

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

**Material Suplementar Ambiente Dulcícola – Tema Macrófitas**

**RT- 43/ JUN 23**

**RA2022 PMBA/Fest**

Vitória,

Junho de 2023

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>3</b>
2.1	COLETA .....	3
2.2	ANÁLISES .....	4
2.3	HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES METODOLÓGICAS .....	6
<b>3</b>	<b>RESULTADOS DOS INDICADORES .....</b>	<b>7</b>
3.1	ABUNDÂNCIA .....	8
3.2	RIQUEZA.....	12
3.3	UNIFORMIDADE .....	18
3.4	DOMINÂNCIA.....	21
3.5	DIVERSIDADE .....	24
<b>4</b>	<b>ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS .....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>

## 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

As plantas foram coletadas utilizando um quadrado de 1 m<sup>2</sup> que foi lançado, aleatoriamente, oito vezes em cada estação da malha amostral, de forma preestabelecida e referenciada no perímetro da estação, por meio da coordenada geográfica de cada quadrado. Nas estações localizadas em ambientes lóticos, ou seja, calha do Rio Doce e calha do Rio Manhuaçu (novo ciclo e malha amostral) e Rio Guandu (antigo ciclo e malha amostral), foram realizados quatro lançamentos em uma margem e os outros quatro na outra margem, enquanto que nos ambientes lênticos, todos os oito quadrados foram lançados somente em uma margem. Para efeitos de comparação, as 14 estações amostrais foram divididas em: calha do rio Doce (E0a – Resplendor, E0 - Itapina, E21 - Porto de Linhares, E26 – Regência, E26F - Foz), lagos (E19 - Nova, E20 - Juparanã, E22 - Palmas), lagoas (E24 - Areal, E25 -

Monsarás, E27 - Cacimbas), rio tributário (E17 – Rio Guandu e E2 – Rio Manhuaçu) e reservatórios (ERM – Mascarenhas e ERA – Aimorés [novo ciclo e malha amostral]).

Os espécimes férteis (frondes para plantas vasculares sem sementes, flores e/ou frutos para as angiospermas) foram coletados com no mínimo de três amostras (sempre que possível) e processados de acordo com os métodos usuais em taxonomia vegetal (Bridson & Forman 1998). As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Taxonomia Vegetal – Labtax/CCHN/UFES e depositadas no Herbário VIES (Universidade Federal do Espírito Santo). Sempre que possível, amostras adicionais foram coletadas (flores e frutos) e acondicionadas em recipientes adequados e preservadas em álcool etílico 70%, para estudos morfológicos e identificação. Para as plantas vasculares sem sementes, uma amostra foi necessariamente coletada e armazenada em álcool 70% (além das três amostras para exsiccatas). Os espécimes coletados foram acompanhados de seus respectivos registros fotográficos e os dados referentes às coordenadas geográficas obtidos por meio do aparelho de GPS (Global Positioning System).

## 2.2 ANÁLISES

A identificação dos espécimes foi realizada por meio do método comparativo de vouchers depositados em herbários [CVRD, K, MBML, MO, NY, RB, SPF, VIES, acrônimos de acordo com Thiers (2022)] e/ou utilizando-se bibliografias específicas. A lista das espécies segue os nomes das famílias botânicas propostas pelo APG IV (2016), para as angiospermas, e Smith et al. (2006), para as plantas vasculares sem sementes. Os nomes dos autores seguem a Flora e Funga do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do#CondicaoTaxonCP>) e o estado de conservação dos táxons o CNCFlores (2020), para o estado de conservação à nível nacional, e Fraga et al. (2019), para o estado de conservação à nível estadual.

O banco de imagens foi utilizado para a confecção de um guia ilustrado de campo (guia fotográfico) com características diagnósticas das espécies, para auxiliar na identificação específica em diagnósticos ambientais rápidos. O guia será confeccionado utilizando a ferramenta de design gráfico gratuita Canva (<https://www.canva.com/>).

A classificação das formas biológicas das macrófitas aquáticas seguiu o proposto por Irgang et al. (1984), sendo as espécies categorizadas como: submersa fixa - enraizadas e que crescem totalmente submersas na água; submersa livre - permanecem flutuando submersas na água; flutuante fixa - são enraizadas e com folhas flutuando na superfície da água; flutuante livre - permanecem flutuando com as raízes abaixo da superfície da água; anfíbia - plantas geralmente de margens; emergentes - enraizadas com folhas emergindo parcialmente; e epífita.

Os parâmetros de diversidade (abundância, riqueza, biomassa, índice de dominância e composição de espécies) foram comparados tanto espacial (áreas afetadas diretamente X áreas adjacentes) quanto temporalmente (ao longo do período de monitoramento). Para testar a suficiência amostral total e de cada ambiente (rio Manhuaçu, Lagos, Lagoas, Reservatórios e rio Doce), curvas de rarefação foram

confeccionadas reunindo os dados gerais e abundância específica. Para todas as análises relativas aos parâmetros numéricos das comunidades foram construídos modelos lineares generalizados (GLMs), usando-se as distribuições de erros adequadas em cada caso. As variáveis dependentes (resposta) dos modelos foram abundância, riqueza e índice de dominância e as variáveis independentes (explicativas) foram o local nas análises espaciais e o tempo nas análises temporais, levando em consideração os dos períodos sazonais, chuvoso (Novembro a Março) e seco (Abril a Outubro), levando em consideração os períodos já analisados nos anos anteriores. Todos os modelos, bem como os testes estatísticos, foram construídos/realizados utilizando-se a plataforma R (R Development Core Team 2019). Todas as investigações foram submetidas à análise de resíduos para verificação das distribuições de erro utilizadas, adequação dos modelos e possível presença de 'outliers'.

As análises de composição foram feitas através de estatística multivariada a partir de planilhas de presença X ausência com abundância em cada estação amostral. Foram realizadas análises de similaridade (ANOSIM) e de porcentagem de contribuição das espécies mais influentes (SIMPER), utilizando-se o índice de similaridade de Bray-Curtis. A realização de testes do tipo SIMPER permitem a identificação de espécies mais "influentes" na separação das comunidades, de maneira que, a partir da biologia de tais espécies, seja possível inferir se a mesma é uma espécie que pode ser apontada como bioindicadora. Tais análises foram realizadas no software Past 2.17 (Hammer et al. 2001).

Para o novo ciclo, novas análises estão sendo desenvolvidas, como análises de fenologia reprodutiva, biomassa e absorção de metais nas raízes e folhas de espécies bioindicadoras. No entanto, como este relatório abrange somente um mês de monitoramento na nova malha amostral (Agosto de 2022), os dados obtidos para essas novas análises, ainda não são classificadas como indicadores para o tema macrófitas aquáticas, assim, segue abaixo as metodologias das novas análises, no entanto, os seus resultados serão abordados futuramente, quando se constituírem de fato como indicadores.

O levantamento da fenologia reprodutiva será realizado durante os lançamentos dos quadrados, sendo realizado concomitantemente com as análises de diversidade. Além disso, será realizado um resgate da fenologia dos materiais coletados desde outubro de 2018, início das campanhas amostrais do PMBA/Fest, e incluídos no herbário VIES, para inclusão nas análises de fenologia reprodutiva. Para isso, de acordo com Tannus et al. (2006), será considerada a presença de flores e/ou frutos, além de botões florais e frutos no início de desenvolvimento para as angiospermas, e esporos para as plantas vasculares sem sementes. Quando os espécimes de angiospermas apresentarem flores e frutos concomitantemente, far-se-á o registro de ambas as fenofases nos respectivos meses de ocorrência. Além disso, os registros fenológicos serão classificados quanto ao período sazonal (seco ou chuvoso) e a duração da floração, frutificação e presença de esporos, sendo breve (1 mês), intermediária (2 a 3 meses) e extensa (4 ou mais meses). A data média de floração, frutificação e presença de esporos das espécies, sincronia e o teste de Rayleigh serão calculados no software Oriana 2.0 (Kovach 2004). A inclusão da análise fenológica é importante pois as variáveis ambientais também regularizam as fenofases dos vegetais (e.g. Fonseca et al. 2017), mesmo quando os fatores genéticos são os responsáveis pela existência de periodicidade de desenvolvimento (Richards 1952, Morellato et al.

1989). Além disso, a adição desta análise não impactou a planilha financeira do projeto, já que se trata de observações em campo.

Para a determinação da biomassa, foram utilizados os organismos vegetais que estiverem dentro do quadrado (1m<sup>2</sup>) que foram lançados no momento de obtenção dos dados de diversidade. As plantas do interior do quadrado foram coletadas manualmente, seguindo a proposta estabelecida por Howard-Williams (1975). O material biológico coletado foi lavado com água do próprio ambiente e posteriormente acondicionado em saco plástico e devidamente identificado, sendo as amostras encaminhadas ao Laboratório de Taxonomia Vegetal – Labtax/CCHN/UFES, onde passaram por triagem. Em laboratório, o material foi seco em estufa a 65°C e, posteriormente, pesado em balança digital, sendo os valores expressos em gramas de peso seco por metro quadrado (gPS/m<sup>2</sup>) e analisados primeiramente de forma individual, considerando o peso seco de cada margem para os ambientes lóticos e de margem única para os ambientes lênticos, de cada estação amostral estudada no âmbito do PMBA/Fest. Subsequentemente, a biomassa de peso seco poderá ser transformada em biomassa de carbono, de acordo com Wetzel & Likens (2000), onde foi considerado que 0,47 do peso seco remanescente livre de cinzas são carbono.

Por fim, para as análises de metais, serão coletadas manualmente, em cada estação amostral, amostras de raízes e folhas de espécies indicadoras de forma sazonal, sendo uma coleta no período seco e outra no período chuvoso. Posteriormente, as amostras serão armazenadas em sacos plásticos perfurados para o escoamento da água. Previamente, foram estabelecidas as seguintes espécies: *Eichhornia azurea*, *Eichhornia crassipes*, *Salvinia auriculata*, *Salvinia biloba* e *Typha domingensis*, por serem registradas na maioria das estações amostrais, assim, abrangendo os ambientes lóticos e lênticos analisados no âmbito do PMBA/Fest. Todo material da mesma espécie coletado no quadrante será reunido, formando duas amostras compostas para cada espécie, uma amostra de raízes e outra de folhas. Em laboratório, o material será inicialmente lavado em água corrente para a eliminação de detritos e matéria orgânica. Posteriormente, se procederá a secagem em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura ajustada em 65 °C, por um período de 48 horas. Após esse período, todo o material será triturado em moinho, peneirado em malha de 2,0 mm e pesado 0,5 g de amostra de cada estação amostral, em triplicatas. A digestão das amostras e quantificação dos metais pesados (Fe, Al, Mn, Zn, V, Ba, Cd, As) serão realizadas no Departamento de Química da UFMG. Finalmente, destaca-se que a coleta para a realização das análises de metais para o período chuvoso já foi realizada entre janeiro e março de 2023, estando os materiais em processamento no Departamento de Química da UFMG.

## 2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES METODOLÓGICAS

Em relação ao histórico de alterações e adaptações metodológicas no monitoramento da comunidade de Macrófitas Aquáticas do baixo Rio Doce, as metodologias de coletas e análises se mantiveram as mesmas desde outubro de 2018 até maio de 2022, sendo realizadas coletas nas duas margens de cada estação e avaliados os índices de diversidade, riqueza, abundância, uniformidade e dominância, bem como a atualização contínua da lista florística de cada estação amostral. No entanto, ressalta-se

que a estação amostral 23 (Lagoa do Areão) teve o seu monitoramento realizado somente no primeiro ano, não sendo possível acessar essa lagoa nos demais anos do monitoramento. Já no novo ciclo do PMBA/Fest, as análises de biodiversidade continuam sendo realizadas, no entanto, foram adicionadas mais algumas, como a análises de metais nas raízes e folhas de espécies bioindicadoras em cada estação amostral por período sazonal, sendo uma coleta no período seco e outra no período chuvoso, além disso, iniciamos também análises de biomassa e fenologia reprodutiva das espécies. Por fim, no que tange a coleta, ficou estabelecido a continuação da coleta em duas margens apenas nas estações inseridas nos ambientes lóticos, ou seja, calha do Rio Doce e Rio Manhuaçu, e somente uma margem nas estações de ambientes lênticos, ou seja, Lagos, Lagoas e Reservatórios.

### **3 RESULTADOS DOS INDICADORES**

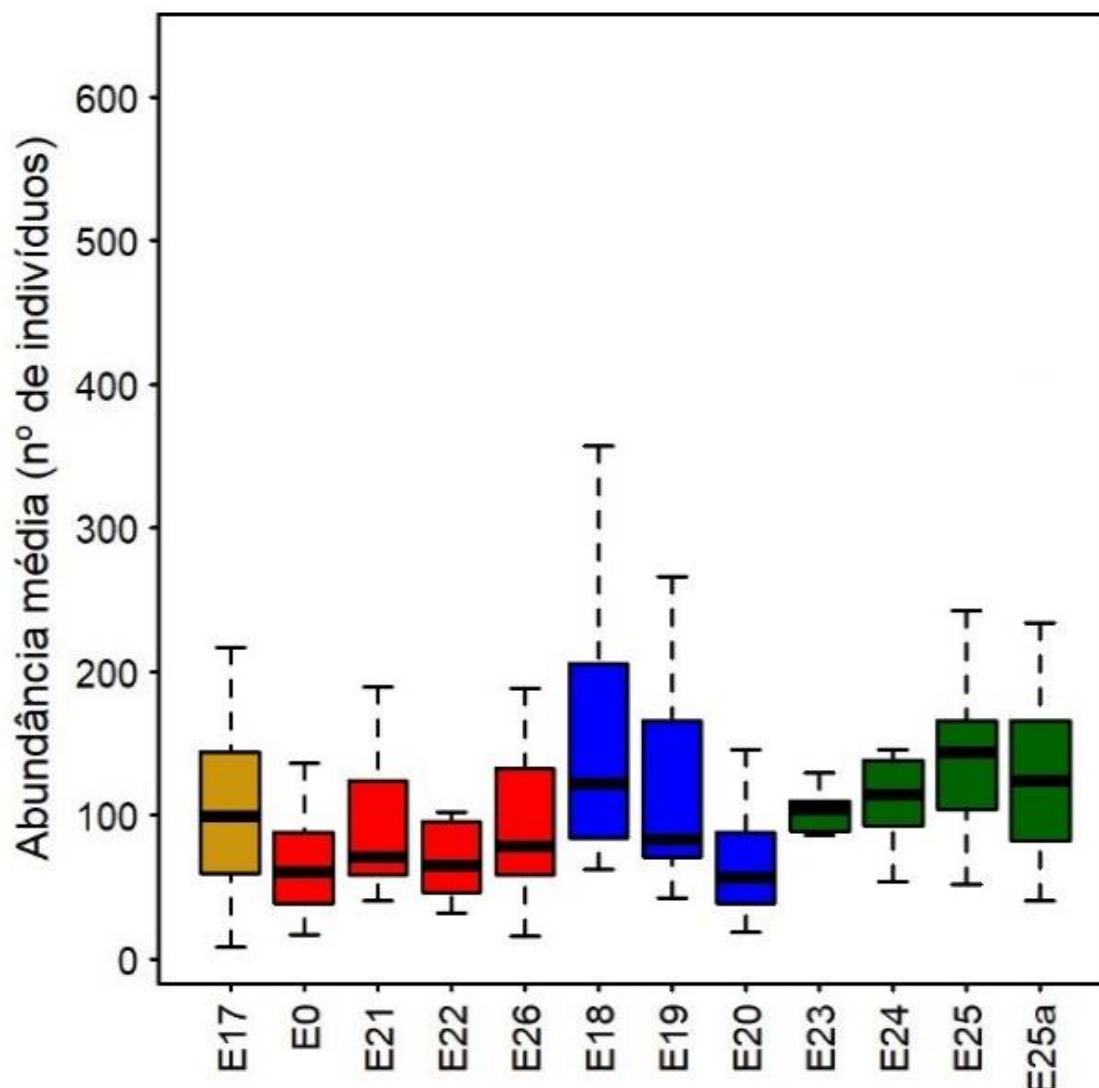
Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – setembro/2022) na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados 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 ABUNDÂNCIA

Figura 1: Abundância espacial das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. E17 – Rio Guandu; E0 – Rio Doce – Itapina; E21 – Rio Doce – Porto de Linhares; E22 – Rio Doce – Povoação; E26 – Rio Doce – Porto de Regência; E18 – Lago do Limão; E19 – Lago Nova; E20 – Lago Juparanã; E23 – Lagoa Areão; E24 – Lagoa Areal; E25 – Lagoa Monsarás; E25a – Lagoa Monsarás.

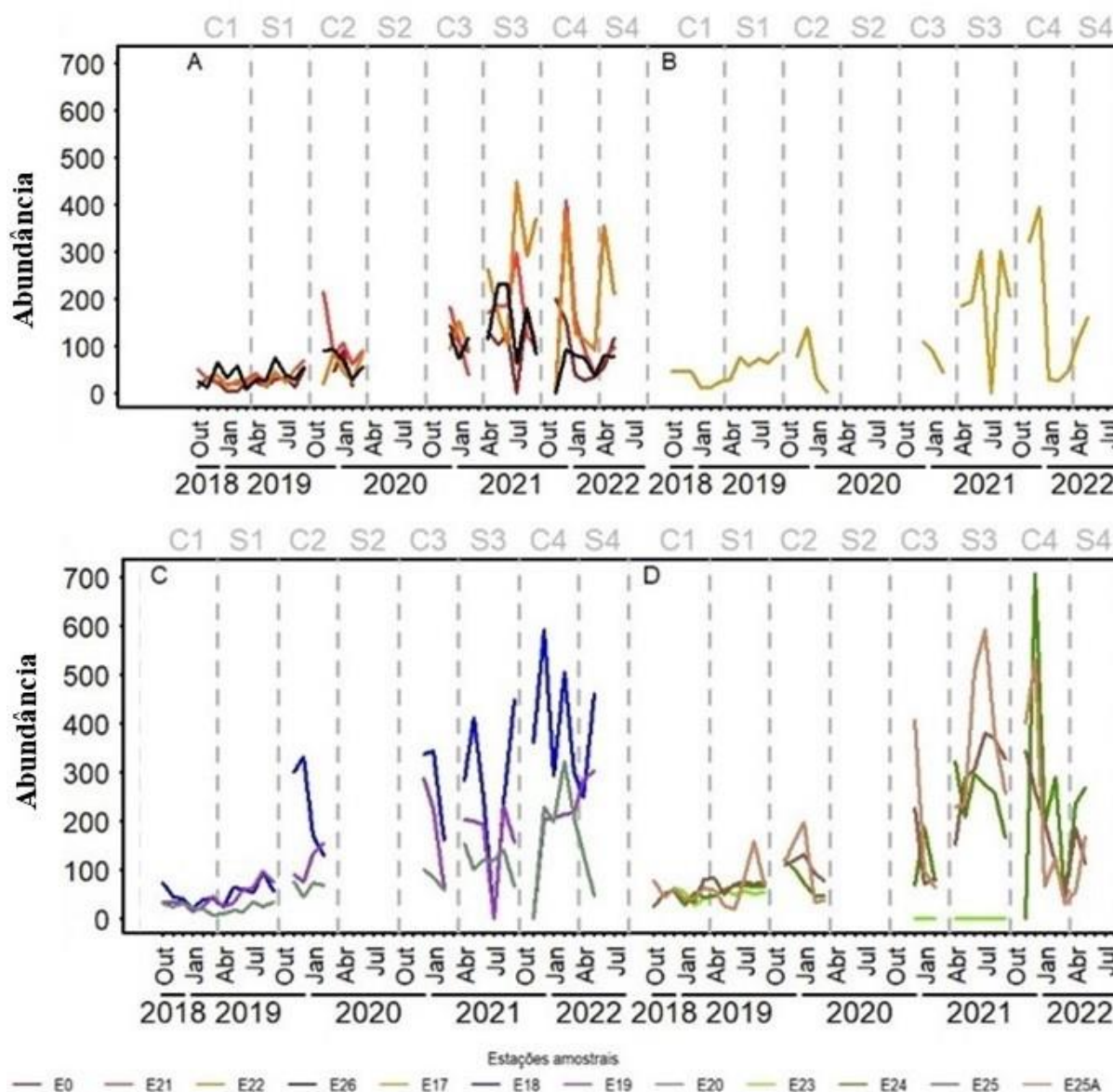


A figura evidencia a análise quantitativa da abundância, ou seja, o número de indivíduos registrados, em cada estação amostral, bem como nos quatro ambientes analisados. Em relação aos ambientes lóticos, rio Guandu (E17) em amarelo e rio Doce (E0, E21, E22 e E26) em vermelho, percebemos que a abundância do rio Guandu é maior do que qualquer uma das estações localizada na calha do rio Doce, com a mediana em torno de 100 indivíduos, enquanto para as estações da calha do rio Doce, os maiores valores são registrados para E26 (porto de Regência), localizada próxima a foz do rio Doce, com a mediana levemente superior às demais estações amostrais. Por outro lado, os menores valores são registrados para E0 (Itapina), enquanto E21 (Porto de Linhares) e E22 (Povoação) possuem medianas semelhantes. Em relação aos ambientes lênticos, podemos observar que nos Lagos (E18, E19 e E20) em azul, a estação E18 (Lago Limão) apresenta os maiores valores, muito por conta da grande quantidade de indivíduos registrados da espécie *Egeria densa*, possuindo mediana superior à



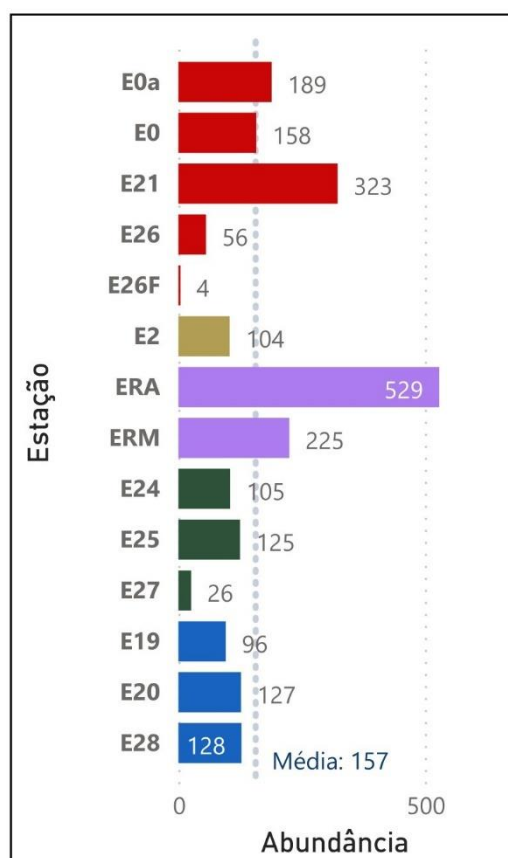
de todas as estações do ambiente lótico. Em seguida, E19 (Nova) apresenta o segundo maior valor para a abundância nos Lagos, tendo mediana semelhante à de E26, e por fim, E20 (Juparanã) possui os menores valores de abundância nos Lagos, sendo sua mediana semelhante à de E0. Por fim, no ambiente de Lagoas (E23, E24, E25 e E25a) em verde, os maiores valores são verificados em E25 (Monsarás), sendo a maior mediana de todas as estações amostrais do monitoramento analisadas, com cerca de 150 indivíduos. Em segundo lugar temos E25a (Monsarás), seguida por E24 (Areal) e E23 (Areão). Um ponto interessante de ser mencionado é o fato da E23, uma estação que foi monitorada apenas no primeiro ano de execução do PMBA/Fest, ainda apresenta abundância maior que demais as estações que continuam sendo monitoradas, como todas aquelas localizadas na calha do rio Doce e dois Lagos, E19 e E20. Provavelmente isso se deve ao fato de E23 estar inserida em uma propriedade privada, onde um acesso é bastante restrito, fazendo com que as espécies possam ocorrer em seu máximo de sobrevivência, enquanto as estações da calha do rio Doce, altamente antropizadas com um maior acesso de pessoas, sofreram o impacto direto da pluma de rejeitos e são influenciadas por todo o escoamento antrópico (ex. descarga de esgotos) que é direcionado para o rio Doce. Já E19 e E20 estão localizadas em Lagos que são bastante utilizados pela a população de maneira geral, especialmente para lazer e turismo, além de também ocorrer o descarregamento de esgotos e o fácil acesso de pessoas, sendo essas condicionantes contrárias ao encontrado na E23.

Figura 2: Abundância espaço-temporal das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática por ambiente. A. Rio Doce; B. Rio Guandu; C. Lagos; D. Lagoas.



Verificou-se a continuidade do decaimento da abundância na E22, ao passo que os valores para E0 e E21 estão ainda em ascendência. Os valores para E26 parecem estar em uma fase de estabilização. O mesmo ocorrido para E0 e E21 está acontecendo também para o rio Guandu (E17), onde os valores também continuam em ascendência. Para os Lagos, os valores da abundância no Lago Limão continuam em ascendência, sendo maio de 2022, o último dado para essa estação amostral, uma vez que ela não será monitorada na nova malha amostral. A estação do Lago Nova (E19) está em uma leve ascendência em comparação com E18, ao passo que E20 continua em decaimento. Por fim, em relação às lagoas, E24 e E25a continuam com os valores de abundância aumentando ao longo do tempo, enquanto E25 continuou apresentando o decaimento verificado desde o início do 4º período seco.

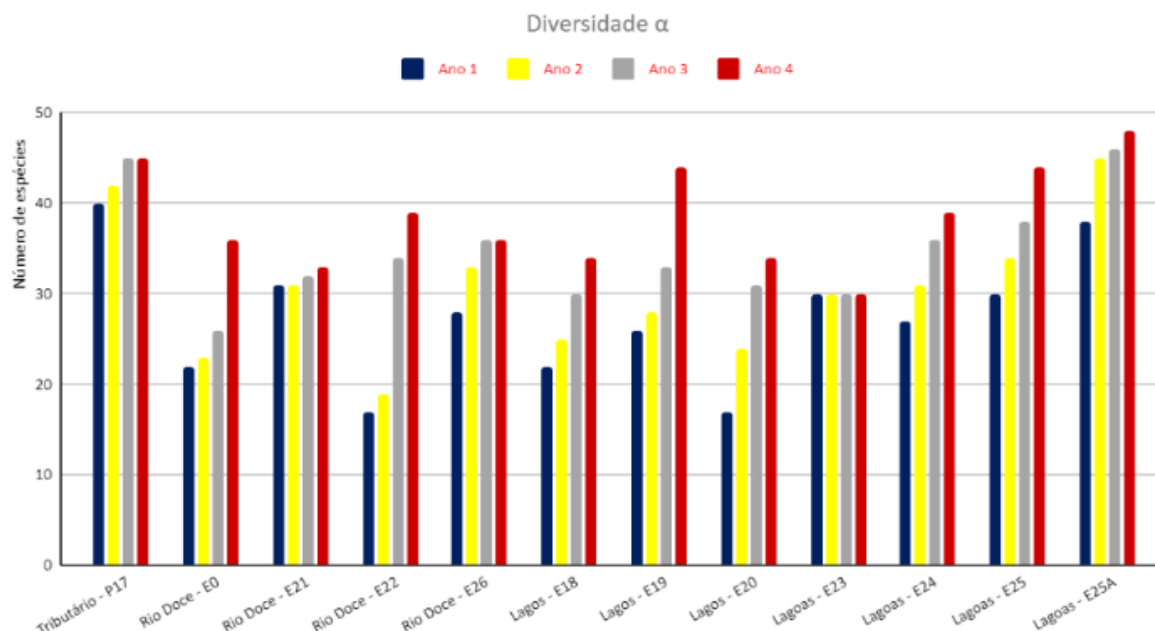
Figura 3: Abundância espacial das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática para o mês de agosto de 2022 – primeira campanha amostral do novo ciclo PMBA/Fest.



Nos dados obtidos na primeira campanha de execução da nova malha amostral, foi verificado que, em relação à abundância, onde a média foi 157 indivíduos, a Estação Reservatório de Aimorés (ERA) apresentou os maiores valores, com 529 indivíduos, seguido por E21 com 323 e Estação Reservatório de Mascarenhas (ERM) com 225 indivíduos. Os menores valores para abundância foram em E26F com quatro indivíduos, E27 com 26 indivíduos e E26 com 56 indivíduos.

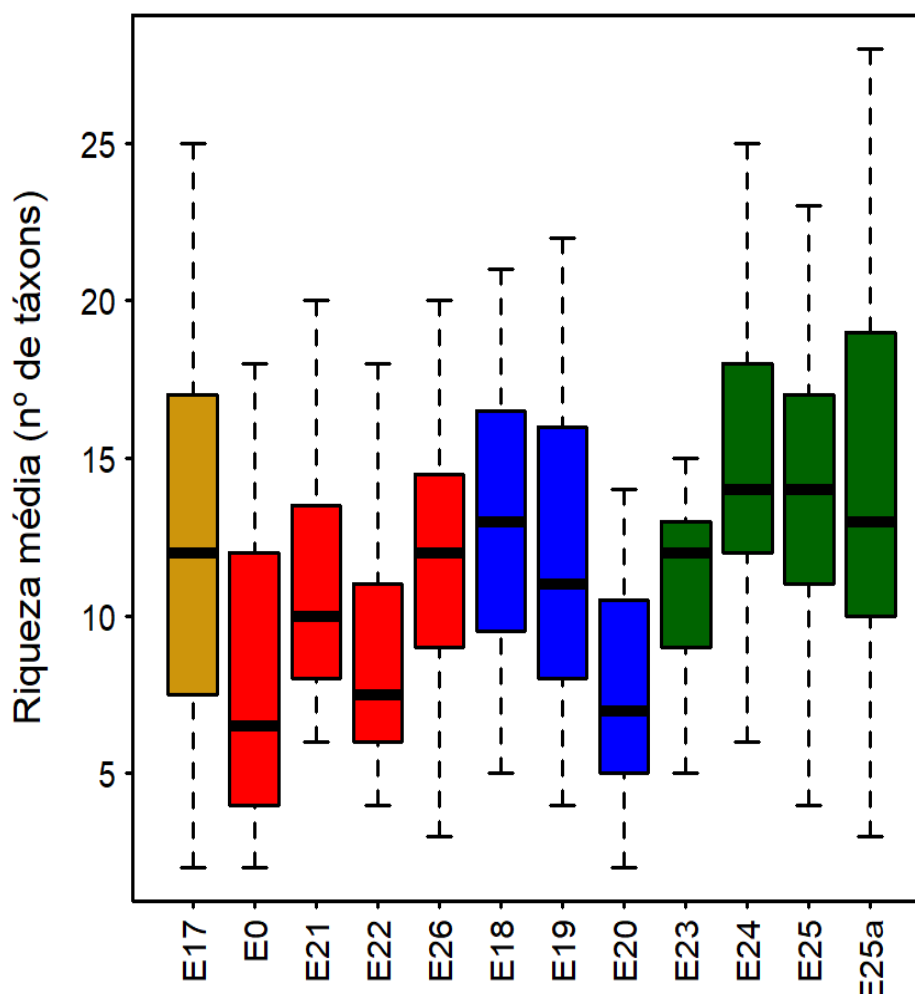
### 3.2 RIQUEZA

Figura 4: Riqueza de espécies por estação amostral temporalmente monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática.



Ao longo do monitoramento, houve aumento na diversidade  $\alpha$  em praticamente todas as estações amostrais. Como destacado no RSE 2022, não houve aumento na diversidade  $\alpha$  em E23, E17 e E26. Os acréscimos mais significativos foram em E0, E22, E19 e 25, porém, do RSE2022 para o RA2023, não houve mudança na diversidade  $\alpha$  e a riqueza média continuou com a mesma tendência verificada anteriormente, com as estações de Lagoas (25A, 25, 24 e 23), juntamente com o Rio Guandu (17), sendo as mais ricas.

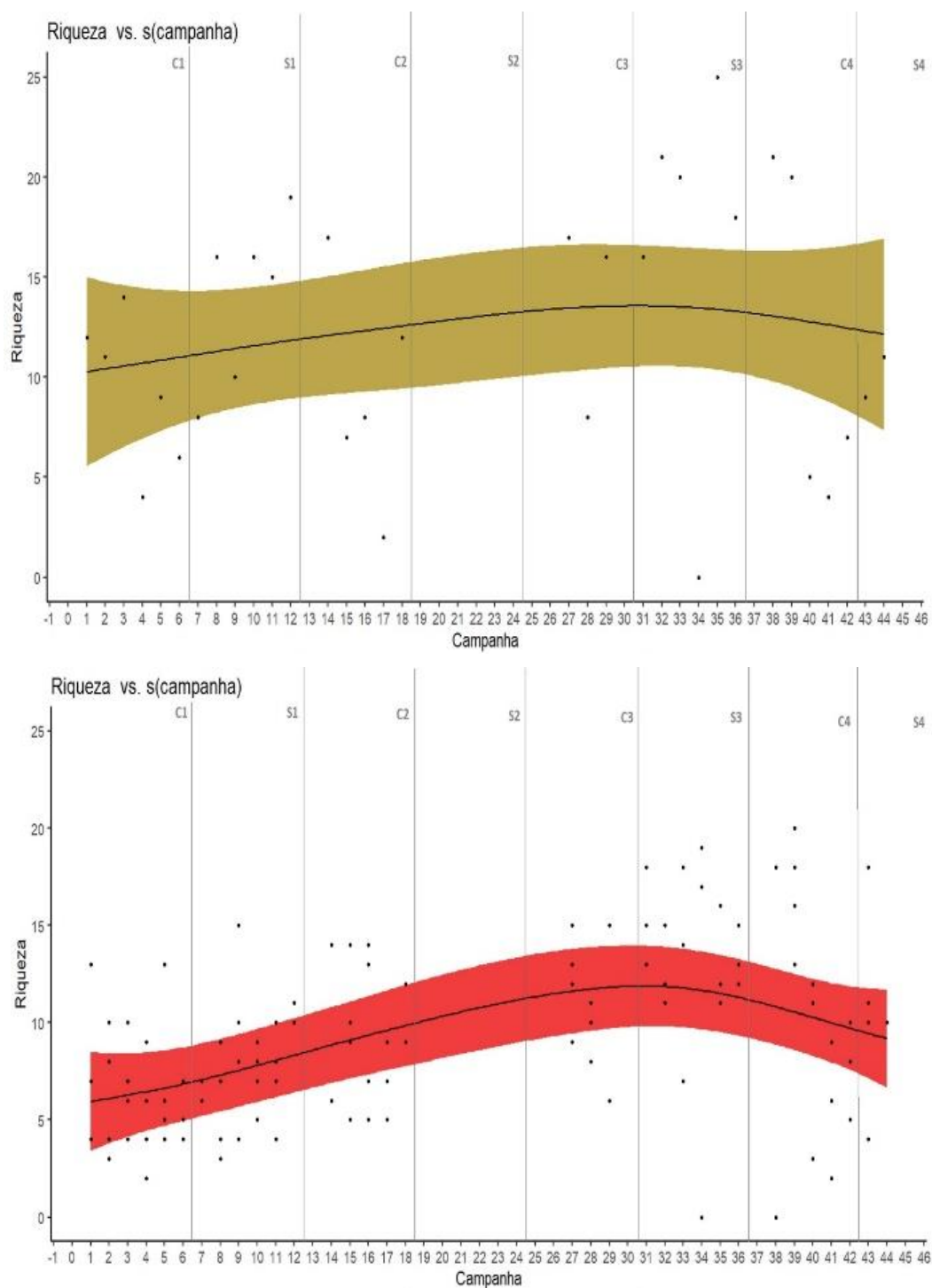
Figura 5: Riqueza média espacial das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática.

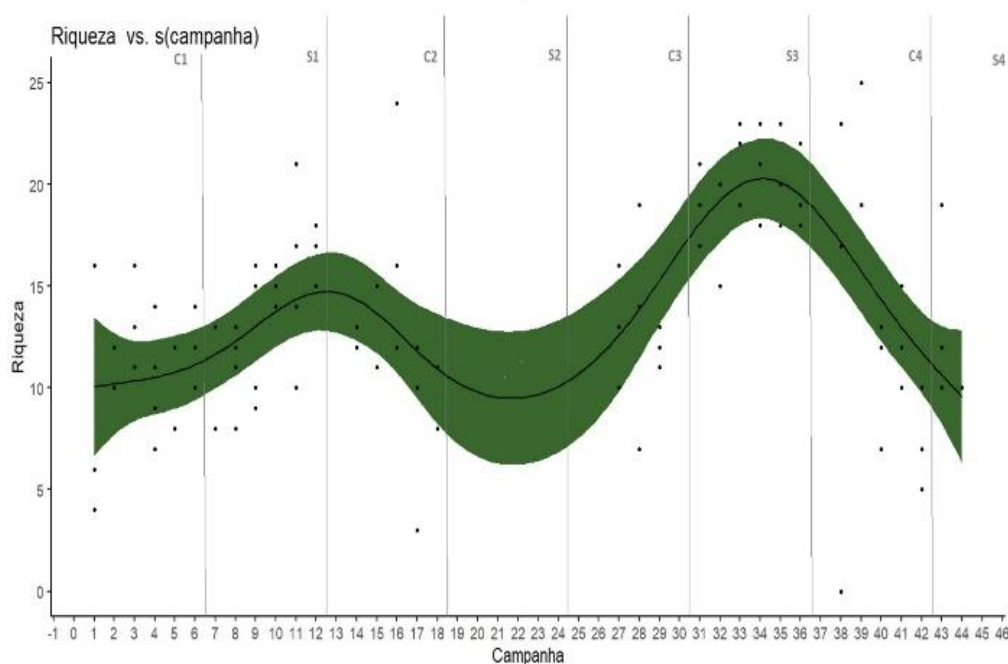
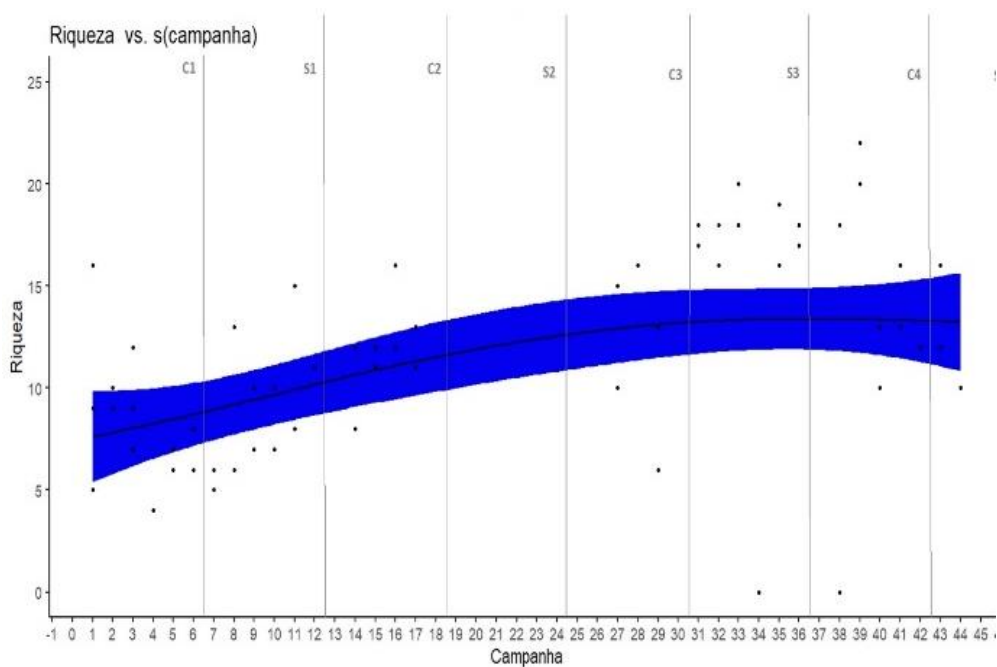


A figura evidencia a riqueza, ou seja, o número de espécies encontrado em cada estação amostral e ambiente analisado. Em relação aos ambientes lóticos, rio Guandu (E17) e E26 (calha do rio Doce), possuem o maior número, com a mediana em cerca de 13 espécies, entretanto, a variação entre o 1º e 3º quartil foi maior na E17 em relação a E26. Dentre as demais estações da calha do rio Doce, E21 possui a mediana com cerca de 10 espécies, seguida por E22, com mediana em oito, e E0, com mediana em sete espécies, sendo a maior variação do 1º ao 3º quartil verificada em E0, mostrando que dentre as estações da calha, esta é a que possui maior flutuação em relação ao número de espécies. Para os ambientes lênticos, a maior riqueza é observada em E18, com a mediana em cerca de 14 espécies, sendo a maior dentre as estações localizadas em lagos. Em seguida, E19 apresenta a maior variação entre o 1º e 3º quartil, entretanto, sua mediana é cerca de 11 espécies. A menor variação entre os quartis e a mediana é observada em E20. Por fim, para as Lagoas, a maior mediana é verificada em E24 e 25, ambas com cerca de 14 espécies, enquanto a mediana de E25a foi 13 e de E23 foi 12. Entre as lagoas, E25a possui a maior amplitude de variação entre o 1º e o 3º quartil, enquanto a menor variação é verificada em E23. Além disso, assim como verificado para os valores de abundância, a mediana da riqueza de E23 é maior do que todas as estações da calha do rio Doce,

exceto por E26. Esta última estação ainda possui a mediana maior que todas as estações de lagos, exceto por E18.

Figura 6: Análise da tendência temporal da riqueza de espécies da comunidade de Macrófitas Aquáticas utilizando Modelos Aditivos Generalizados Mistos – GAMM. Em amarelo – Rio Guandu; Em vermelho – Rio Doce; Em azul – Lagos; Em verde – Lagoas.



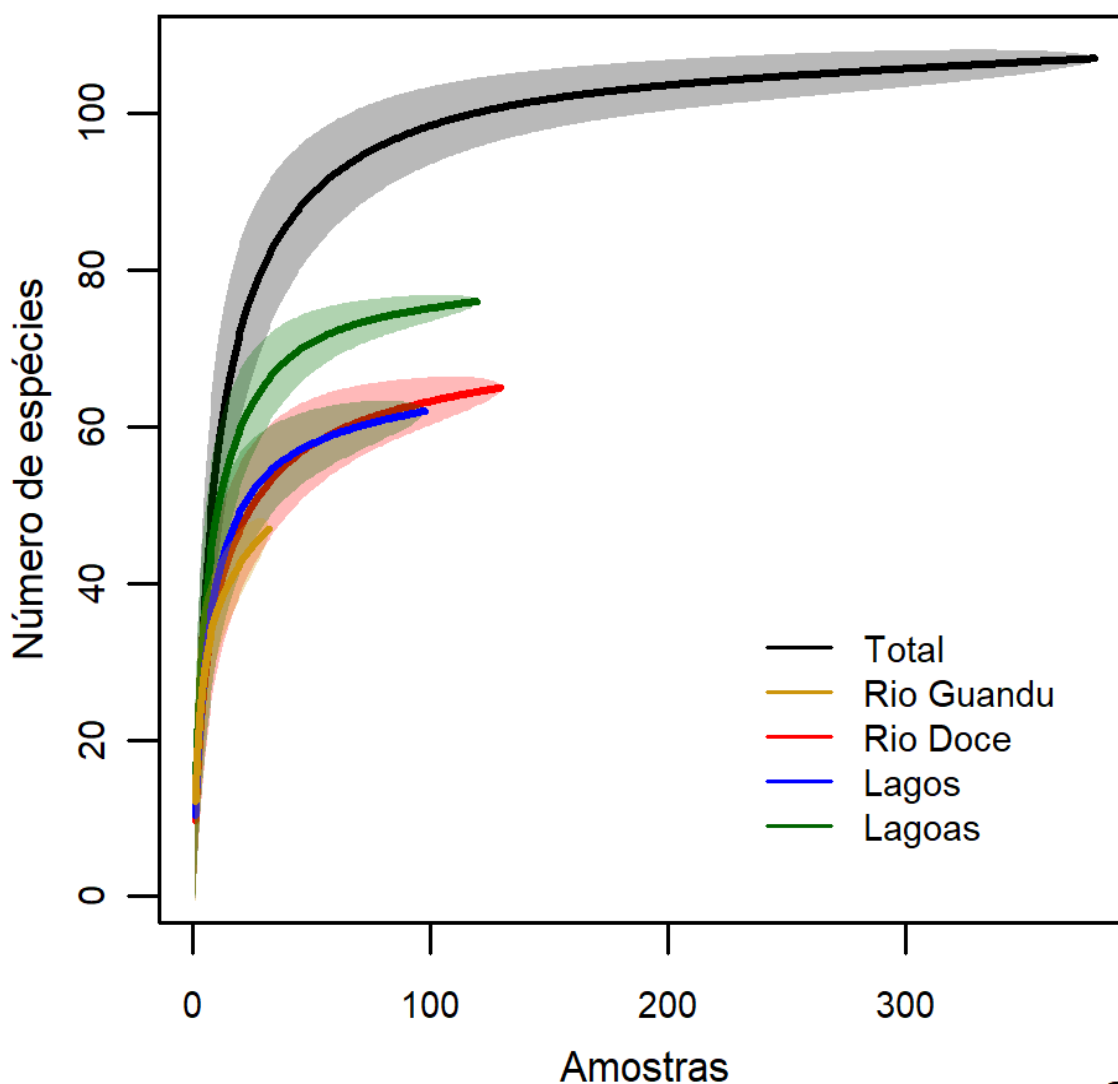


A análise de tendências baseada no indicador riqueza, mostra uma continuidade de tendências para os quatro ambientes analisados, ao longo dos períodos sazonais do monitoramento. Para o rio Guandu continua sendo observada uma tendência para a estabilidade da riqueza, independentemente do período sazonal analisado. Já para o rio Doce, verifica-se uma tendência para a diminuição da riqueza, de maneira geral, desde o final do 3º período seco, continuando em decaimento no 4º período chuvoso e seco. Nos lagos há uma tendência no aumento do número de espécies ao longo do tempo, aumento que se prolonga do início do monitoramento até o presente momento. Por fim, nas Lagoas observa-se grandes flutuações em relação ao número de espécies encontradas. No presente momento continua em decaimento desde a metade para o final do 3º período seco. Além disso, verifica-se que os dois picos do gráfico ocorrem no 1º e 3º período seco, enquanto há um decaimento no 2º e 4º período



chuvoso. Devido a pandemia do COVID-19, essa análise foi prejudicada no 2º período seco e início do 3º período chuvoso, assim, espera-se que no decorrer no 4º período seco surja um pico de riqueza e no 5º período chuvoso haja novamente um decaimento da riqueza.

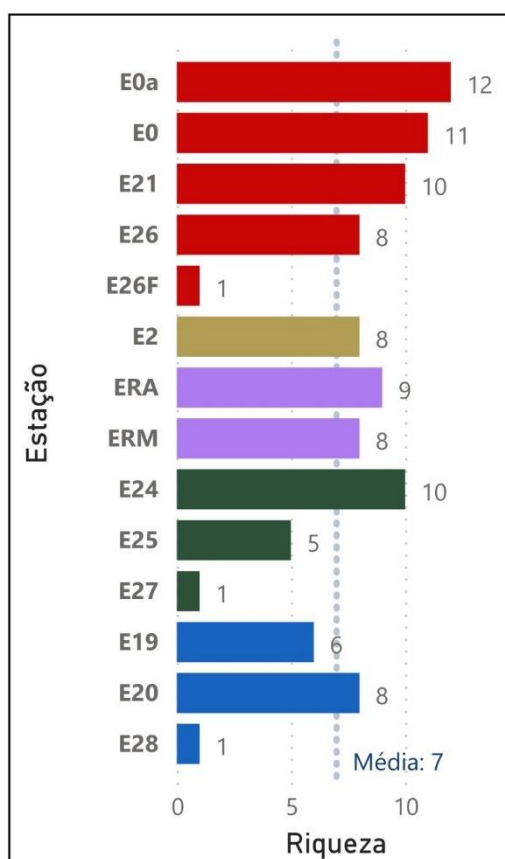
Figura 7: Curvas de rarefação.



A figura mostra as curvas de rarefação para os quatro ambientes analisados no âmbito do PMBA/Fest, bem como uma curva geral com todos os dados. A curva de rarefação busca verificar se a riqueza de espécies aumenta de acordo com o tamanho da amostra estudada. Assim, o mesmo padrão apresentado no RSE2022 continua sendo observado para o RA2023, onde de maneira geral, analisando os dados de riqueza como um único conjunto, a curva de rarefação está em estabilidade, indicando uma possível suficiência amostral em termos de riqueza. Entretanto, quando analisamos cada ambiente separadamente, percebemos que as Lagoas são o ambiente que está iniciando uma possível estabilidade na suficiência amostral, enquanto rio Doce e Lagos apresentam basicamente a mesma curva de rarefação indicando que ainda não possuem uma suficiência amostral em relação ao número de espécies registradas. Por fim, o rio Guandu é o ambiente onde a curva ainda não está em

início de estabilidade, mostrando que para este ambiente, a suficiência amostral está ainda mais longe de ser alcançada.

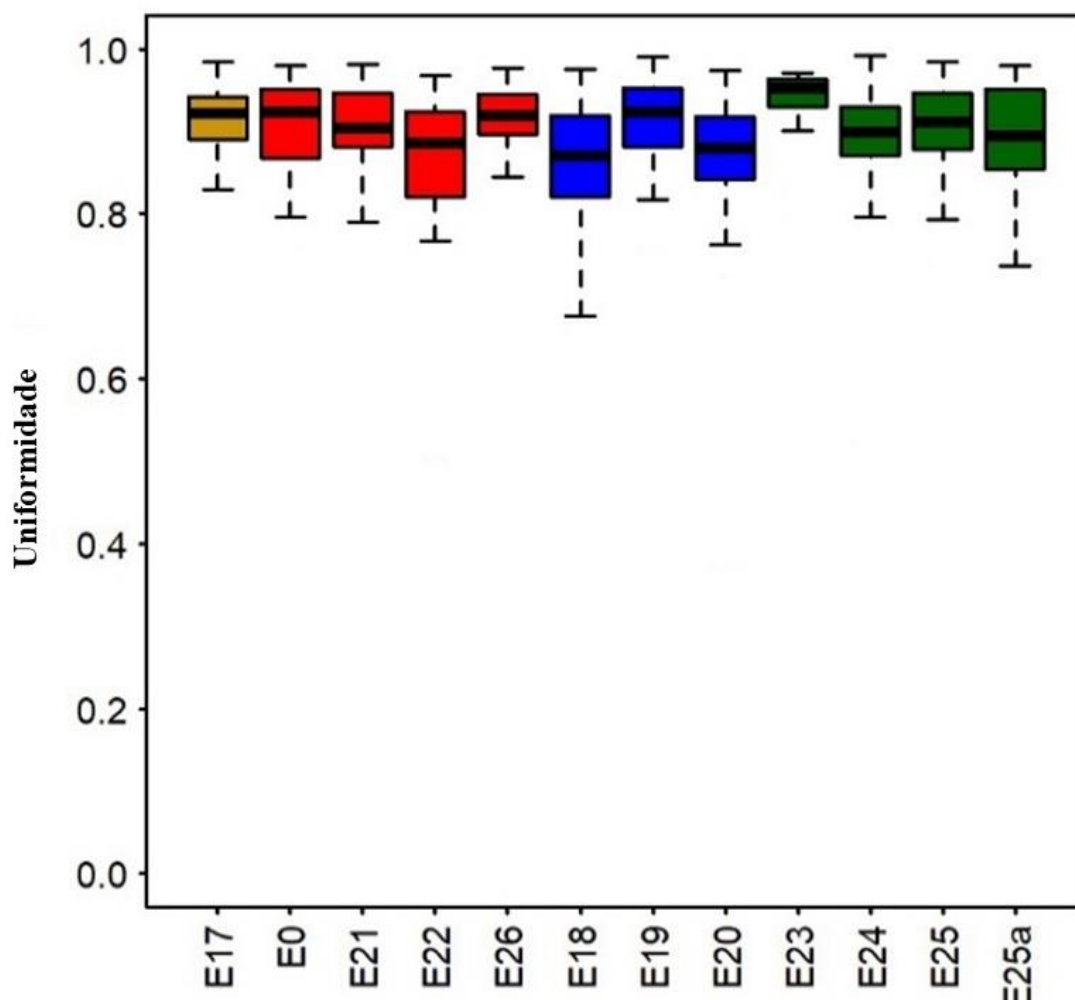
Figura 8: Riqueza espacial das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática para o mês de agosto de 2022 – primeira campanha amostral do novo ciclo PMBA/Fest.



Nos dados obtidos na primeira campanha de execução da nova malha amostral, foi verificado que, em relação à riqueza, onde a média foi 10 espécies, os maiores valores registrados foram para E0a com 12 espécies, seguida por E0 com 11, e E21 e E24 com 10 espécies, sendo três destas estações localizadas na calha do rio Doce. Os menores valores para a riqueza foram verificados em E26F, E27 e E28, com apenas uma espécie. A estação 26F fica localizada exatamente da foz do rio Doce, onde somente uma espécie consegue sobreviver, *Talipariti pernambucensis*, ocupando toda a margem sul da foz. Já em E27 e E28, a estação amostral está localizada em uma área onde ocorre somente *Eleocharis geniculata*.

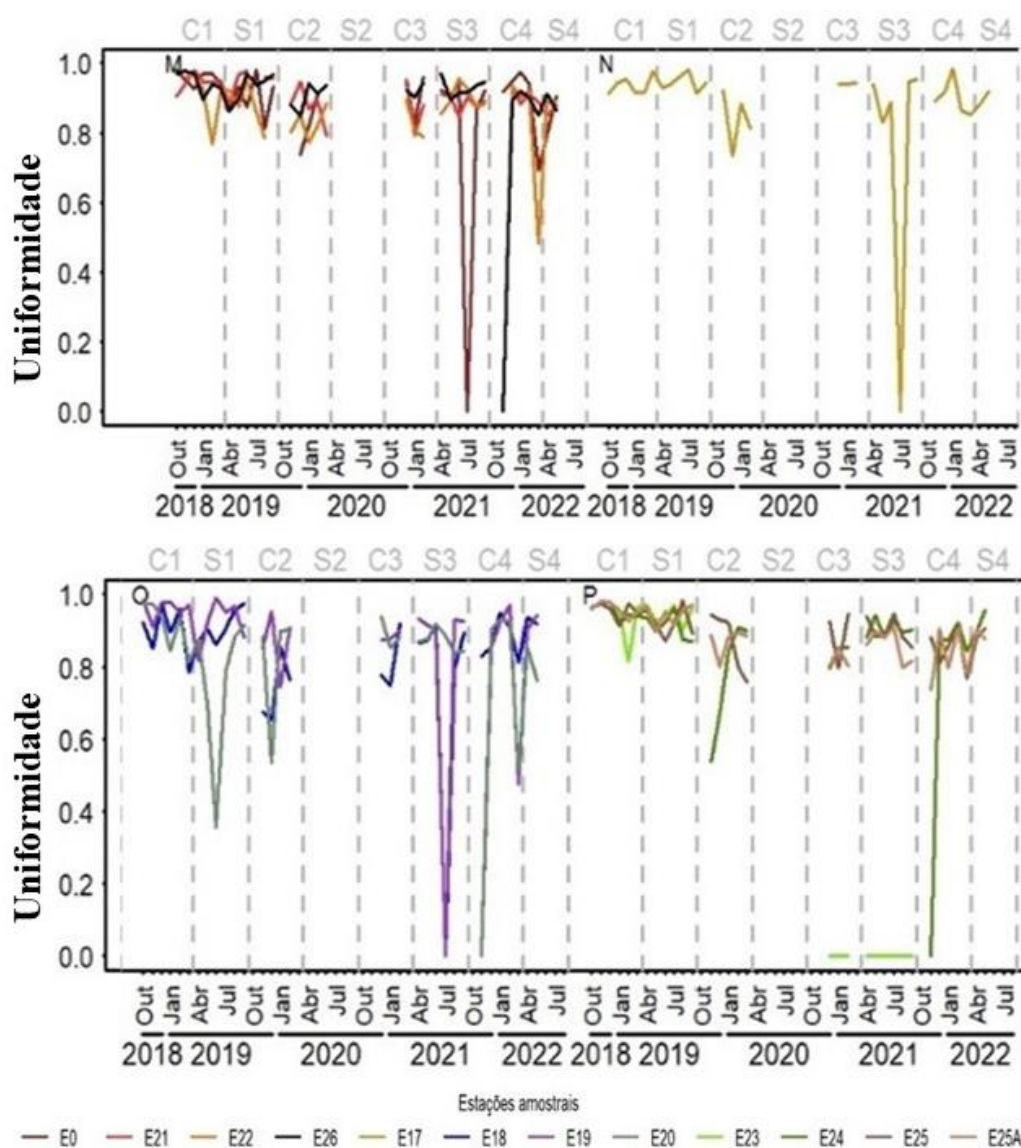
### 3.3 UNIFORMIDADE

Figura 9: Uniformidade das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática.



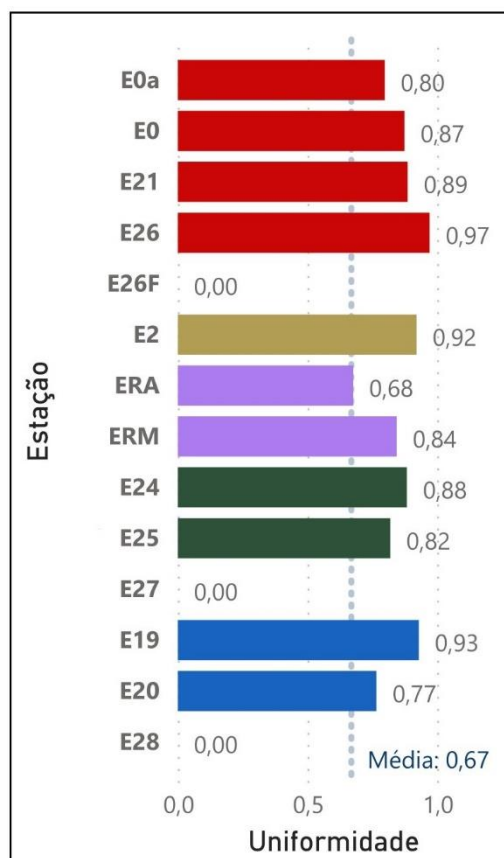
A figura mostra os valores de uniformidade para as estações amostrais e respectivos ambientes analisados. De maneira geral, as 12 estações amostrais possuem uniformidade similar, todas variando entre 0.8 a 1.0, estando todas próximas a uniformidade máxima. Os ambientes lóticos, E17 (rio Guandu), E0 (rio Doce – Itapina) e E26 (rio Doce – Porto de Regência) possuem a mesma mediana, entretanto, a variação do 1º ao 3º quartil é maior em E0 e menor em E26. A estação E22 apresenta a menor mediana de uniformidade, mas possui também a maior amplitude de variação, sendo a estação menos uniforme dentre as localizadas na calha do rio Doce. A menor variação é verificada em E26. Para os ambientes lóticos, no Lagos, a maior mediana encontrada foi para E19, enquanto a menor foi para E18, por outro lado, a maior variação entre o 1º e o 3º quartil foi em E18, enquanto E19 e E20 apresentaram a mesma variação. Por fim, para as Lagoas, E23 continua sendo um fato bastante curioso, pois é a estação com a maior mediana e menor variação entre os quartis dentre todas as 12 monitoradas; já as demais estações de Lagoas (E24, E25 e E25a) possuem praticamente os mesmos valores de medianas, no entanto, em E25a é observada a maior variação entre o 1º e o 3º quartil.

Figura 10: Uniformidade espaço-temporal das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática por ambiente. M. Rio Doce; N. Rio Guandu; O. Lagos; P. Lagoas.



Os valores de uniformidade na série temporal permanecem com a mesma tendência em relação ao RSE2022, onde para as estações da calha do rio Doce a uniformidade de E26 está começando a diminuir, enquanto nas demais estações (E0, E21 e E22) aumentando. O mesmo padrão foi observado no 3º período seco. Já no rio Guandu, a uniformidade está aumentando desde o final do 4º período chuvoso e início do 4º período seco, seguindo a tendência apresentada no RSE2022. Para os Lagos, os valores de uniformidade de E18 e E20 continuam caindo, enquanto os de E19 estão aumentando ao longo do tempo. Por fim, para as Lagoas os valores de uniformidade estão diminuindo apenas para E25a, uma vez que estão aumentando para E24 e E25.

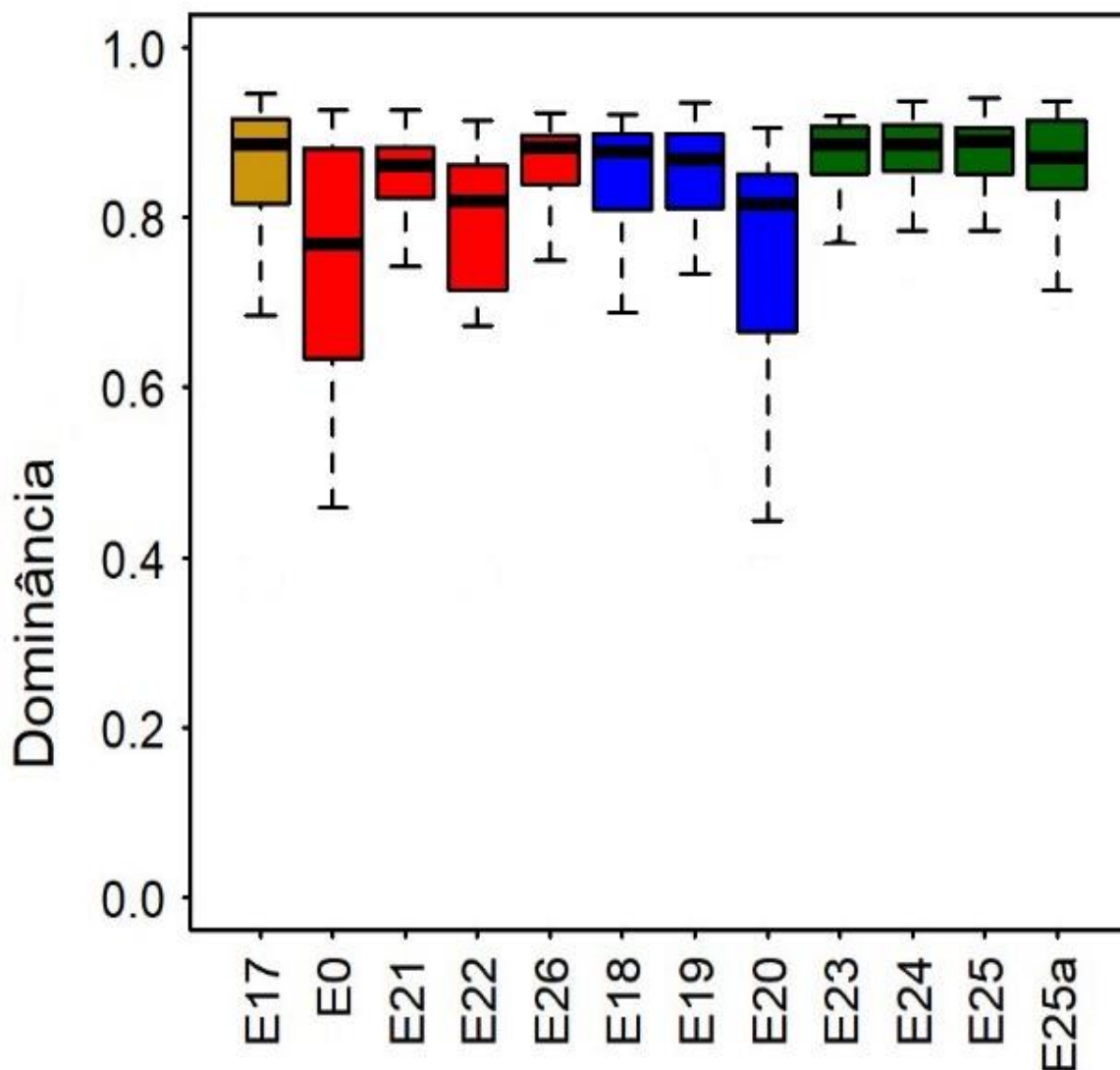
Figura 11: Uniformidade espacial das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática para o mês de agosto de 2022 – primeira campanha amostral do novo ciclo PMBA/Fest.



Nos dados obtidos na primeira campanha de execução da nova malha amostral, foi verificado que, em relação a uniformidade (equitabilidade), que apresentou média de 0,67, as estações E26 (0,971), E19 (0,9294) e E2 (0,9207) foram as mais uniformes em relação a sua composição, enquanto as estações menos uniformes foram, novamente, E26F, E27 e E28.

### 3.4 DOMINÂNCIA

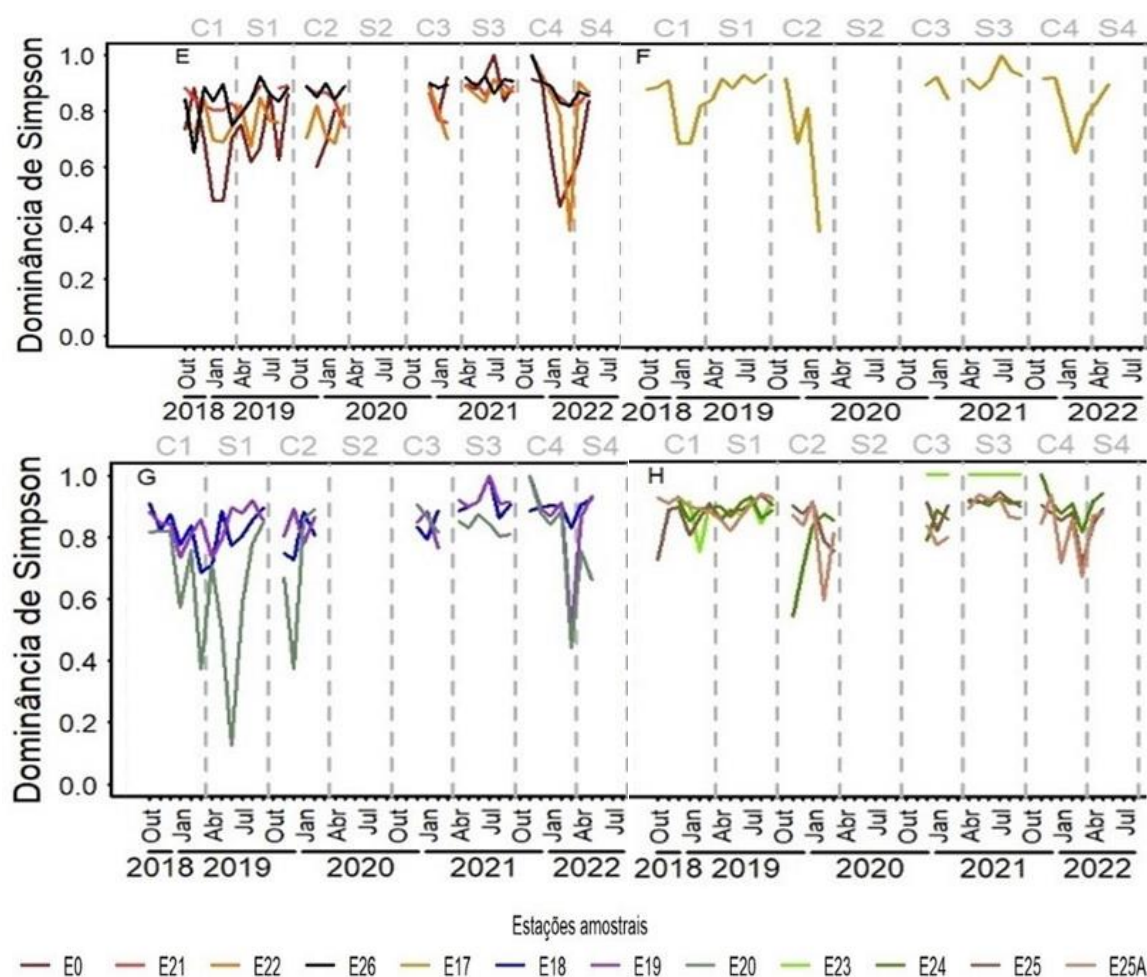
Figura 12: Dominância das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática.



A figura evidencia os valores de dominância verificados em cada estação amostral e os respectivos ambientes analisados. Para os ambientes lóticos, apesar da diversidade apresentada, o rio Guandu (E17) possui os maiores índices de dominância dentre as estações de ambiente lótico. Para o rio Doce, E0 apesar de possuir o menor valor de mediana, apresenta a maior variação entre o 1º e 3º quartil, por outro lado, E26 possui o maior valor de mediana verificado para as estações da calha do rio Doce e a menor variação entre os quartis. Em relação aos Lagos, E20 possui comportamento semelhante ao verificado em E0, sendo o menor valor de mediana, no entanto, a maior variação entre os quartis. Já E19 e E20, possuem mediana e variação entre o 1º e 3º quartil bastante semelhante. Por fim, basicamente todas as Lagoas apresentam o mesmo comportamento em relação à dominância, onde a mediana e variação entre os quartis é quase a mesma em E23, E24 e E25, onde E25a possui uma mediana um pouco menor e uma variação entre o 1º e 3º quartil maior.



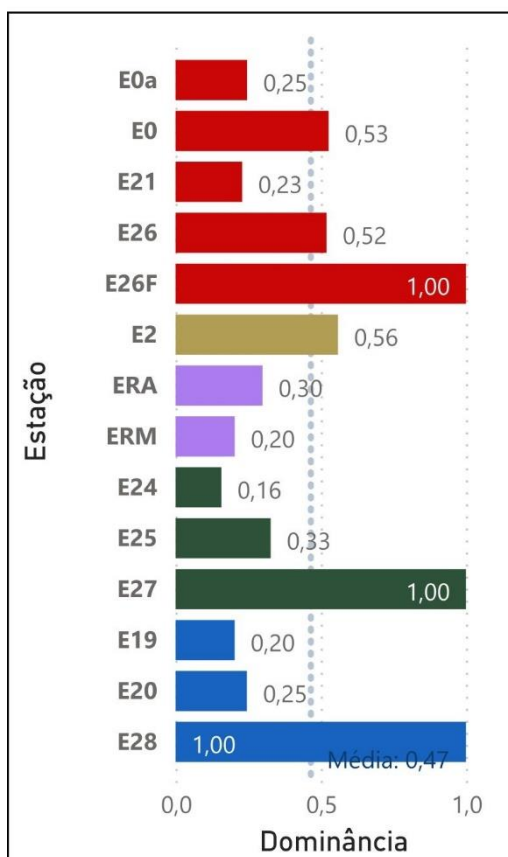
Figura 13: Dominância espaço-temporal das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática por ambiente. E. Rio Doce; F. Rio Guandu; G. Lagos; H. Lagoas.



Dando continuidade ao aspecto temporal, os valores de dominância continuam caindo em E22 e E26 e aumentando expressivamente principalmente em E0, além de E21. Para o rio Guandu, os valores ainda continuam aumentando em relação ao tempo. Nos Lagos, a dominância está em decaimento apenas em E20, enquanto em E18 e E19 está aumentando temporalmente desde o início do quarto período seco. Por fim, para as Lagoas, os valores da dominância estão aumentando em todas as estações desde o final do quarto período chuvoso e início do quarto período seco.



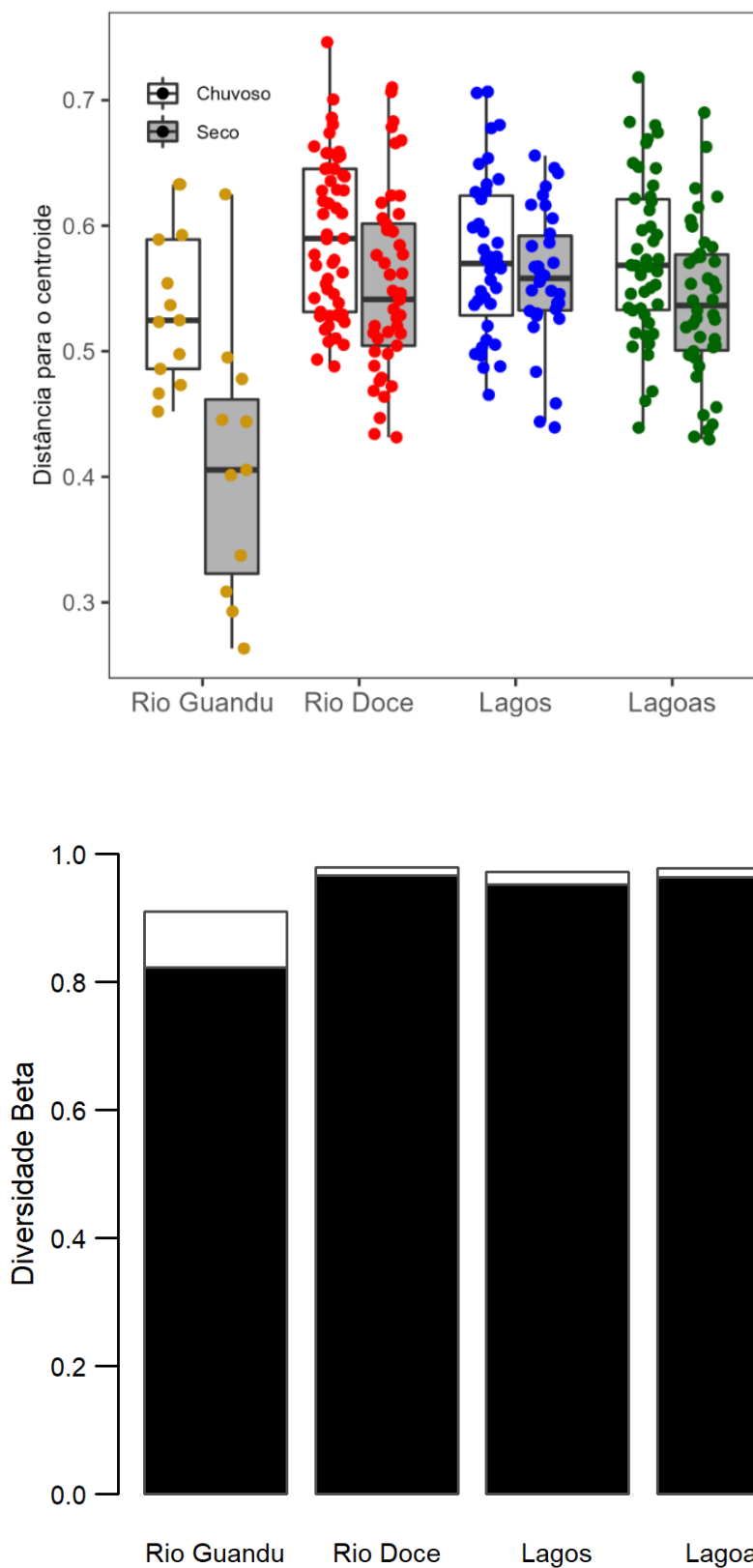
Figura 14: Dominância espacial das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática para o mês de agosto de 2022 – primeira campanha amostral do novo ciclo PMBA/Fest.



Os dados obtidos na primeira campanha de execução da nova malha amostral, foi verificado que, em relação ao indicador dominância, que varia de 0 a 1 e apresentou média de 0,47, verificou-se que as estações com os maiores índices foram E26F, E27 e E28, justamente por possuírem somente uma espécie e estas serem dominantes na estação. Por outro lado, os menores valores foram registrados em E24 (0,1576), E19 (0,2036) e ERM (0,2038).

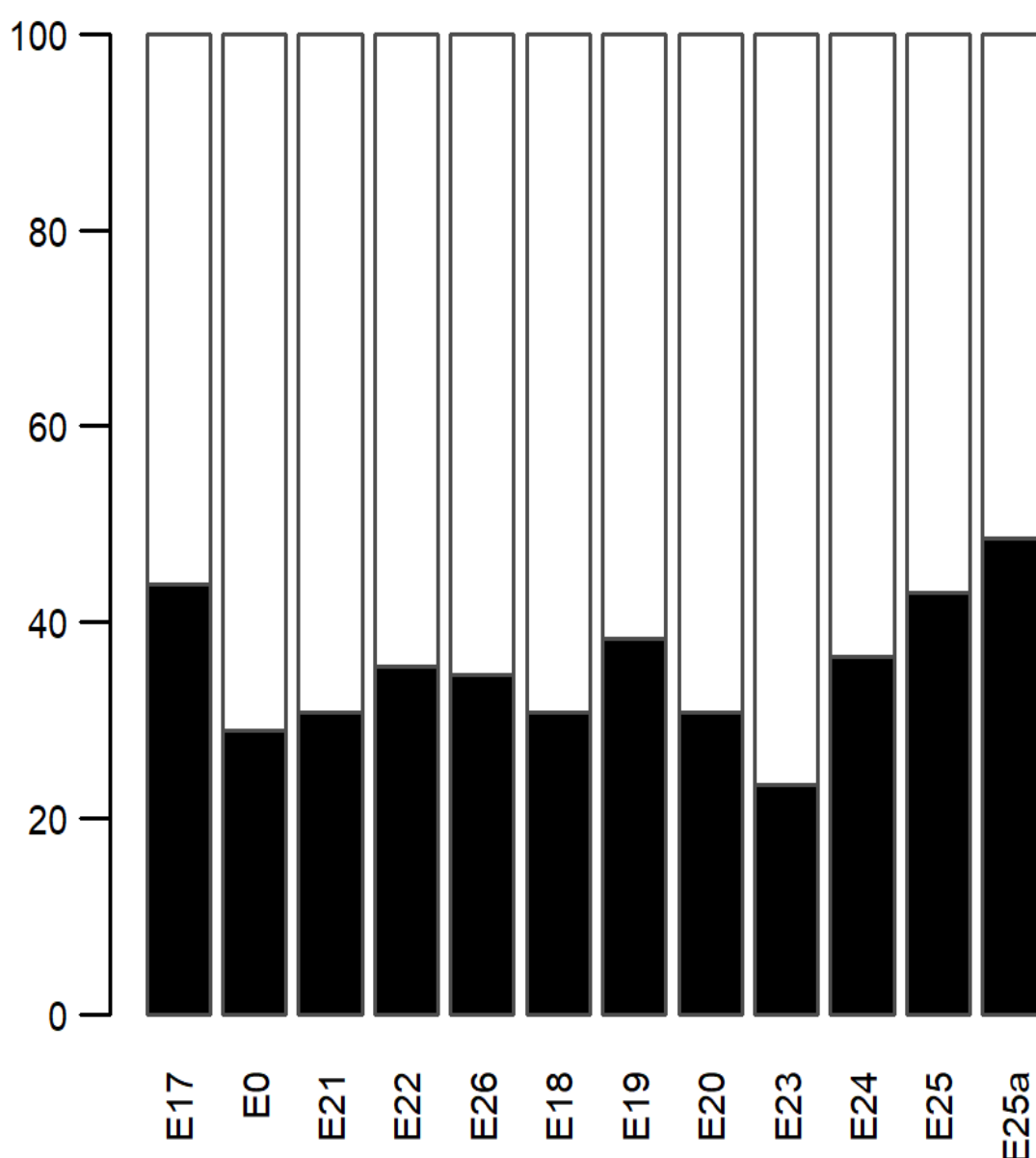
### 3.5 DIVERSIDADE

Figura 15: Diversidade por ambiente e período sazonal.



Os resultados da diversidade  $\beta$  regional continuam mostrando que a variação da comunidade de macrófitas aquáticas ocorre devido a uma maior troca de espécies em detrimento do aninhamento de espécies, onde os maiores valores das trocas de espécies (Turnover) são para o rio Doce, Lagos e Lagoas, de forma contrária, o rio Guandu apresentou os maiores valores de aninhamento de espécies (Nestedness). As análises da diversidade beta em relação à sazonalidade também permaneceram com as mesmas tendências, onde o rio Guandu apresentou os maiores índices de heterogeneidade sazonal, seguido pelo rio Doce, entretanto, para este rio, a heterogeneidade não foi tão acentuada. Em contrapartida, os Lagos apresentaram a menor heterogeneidade sazonal.

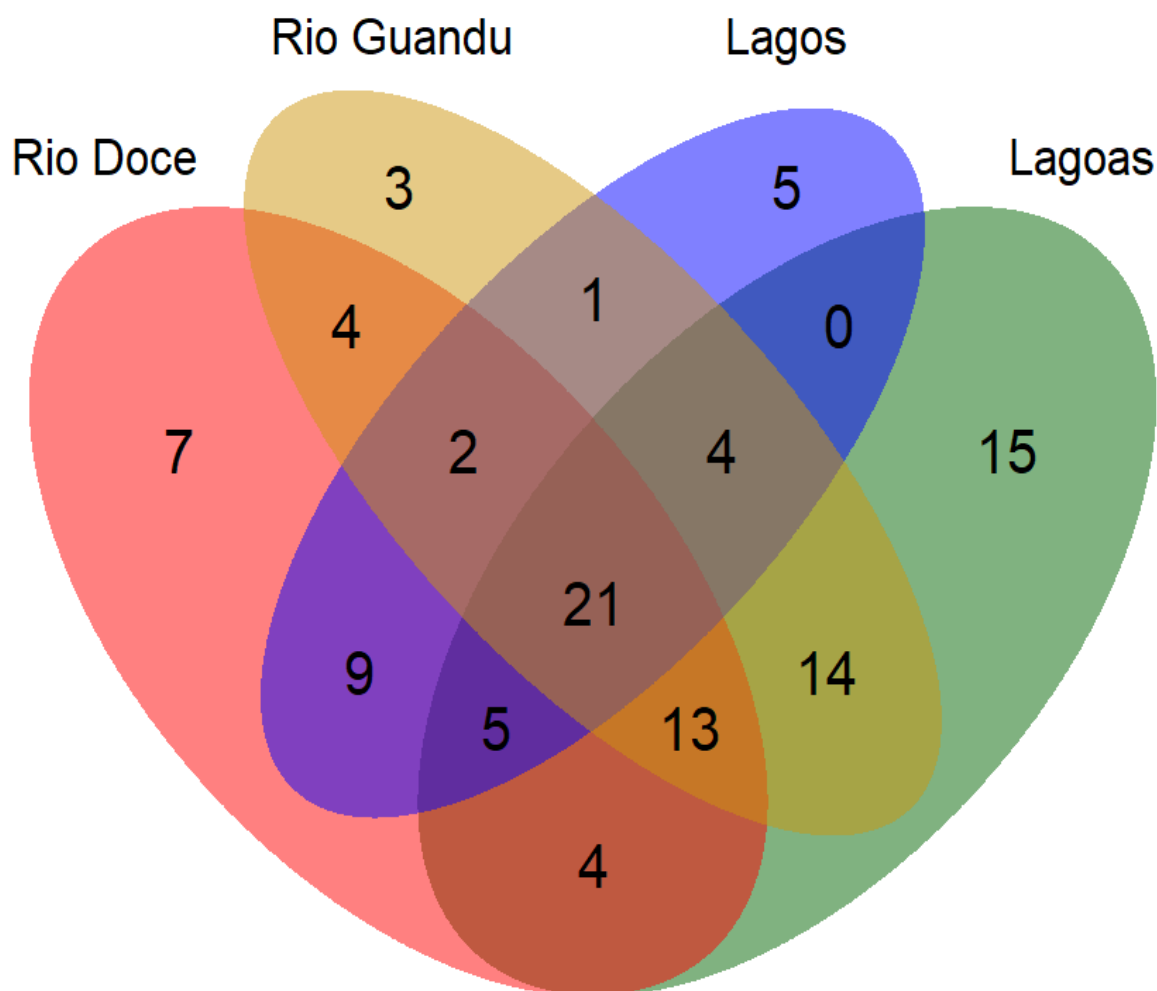
Figura 16: Diversidade por estação amostral.



Os resultados da diversidade  $\beta$  regional por estação amostral mostraram que sua variação ocorre principalmente pela maior troca de espécies em detrimento do aninhamento de espécies, sendo os

maiores valores de Turnover (troca de espécies) para E17, E25a e E25, e os menores para E23, E0, E21 e E18. Consequentemente, estas últimas estações citadas apresentam os maiores valores de Nestedness (aninhamento).

Figura 17: Diagrama de Veen – Compartilhamento e exclusividade das espécies por ambiente.



Dentre as análises de diversidade, o Diagrama de Veen é importante por expor a quantidade de espécies exclusivas e compartilhadas por cada ambiente e as respectivas combinações. Em relação aos ambientes lóticos, 14 espécies são exclusivas, sendo quatro compartilhadas, três exclusivas do rio Guandu e sete exclusivas do rio Doce. Para os ambientes lênticos, 20 espécies são exclusivas, sendo cinco dos Lagos e 15 das Lagoas, e nenhuma espécie é compartilhada. Os quatro ambientes compartilham 21 espécies. Focando nos compartilhamentos do rio Doce, além das quatro espécies compartilhadas com o rio Guandu, nove espécies são compartilhadas com os Lagos e quatro com as Lagoas.

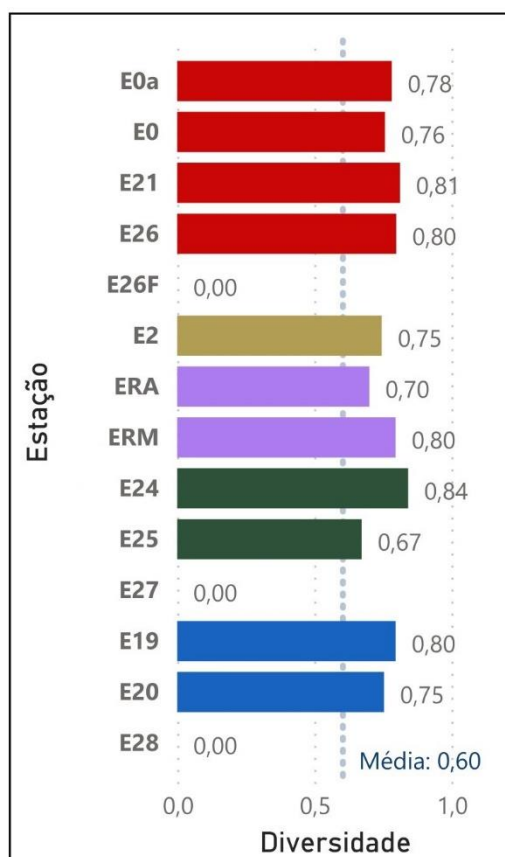
Tabela 1: Partição da variância da comunidade de Macrófitas Aquáticas em relação ao Ambiente, Metais e Espaço por período sazonal.

	Chuvoso		Seco	
	R <sup>2</sup> (%)	<i>p</i> -valor	R <sup>2</sup> (%)	<i>p</i> -valor
<b>Ambiente [A]</b>	3.75	0.001	6.27	0.001
<b>Metais [M]</b>	4.63	0.001	4.38	0.001
<b>Espaço [E]</b>	3.90	0.001	3.72	0.001
<b>[A]x[M]</b>	5.48	NA	4.38	NA
<b>[A]x[E]</b>	0.47	NA	1.15	NA
<b>[M]x[E]</b>	0.05	NA	-0.02	NA
<b>[A]x[M]x[E]</b>	0.81	NA	0.84	NA
<b>Resíduos</b>	80.91	NA	79.28	NA

A análise de partição da variância levando em conta a abundância e riqueza da comunidade de macrófitas em relação aos condicionantes ambientais, segue o mesmo padrão apresentado anteriormente, onde as correlações entre ambiente, metais e espaço com a comunidade de macrófitas foram significativas estatisticamente tanto no período chuvoso quanto no período seco. No período chuvoso se destaca a correlação com os metais, enquanto que no período seco se destaca a correlação com o ambiente. Ambiente: profundidade, temperatura, turbidez, transparência, material particulado em suspensão, salinidade, sólidos totais dissolvidos, condutividade, pH, alcalinidade total, potencial de oxirredução da água, oxigênio dissolvido, clorofila a, fósforo total, fosfato, nitrogênio total, nitrito, nitrato, amônio, sulfatos e carbono orgânico total. Metais: alumínio, arsênio, bário, cádmio, cromo, cobre, ferro, manganês, chumbo e vanádio. Espaço: conectividade dos fluxos d'água, ou seja, das respectivas estações amostrais.

A riqueza, composição e diversidade das Macrófitas Aquáticas são diretamente influenciadas pelas condições ambientais onde estão inseridas, sendo os principais condicionantes as flutuações hidrológicas (Maltchik et al. 2005; Van Geest et al. 2005), as condições hidroquímicas da água e do sedimento (Richardson et al. 1999, Heegaard et al. 2001), bem como a luminosidade (Lacoul & Freedman 2006) e nutrientes orgânicos, assim, a comunidade de macrófitas aquáticas do baixo rio Doce fornece indicativos populacionais de possíveis alterações na qualidade do ambiente em resposta a pelo menos três dessas condições: nutrientes orgânicos, hidroquímicas e flutuações hidrológicas.

Figura 18: Diversidade espacial das estações amostrais monitoradas pelo tema Macrófitas Aquáticas no ambiente dulcícola do PMBA/Fest – Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática para o mês de agosto de 2022 – primeira campanha do novo ciclo PMBA/Fest.



Nos dados obtidos na primeira campanha de execução da nova malha amostral, foi verificado que, em relação a diversidade, onde os valores variaram de 0 a 1 e a média foi de 0,60, as estações com maiores valores de diversidade foram E24 (0,84224), E21 (0,8124) e E26 (0,7989), ERM (0,7962) e E19 (0,7964), enquanto os menores valores foram em E26F (0), E27 (0) e E28 (0), justamente por apresentarem somente uma espécie.

#### 4 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

Todas as metas previstas para o Tema Macrófitas Aquáticas - ambiente dulcícola foram cumpridas.

#### 5 REFERÊNCIAS

APG IV - Angiosperm Phylogeny Group. **An update of the Angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV.** Botanical Journal of the Linnean Society, v. 181, n.1, p. 1-20, 2016.

BRIDSON, D.; FORMAN, L. **The herbarium handbook**. Royal Botanical Garden, Lubrecht & Cramer, Richmond, p. 348, 1998.

CNCFlora. **Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora**. Disponível em <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/listavermelha>. Acesso em 6 novembro 2022.

FONSECA, D.C.; OLIVEIRA, M.L.R.; PEREIRA, I.M.; CABRAL, M.C.; MOURA, C.C.; MACHADO, E.L.M. **Phenological strategies of dioecious species in response to the environmental variations of rupestrian grasslands**. Cerne vol. 23(4): 517-527 pag. 2017.

FRAGA, C.N.; FORMIGONI, M.H.; CHAVES, F.G. **Fauna e flora ameaçadas de extinção no estado do Espírito Santo**. Instituto Nacional da Mata Atlântica, Santa Teresa. 432p., 2019.

HAMMER, Ø; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: **Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. Palaeontologia Electronica, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

HEEGARD, E.; BIRKS, H.H.; GIBSON, C.E.; SMITH, S.J.; WOLFEMURHY, S. **Species-environmental relationships of aquatic macrophytes in Northern Ireland**. Aquat. Bot., v. 70, n. 3, p. 175-223, 2001.

HOWARD-WILLIAMS, C. **Seasonal and spatial changes in the composition of the aquatic and semiaquatic vegetation of lake Chilwa, Malawi**. Vegetation vol. 30(1), 33-39 pag. 1975.

IRGANG, B.E.; PEDRALLI, G.; WAECHTER, J.L. **Macrófitas aquáticas da estação ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil**. Roessleria, v. 6, n. 1, p. 395-405, 1984.

KOVACH, W.L. Oriana for Windows, version 2.0. Kovach Computer Services, Pentraeth. 2004.

LACOU, P.; FREEMAN, B. **Environmental influences on aquatic plants in freshwater ecosystems**. Environ. Rev., v. 14, n. 2, p. 89-136, 2006.

MALTCHIK, L.; OLIVEIRA, G.R.; ROLON, A.S.; STENERT, C. **Diversity and stability of aquatic macrophyte community in three shallow lakes associated to a floodplain system in the South of Brazil**. Interciencia, v. 30, n. 3, p. 166-170, 2005.

MORELLATO, P.C.; LEITÃO-FILHO, H.F. **Reproductive phenology of climbers in a Southeastern Brazilian Forest**. Biotropica v. 28, 180-191, 1996.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

RICHARDS, P.W. **The tropical rain forest: an ecological study**. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 1952.



RICHARDSON, C.J.; FERRELL, G.M.; VAITHIYANATHAN, P. **Nutrient effects on stand structure, resorption efficiency, and secondary compounds in everglades sawgrass.** Ecology, v. 80, n. 7, p. 2182-2192, 1999.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – **Matriz de Resultados Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho.** RT-39F, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 68 pag. 2022.

SMITH, A.R.; PRYER, K.M.; SCHUETTPELZ, E.; KORALL, P.; SCHNEIDER, H.; WOLF, P.G. **A classification for extant ferns.** Taxon, v. 55, n. 3, p. 705-731, 2006.

TANNUS, J.L.S; ASSIS, M.A.; MORELLATO, L.P.C. **Fenologia reprodutiva em campo sujo e campo úmido numa área de cerrado no sudoeste do Brasil, Itirapina –SP.** Biota Neotropica, v.6, n.3, 2006.

THIERS, B. Index Herbariorum: **A global directory of public herbaria and associated staff.** New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Disponível em: <<http://sweetgum.nybg.org/science/ih/>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

VAN GEEST, G.J.; WOLTERS, H.; ROOSEN, F.C.J.M.; COOPS, H.; ROIJACKERS, R.M.M.; BUIJSE, A.D.; SCHEFFER, M. **Water-level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes.** Hydrobiologia, v. 539, n. 1, p. 239-248, 2005.

WETZEL, R.G. & LINKENS, G.E. **Limnological analysis**, 3ed. New York. Springer Verlag. Pag. 429. 2000.