 2019/2020. No compartimento B, Barra do Riacho não apresentou um padrão, logo a densidade variou sazonalmente e houve maior frequência relativa de juvenis, exceto para o período seco 2022 no qual apresentou tamanho médio acima de 45 mm. O mesmo comportamento foi observado para a população no Rio Doce, onde houve predomínio de juvenis. Para o compartimento C observou-se aumento na densidade a partir do chuvoso 2018/2019 e declínio em Barra Nova no 2021/2022 e Urussuquara no período seco 2022. Houve diminuição do tamanho médio a partir do período chuvoso 2018/2019, onde os juvenis foram mais frequentes. No chuvoso 2021/2022, os adultos voltaram a ser predominantes em Barra Nova e São Mateus, e no período seco 2022 o tamanho médio ficou inferior a 45 mm. O número de indivíduos por m² também variou sazonalmente em Caravelas com predomínio de adultos comerciais apenas nos três primeiros períodos, e os demais com adultos.

Figura 96: Indicador Ecológico Decapoda – Mapa temático da densidade média (indivíduos/m²) e Largura do cefalotórax (mm) do caranguejo-guaíum, *Cardisoma guanhumi* (Linnaeus, 1763), nos períodos chuvosos (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest.

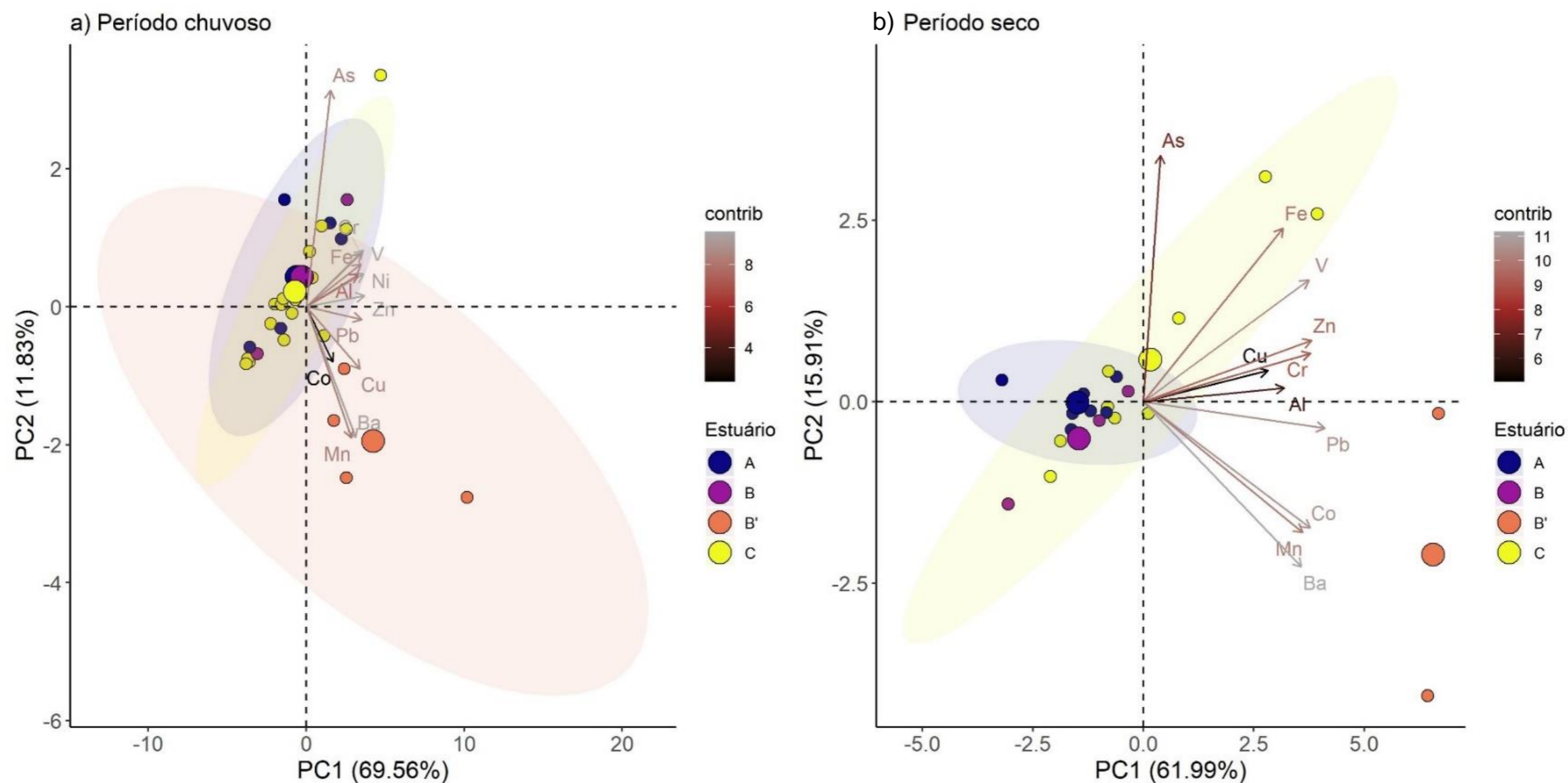
Densidade e Estágio de Desenvolvimento *Cardisoma guanhumi*



A densidade média da espécie ficou próximo a 1 indivíduo/m² em todos os estuários, exceto em Urussuquara, onde as populações alcançaram médias próxima a 2 indivíduos/m² nos períodos chuvoso e seco do Ano 1. Entretanto, houve declínio populacional nessas áreas como apresentado anteriormente. No geral, houve predomínio de indivíduos adultos nas populações no âmbito do PMBA, onde a distribuição de frequência nas classes de tamanho mostrou baixa frequência relativa de juvenis. Barra do Riacho, Urussuquara e São Mateus se destacaram com períodos onde houve a média da carapaça estava abaixo do limite considerado estágio adulto (LC > 55 mm).

3.4 SEDIMENTOS

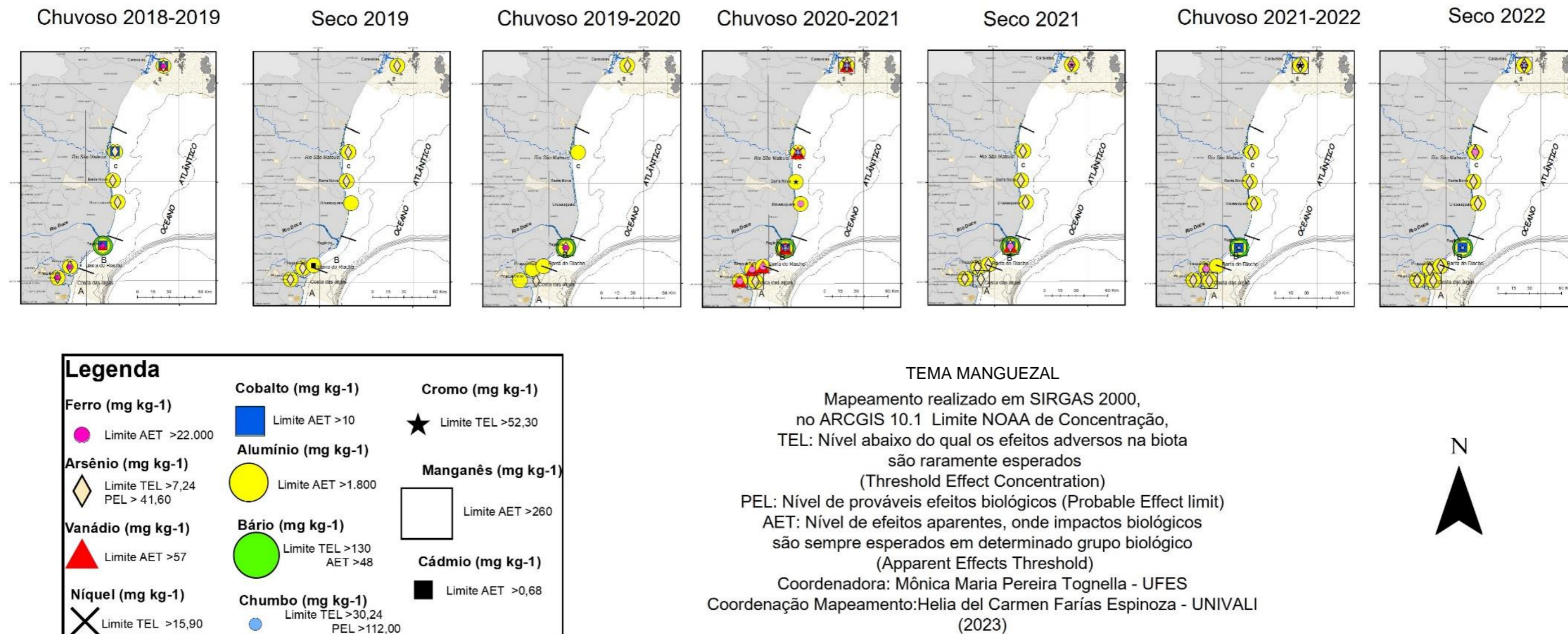
Figura 97: Indicador Abiótico Sedimentos - Análise de componente principal (PCA), usando a função biplot com a contribuição de cada variável, utilizando as concentrações de metais nos sedimentos (mg kg^{-1}); considerando os períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) (fig. 1a) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e seco 22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) (fig. 1b) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) (Compartimento A); Barra do Riacho (BR) (Compartimento B); Rio Doce (RD) (Compartimento B'), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) (Compartimento C) durante o PMBA/Fest.. Al: alumínio; As: arsênio; Ba: bário; Cd: cádmio; Co: cobalto; Cr: cromo; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Hg: mercúrio; Ni: níquel; Pb: chumbo; V: Vanádio; e Zn: zinco.



As PCAs acima demonstram o comportamento dos estuários nos períodos chuvosos (a) e secos (b). No período chuvoso percebe-se um comportamento similar entre as áreas dos compartimentos A, B e C, destoante do apresentado para o Rio Doce (B'). Tal fato pode estar associado a influência da vazão do rio Doce, que se intensifica neste período e ao comportamento da sua foz, que é predominantemente dominada pelo rio, diferentemente dos outros estuários, que apresentam intensa influência marinha. No período seco, dada a diminuição da vazão dos rios, é possível perceber melhor separação entre os compartimentos, e a associação (intensidade) de diversos metais com o compartimento C, região onde o aporte do rejeito do rompimento é relativamente maior.

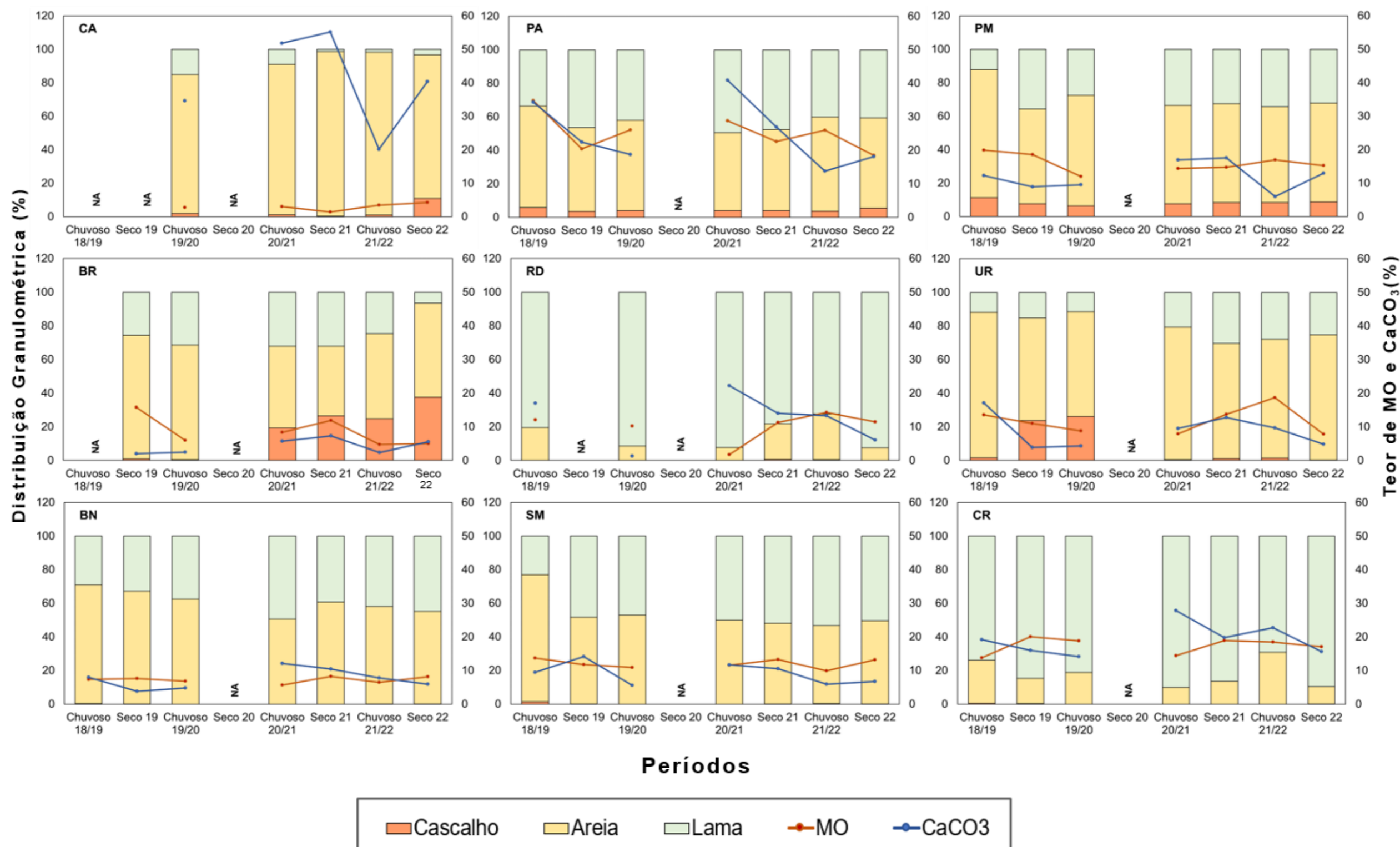
Figura 98: Indicador Abiótico Sedimentos - Mapa temático dos metais ferro, arsênio, vanádio, níquel, cobalto, alumínio, bário, chumbo, cromo, manganês e cádmio (mg kg⁻¹) no sedimento na profundidade de 0 a 5 cm nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_21 (janeiro-Fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3); chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4) e seco 22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o PMBA/Fest.

Comparações metais no sedimento (0-5 cm)



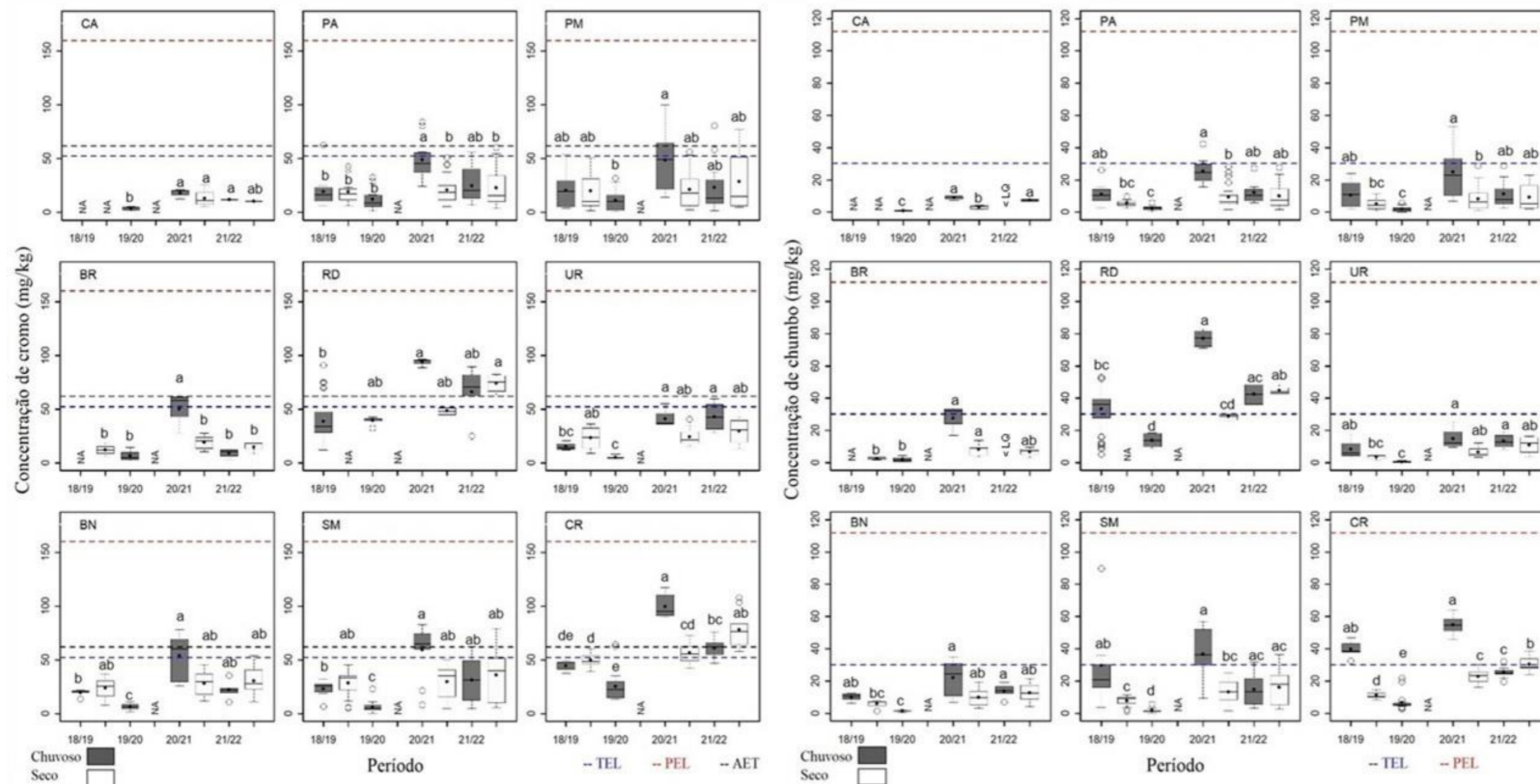
Os mapas demonstram através de uma simbologia o período que determinado metal ultrapassou o limite NOAA, que indica a concentração onde efeitos biológicos são esperados. Nota-se que ao longo de todo monitoramento PMBA/Fest, a foz do Rio Doce foi a área que apresentou contaminação para vanádio, cobalto, arsênio, bário, chumbo, cromo, ferro, alumínio e manganês, enquanto nos outros estuários percebe-se a contaminação contínua por alumínio e arsênio. O período chuvoso 2020/2021 foi o momento onde houveram mais elementos que ultrapassaram os limites NOAA, tal fato pode estar relacionado a alta vazão do Rio Doce no mês de novembro de 2020. Sendo assim, tendo em vista a observação das maiores concentrações de metais no Rio Doce e a tendência de aumento das concentrações nas outras áreas quando a vazão do Rio Doce aumenta, é possível inferir a influência da foz do Rio Doce como fonte de contaminação de metais para os manguezais adjacentes.

Figura 99: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição das frações granulométricas (cascalho, areia e lama) (%) e teores de matéria orgânica (MO) e carbonato de cálcio (CaCO₃) no sedimento de profundidade de 0 a 5 cm nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro-Fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4) e seco 22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o PMBA/Fest.. NA: período não amostrado.



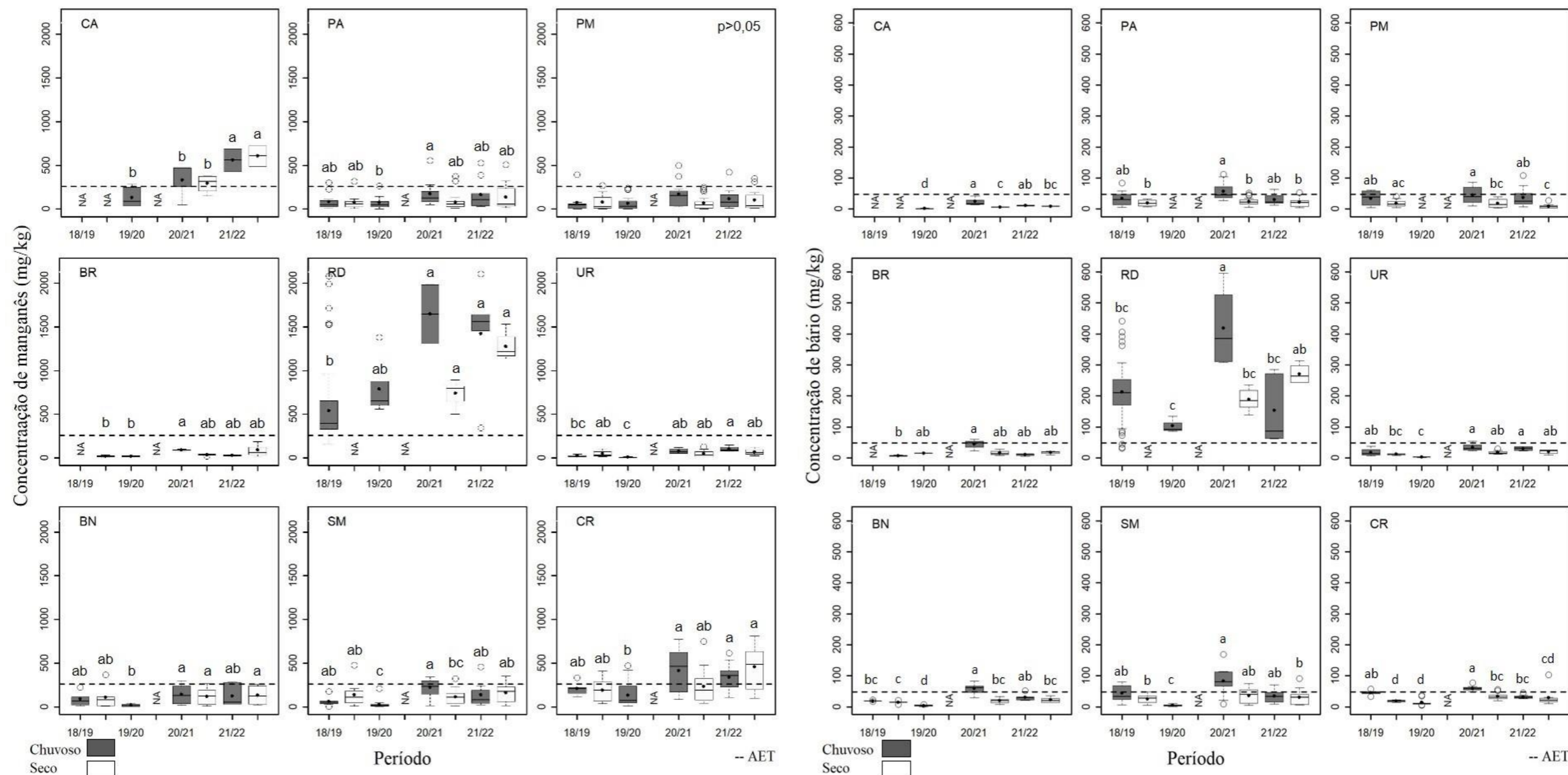
A granulometria é um fator importante para o entendimento da distribuição da concentração de metais no sedimento. Brugnara (1977) afirma que quanto mais fina for a granulometria, maior é a adsorção de metais no sedimento. É possível notar este comportamento ao comparar o manguezal de Barra do Riacho e o Rio Doce (compartimento B). Ainda que as duas regiões estejam sob a mesma bacia hidrográfica, o comportamento dos metais não é o mesmo nas duas regiões. É possível perceber que os manguezais do compartimento A (CA, PA e PM) possuem sedimentos com maior contribuição de cascalho e areia do que o compartimento C (UR, BN, SM e CR) e a granulometria mais lamosa do compartimento C contribui para maior adsorção de metais nos sedimentos.

Figura 100: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de cromo (esquerda) e chumbo (direita) nos sedimentos na profundidade de 0-5 cm nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4) e seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). NA: Não amostrado. <LQ: Concentração abaixo do limite de quantificação. TEL: Nível abaixo do qual os efeitos adversos são raramente esperados (Threshold Effect Concentration). PEL: Nível de prováveis efeitos (Probable Effect limit) e AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (Apparent Effects Threshold).



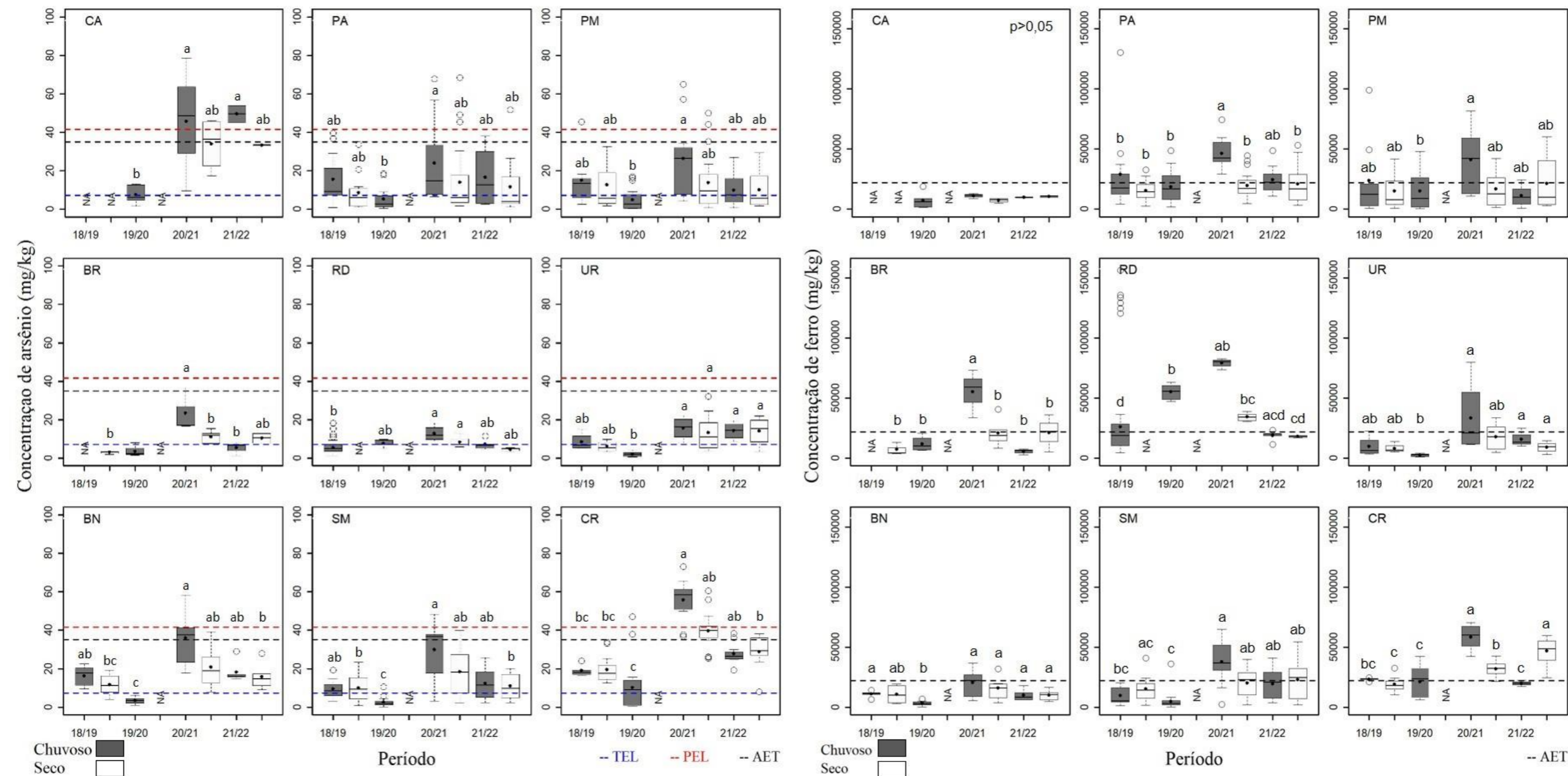
Ao longo do monitoramento PMBA/Fest é possível notar uma tendência de aumento a partir do período chuvoso 20/21 nas concentrações dos metais cromo e chumbo nos estuários analisados. Este comportamento pode estar associado ao aumento da vazão do Rio Doce no Ano 3 (outubro/2020 – setembro/2021) e Ano 4 (outubro/2021 – setembro/2022) em comparação aos anos anteriores (ANA, 2023). Vale salientar que o período chuvoso 2020/2021 representa as maiores concentrações de cromo e chumbo para todas as áreas analisadas.

Figura 101: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de manganês (esquerda) e bário (direita) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4) e seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). NA: Não amostrado. AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



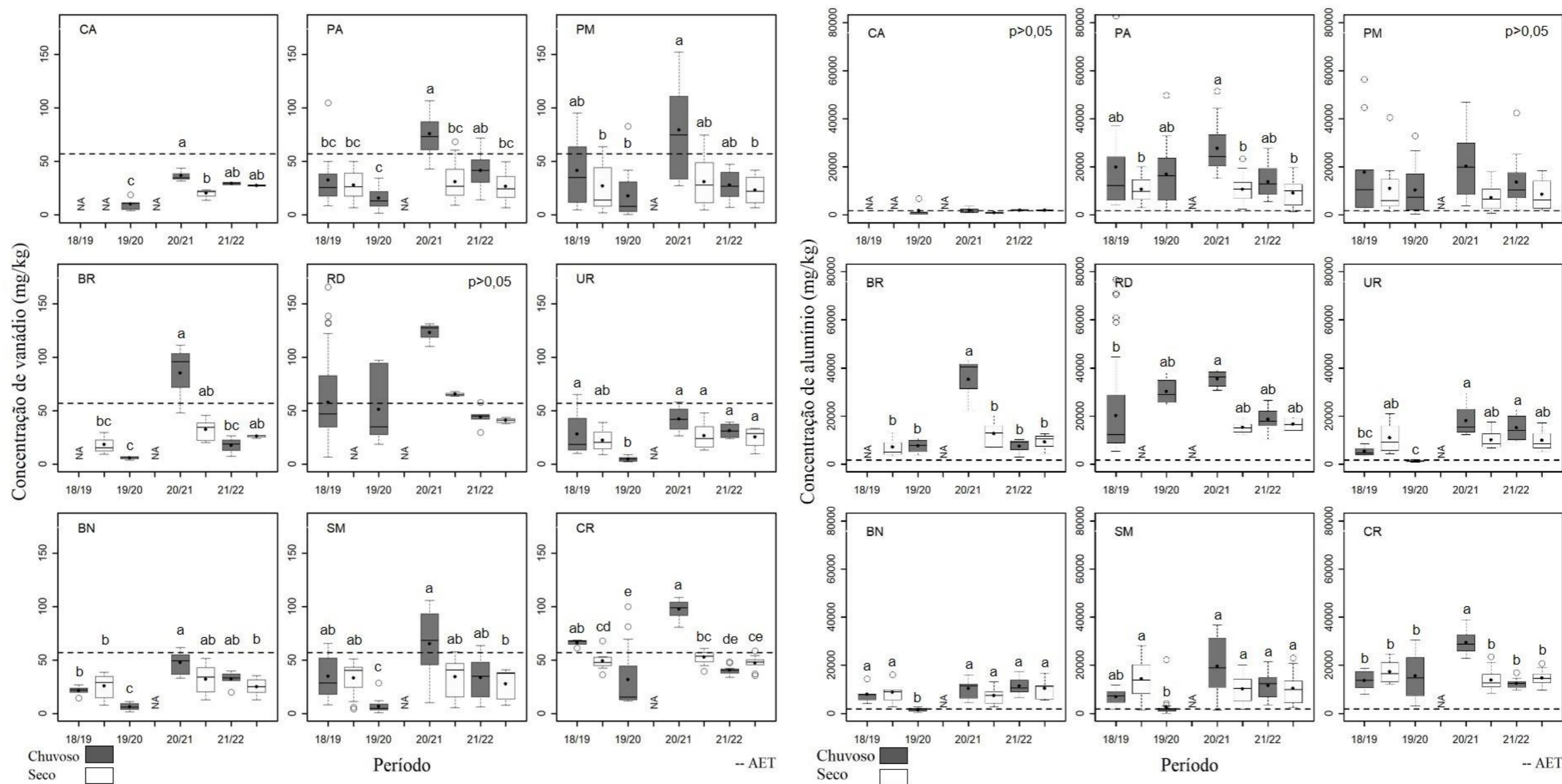
Os metais manganês e bário apresentam maiores concentrações na foz do Rio Doce, ultrapassando a concentração limite para impactos biológicos. Em relação ao manganês, é observado uma tendência de aumento nas concentrações partir do período chuvoso 20/21 nas APAs de Costa das Algas (CA) e de Caravelas (CR). Em relação aos demais estuários, nota-se o aumento das concentrações de manganês ao longo dos períodos secos. O elemento bário é um marcador geoquímico sedimentar para influência dulcícola (Coffey et al., 1997) e as altas concentrações observadas na foz do Rio Doce demonstram tal influência na região. Os outros estuários indicam baixas concentrações para o metal bário, denotando a importância da influência marinha para estas áreas.

Figura 102: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de arsênio (esquerda) e ferro (direita) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4) e seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). NA: Não amostrado. TEL: Nível abaixo do qual os efeitos adversos são raramente esperados (*Threshold Effect Concentration*). PEL: Nível de prováveis efeitos (*Probable Effect limit*) e AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



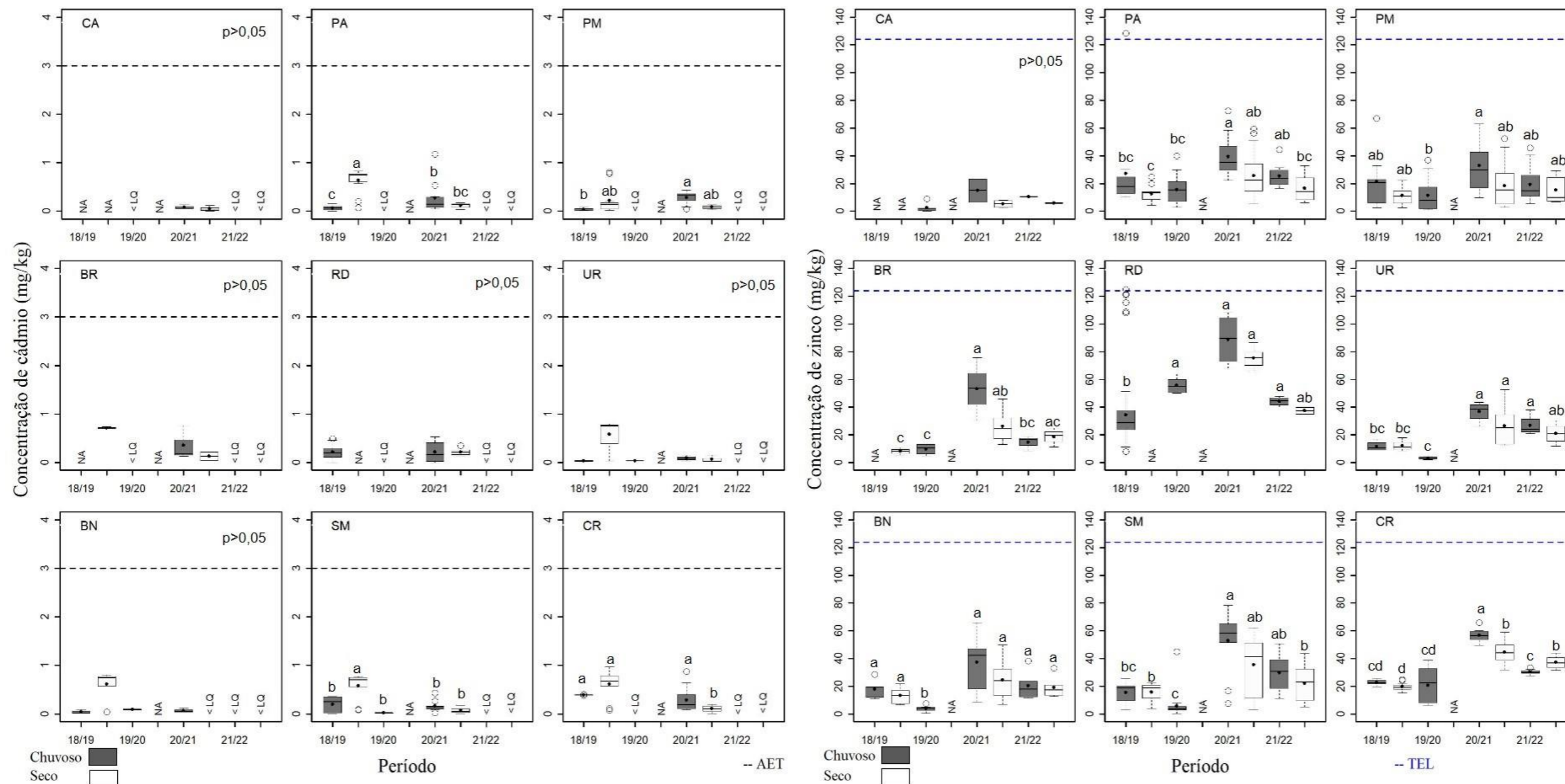
A bacia hidrográfica do compartimento A (CA, PA e PM) é uma fonte de arsênio e, portanto, as maiores concentrações deste elemento são encontradas nesta região. No entanto, é importante ressaltar o aumento das concentrações no compartimento C a partir do período chuvoso 20/21. O elemento ferro, por sua vez, apresenta as maiores concentrações na foz do Rio Doce, sendo bastante expressivo também nos estuários de PA, PM, SM e CR.

Figura 103: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de vanádio (esquerda) e alumínio (direita) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4) e seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). NA: Não amostrado. AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



As concentrações de vanádio e alumínio nas áreas analisadas são expressivas ao longo de todo monitoramento PMBA/Fest, estando as concentrações de alumínio já associadas a impactos biológicos nos estuários.

Figura 104: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de vanádio (esquerda) e alumínio (direita) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4) e seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). NA: Não amostrado. <LQ: Concentração abaixo do limite de quantificação do equipamento. AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



Os metais cádmio e zinco, por sua vez, não ultrapassaram a concentração limite para impactos na biota em nenhuma das regiões analisadas.

4 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos: Não houve coleta de dados da espécie *C. guanhumi* no período chuvoso 2021 para o estuário de Caravelas. Houve dificuldades de deslocamento durante o período de amostragem para coletas de informações a respeito desta espécie. Entretanto, os dados pretéritos e aqueles obtidos posteriormente à este período permitem o diagnóstico da população. Desta forma, a meta foi cumprida permitindo o monitoramento da espécie. Durante os dois primeiros anos de PMBA/Fest (2019 e 2020), não foi possível a coleta de fêmeas ovígeras em alguns estuários para coleta de dados e análise da fecundidade, como reportado nos primeiros relatórios. A ausência destes dados e análises foi justificada pela dificuldade na realização das coletas das fêmeas ovígeras pelos catadores que acompanhavam as atividades de campo. Durante o período de desenvolvimento embrionário dos ovos, as fêmeas da infraordem Brachyura permanecem entocadas em suas galerias até o momento da liberação de suas larvas (CASTIGLIONI e NEGREIROS-FRANSOZO, 2006) e as galerias podem atingir de 90 a 180 cm de profundidade (BRANCO, 1993). Os catadores locais, contratados pela equipe do Tema Manguezal, relataram dificuldades para a captura das fêmeas ovígeras, pois as galerias são profundas e construídas no entorno das raízes de mangue dificultando o acesso pela técnica de braceamento, além disso, fixadas a estas raízes muitas vezes há presença de ostras limitando ainda mais a captura.

5 REFERÊNCIAS

- AHEARN, G. A.; MANDAL, P. K.; MANDAL, A. Mechanisms of heavy-metal sequestration and detoxification in crustaceans: a review. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 174, n. 6, p. 439-452, 2004.
- ALMEIDA, E. V.; KÜTTER, V. T.; MARQUES, E. D.; DA SILVA-FILHO, E. V. First assessment of trace metal concentration in mangrove crab eggs and other tissues, SE Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 7, p. 1-14, 2016.
- ALMEIDA, E. V.; KÜTTER, V. T.; MARQUES, E. D.; DA SILVA-FILHO, E. V. Contamination in Newly Hatched Larvae of the *Ucides cordatus* Mangrove Crab and a New Perspective About Trace Elements Transport. **Geochimica Brasiliensis**, v. 35, n. 1, p. 39-55, 2021.
- ALMEIDA, E. V.; KÜTTER, V. T.; MARQUES, E. D.; DA SILVA-FILHO, E. V. Trophic analysis of female mangrove crabs at two sites from Southeastern Brazil (Rio de Janeiro). **Ocean and Coastal Research**, v. 70, 2022.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Série Histórica de estações – estação Linhares RD15**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. 2023.
- ANGER, K. **The biology of decapod crustacean larvae**. Lisse: AA Balkema Publishers, 2001.

ARAR, E. J. Method 447.0 - Determination of Chlorophylls a and b and Identification of Other Pigments of Interest in Marine and Freshwater Algae Using High Performance Liquid Chromatography with Visible Wavelength Detection. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1997.

ARNHOLD, E. ds: descriptive statistics. R package version 4.0. 2019.

ARNHOLD, E. easyanova: Analysis of Variance and Other Important Complementary Analyses. R package version 8. 2022.

BEMBE, S.; LIANG, D.; CHUNG, J. S. Optimal temperature and photoperiod for the spawning of blue crab, *Callinectes sapidus*, in captivity. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 11, p. 5498-5505, 2017.

BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings Soil Science Society of America**, v.29. p. 71-72, 1965.

BRANCO, J. O. Aspectos bioecológicos do caranguejo *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Decapoda) do manguezal do Itacorubi, Santa Catarina, BR. **Arquivos de biologia e tecnologia**, v. 36, n. 1, p. 133-148, 1993.

BRUGNARA, Miriam. **Influence of marine sediments in the distribution of the main radionuclides of the effluent from the nuclear power plant Almirante Alvaro Alberto (Unit 1)**. 1977.

BUCHMAN, M. F. NOAA Screening Quick Reference Tables. 1999. **Coastal Protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration**. Seattle, WA, 12p, 1999.

CASTIGLIONI, D. D. S., & NEGREIROS-FRANZOZO, M. L. Ciclo reprodutivo do caranguejo violinista *Uca rapax* (Smith) (Crustacea, Brachyura, Ocypodidae) habitante de um estuário degradado em Paraty, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, p. 331-339, 2006.

COFFEY, M.; DEHAIRS, O.; COLLETE, G.; LUTHER, T.; CHURCH, T.; JICKELLS, T. The behaviour of dissolved barium in estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 45, n. 1, p. 113-121, 1997.

COSTA, R. G.; ARAÚJO, C. F. S.; BAH, A. H. F.; GOMES-JUNIOR, E. A.; RODRIGUES, Y. J. M.; MENEZES-FILHO, J. A. Lead in mangrove root crab (*Goniopsis cruentata*) and risk assessment due to exposure for estuarine villagers. **Food Additives and Contaminants**. B v. 11(4), 293e301, 2018. <https://doi.org/10.1080/19393210.2018.1504824>

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Revista, Viçosa: UFV, 2 ed., v. 2, 585p, 2006.

DEPOLO, U. D.; GONTIJO, A. B. P.; ARAUJO, A. A.; FALQUETO, A. R.; PASCOALINI, S. S.; LOPES, D. M. S.; SCHMILDT, E. R.; LEITE, S.; TOGNELLA, M. M. P. The role of iron on the growth and development of the seedlings of *Rhizophora mangle* L. **Scientific Research and Essays**, v. 17, n. 3., p. 35-45, 2022.

DIAS, J. A. Análise textural. In: DIAS, J. A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos**. Ed. preliminar. Algarve, 2004.

DUARTE, L. F.; SOUZA, C. A.; PEREIRA, C. D. S.; PINHEIRO, M. A. A. Metal toxicity assessment by sentinel species of mangroves: in situ case study integrating chemical and biomarkers analyses. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** V. 145, 367e376, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.051>.

DUARTE, L. F.; BLASCO, J.; CATHARINO, M. G. M.; MOREIRA, E. G.; TROMBINI, C.; NOBRE, C. R., & PEREIRA, C. D. S. Lead toxicity on a sentinel species subpopulation inhabiting mangroves with different status conservation. **Chemosphere**, v. 251, p. 126394, 2020.

FALQUETO, A.R.; SILVA, D.M.; FONTES, R.V. Photosynthetic performance of mangroves *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* under field conditions. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, 577-582, 2008.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D.A. ExpDes. pt: pacote experimental designs (Portuguese). R package version 1.2.2. 2021.

FIELD, ANDY; MILES, JEREMY; FIELD, ZOË. **Discovering statistics using R**. Sage publications, 2012.

GOTELLI, N.J.; ELLISON, A.M. **A primer of Ecological Statistics**. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates. 579 p, 2013.

GROSS, M. G. Carbon determination. In: CARVER, R. E. (ed.) **Procedure in sedimentar petrology**. New York: Wiley-Interscience. Cap.25, p.573-596, 1971.

HARRIS, R. R.; SANTOS, M. C. F. Heavy metal contamination and physiological variability in the Brazilian mangrove crabs *Ucides cordatus* and *Callinectes danae* (Crustacea:Decapoda). **Marine biology**, v. 137, n. 4, p. 691-703, 2000.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**, v. 24, n. 6, p. 417, 1993. <https://doi.org/10.1037/h0071325>.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE. Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. 2015.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. *R package version*, 1(5), 337-354, 2017.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of statistical software*, 25, 1-18, 2018.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. (1994) **Numerical ecology**. Elsevier, Amsterdam.

LEME, M. H. A. Investimento reprodutivo e produção de ovos em desovas consecutivas do caranguejo *Aratus pisonii* (H. Milne Edwards) (Crustacea, Brachyura, Grapsoidea). **Revista brasileira de Zoologia**, v. 23, p. 727-732, 2006.

MACFARLANE, G. R., & BURCHETT, M. D. Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metal stress in the Grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. **Marine pollution bulletin**, v. 42, n. 3, p. 233-240, 2001.

MALAVOLTA, R. W., Vitti, C.C., Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Esalq - USP, Piracicaba. 1997

MARSDEN, I. D.; RAINBOW, P. S. Does the accumulation of trace metals in crustaceans affect their ecology—the amphipod example? **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 300, n. 1-2, p. 373-408, 2004.

MELO, G. A. S. **Manual de identificação dos Brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro**. Editora Plêiade; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1996.

MORTIMER, M.R.; MILLER, G.J. Susceptibility of larval and juvenile instars of the sand crab, *Portunus pelagicus* (L.), to sea water contaminated by chromium, nickel or copper. **Marine and Freshwater Research**, v. 45, n. 7, p. 1107-1121, 1994.

NÓBREGA, N.E.F., SILVA, J.G.F., RAMOS, H.E.A., PAGUNG, A.F.S., 2008. Balanço Hídrico Climatológico e Classificação Climática de Thornthwaite e Köppen para o Município de São Mateus – ES. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 18., 2018, São Mateus. O Equilíbrio do fluxo hídrico para a agricultura irrigada sustentável: anais. São Mateus: ABID, 2008. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/248/1/1569-sao-mateus.pdf>.

OGAWA, E. F., & ROCHA, C. A. S. Sobre a fecundidade de crustáceos decápodos marinhos do Estado do Ceará, Brasi, 1976.

ORTEGA, P.; VITORINO, H. A.; MOREIRA, R. G.; PINHEIRO, M. A. A.; ALMEIDA, A. A.; CUSTÓDIO, M. R.; ZANOTTO, F. P. Physiological differences in the crab *Ucides cordatus* from two populations inhabiting mangroves with different levels of cadmium contamination. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 36, n. 2, p. 361-371, 2016.

PASUPATHI, K.; KANNUPANDI, T. Effect of the heavy metal zinc on larval stages of the mangrove grapsid crab *Sesarma pictum* de Haan. *Ind. J. Inv. Zool. & Aquat. Biol.* 1: 53-57, 1989.

PINHEIRO, M. A. A.; SILVA, P. P. G.; DUARTE, L. F. A.; ALMEIDA, A. A.; ZANOTO, F. F. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: ucididae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: rhizophoraceae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 81, p. 114-121, 2012.

PORTO, L., TOGNELLA, M., & LIMA, K. Fecundidade de *Ucides cordatus* (linnaeus, 1763) (crustacea: decapoda: brachyura) no norte do Espírito Santo, Brasil. **Enciclopedia Biosfera**, v. 18, n. 37, 2021.

R CORE TEAM. **R: a Language and an Environmental for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10. jan. 2022.

RODRÍGUEZ, E.M.; MEDESANI, D. Pathological lesions in larvae hatched from ovigerous females of *Chasmagnathus granulata* (Decapoda, Brachyura) exposed to cadmium. **Experientia**, v. 50, n. 10, p. 975-977, 1994.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual – Anexo 1 Ecotoxicologia. RT-17, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 884 pag. 2019.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual – Anexo 5 Manguezal RT-21, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 600 pag. 2019.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual – Anexo 5 Manguezal RT-21, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 600 pag. 2019.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – Ambiente Costeiro. RT-36C, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 422 pag. 2020.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – Ambiente Costeiro. RT-39C, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 349 pag. 2022.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Semestral – Seção 3 – Anexo 5 Manguezal. RT-42, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 205 pag. 2023.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; G. CINTRÓN. *Guia para estudos de áreas de manguezal: estrutura, função e flora*. São Paulo, **Caribbean Ecological Research**, 150p. + apêndices, 1986.

SCHMIDT, A. J. SCHMIDT, Anders Jensen. **Estudo da dinâmica populacional do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea-Decapoda-Brachyura), e dos efeitos de uma mortalidade em massa desta espécie em manguezais do Sul da Bahia**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2006.

SCHMIDT, A. J., OLIVEIRA, M. A., SOUZA, E. P., MAY, M., & ARAÚJO, S. M. B. Relação entre abertura de galeria e comprimento de cefalotórax do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea-Decapoda-Brachyura). **Bol. Técn. Cient. CEPENE**, v. 16, n. 1, p. 51-58, 2008.

SMIT, M.F.; VAN HEERDEN, P.D.R.; PIENAAR, J.J.; WEISSFLOG, L.; STRASSER, R.J.; KRÜGER, G.H.J. Effect of trifluoroacetate, a persistent degradation product of fluorinated hydrocarbons, on *Phaseolus vulgaris* and *Zea mays*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 47, 623-634, 2009.

STIRBET, A.; GOVINDJEE. 2011. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. **Journal of Photochemistry and PhotoBiology**, v. 104, n. 1–2, jul–ago, 2011.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL M.; SRIVASTAVA A. Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient. – In: Papageorgiou GC, Govindjee (ed.): **Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration**. Springer, Dordrecht, pp 321-362, 2004.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blüncher, EDUSP, 318 p. 1973.

TAIYUN WEI e VILIAM SIMKO (2021). R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.92). <https://github.com/taiyun/corrplot>.

TEIXEIRA, G. M.; FRANSOZO, V.; GÓES, J. M.; FERNANDES-GÓES, L. C.; HIROSE, G. L.; ALMEIDA, A. C.; FRANSOZO, A. Reproductive investment and multiple spawning evidence in the redfinger rubble crab *Eriphia gonagra* (Brachyura, Eriphioidea). **Nauplius**, v. 25, 2017.

THULEAU, S.; HUSSON, F. **FactoInvestigate: Automatic Description of Factorial Analysis**. R package version 1.7 2020. <https://CRAN.R-project.org/package=FactoInvestigate>.

TOGNELLA, M. P. P.; FALQUETO, A. R.; ESPINOZA, H. C. F.; et al. Mangroves as traps for environmental damage to metals: the case study of the Fundão dam. **Science of The Total Environment**, v. 806(4), 2022.

VERÍSIMO, P.; BERNÁRDEZ, C.; GONZÁLEZ-GURRIARÁN, E.; FREIRE, J.; MUIÑO, R.; FERNÁNDEZ, L. Changes between consecutive broods in the fecundity of the spider crab, *Maja brachydactyla*. **ICES Journal of Marine Science**, v. 68, n. 3, p. 472-478, 2010.

WELLBURN, A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. **Journal of Plant Physiology**, 144:307-313, 1994.

WICKHAM, H. (2011). ggplot2. **Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics**, 3(2), 180-185.

WICKHAM, H.; BRYAN, J.; POSIT, P. B. C.; KALICINSKI, M.; VALERY, K.; LEITIENNE, C.; COLBERT, B.; HOERL, D.; MILLER, E. Package 'readxl': read Excel files. R package version 1.4. 2. 2023.

WICKHAM, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K.; VAUGHAN, D.; POSIT, P. B. C. dplyr : A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.1.0. 2023.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. Prentice Hall, 3 ed., University of Michigan, 662 pp., 1996.