

**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: Restinga**

**RT- 44/ NOV 23**

**RSE2023 PMBA/FEST**

Vitória,

Novembro de 2023

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>RESULTADOS DOS INDICADORES .....</b>	<b>3</b>
2.1	VITALIDADE DA VEGETAÇÃO .....	4
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>15</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 continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

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

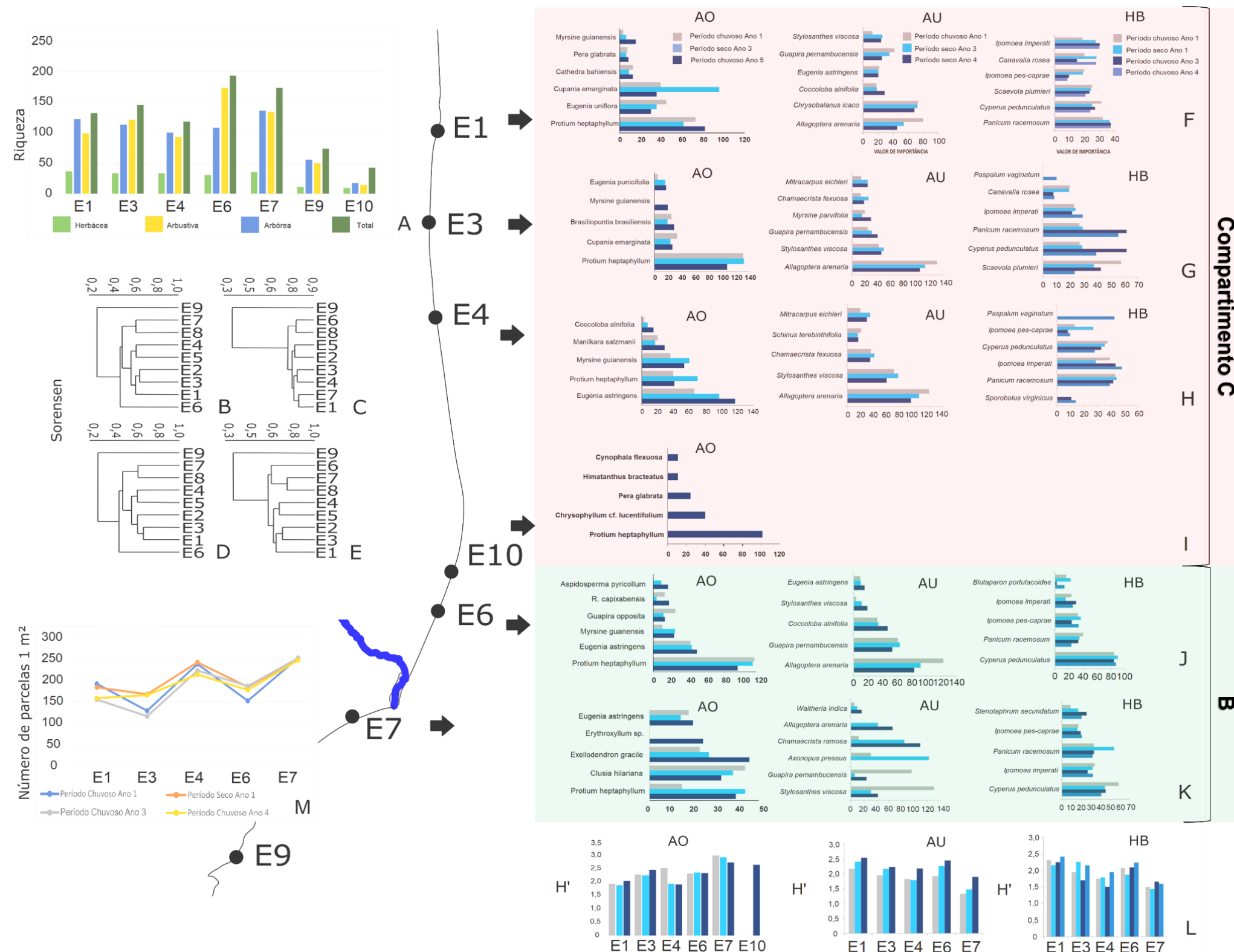
## 2 RESULTADOS DOS INDICADORES

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

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

## 2.1 VITALIDADE DA VEGETAÇÃO

Figura 1: Resultados espaço-temporais dos parâmetros florístico-fitosociológicos avaliados em cada formação vegetal (HB = Herbácea; AU = Arbustiva; AO = Arbórea) das restingas monitoradas no PMBA/Fest entre períodos Chuvoso Ano 1 (2018) a Chuvoso Ano 5 (2023). Riqueza florística das formações vegetais entre as estações amostrais (A); Similaridade florística entre estações amostrais (B), para a formação herbácea (C), formação arbustiva (D) e formação arbórea (E); Valor de importância das principais espécies amostradas das formações vegetais entre estações amostrais dos compartimentos da região costeira do Espírito Santo (F a K). Retângulo em Vermelho: Compartimento C; Retângulo em Verde: Compartimento B. Diversidade de Shannon das formações vegetais entre estações amostrais (L); Variação espaço-temporal do número de parcelas na formação herbácea entre estações amostrais monitoradas (M).



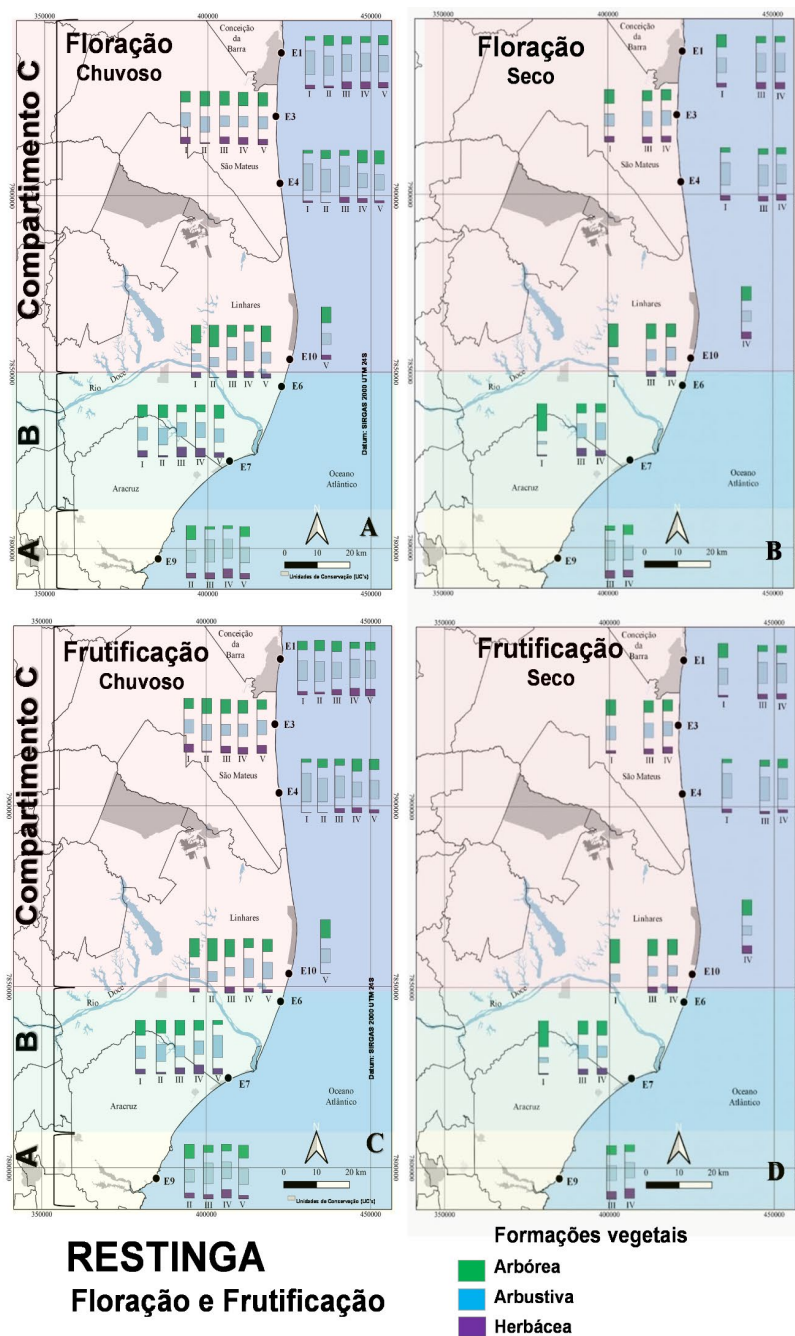
Os maiores valores de riqueza estão concentrados no Compartimento B, seguidos pelo Compartimento C e A (Figura 1A). A compartimentação do litoral segue os resultados obtidos no dendrograma de **riqueza florística** entre as estações (Figura 1B), refletido principalmente pela formação arbórea de restinga (Figura 1D). A singularidade do Compartimento A e C são refletidos principalmente pela **exclusividade de espécies** na formação arbustiva de restinga (Figura 1E) ou ausência de espécies na formação herbácea de restinga (Figura 1C).

Na comunidade herbácea do Compartimento B, os dados obtidos no Ano 4, indicaram tendência de redução dos **valores de importância** de *Panicum racemosum* e *Blutaparon portulacoides* em relação ao Ano 1 (Figura 1I-J). Ainda que as comparações não tenham indicado diferenças significativas, fatores ainda não compreendidos estão atuando sobre a comunidade, principalmente sob a perspectiva de melhora não alcançada dentro do Ano 3, quando houve diminuição dos parâmetros meteorológicos. No Compartimento C, também houve redução dos valores de importância de espécies estoloníferas, acrescido de uma espécie subarbustiva ameaçada de extinção (*Scaevola plumieri*), cujo crescimento não alcançou os valores de importância obtidos durante o período chuvoso do Ano 1, mesmo sob condições brevemente satisfatórias. As informações obtidas para a comunidade herbácea indicaram uma melhora pontual (E3) na taxa de cobertura da vegetação sobre as dunas (Figura 1M) dentro do Compartimento C, mas com valores inferiores na APA de Conceição da Barra (E1) e em Barra Nova (E4). Os dados atuais não indicaram desmoronamentos pontuais (*Blowouts*) na duna frontal que permitissem o **alcance das ondas nos trechos mais estabilizados**, outrora documentado neste setor, com consequente desestruturação da duna semifixa onde desenvolve-se *Mitracarpus eichlerii* (uma espécie ameaçada de extinção).

Na comunidade arbustiva, houve tendência de redução do valor de importância em relação ao Ano 1. No Compartimento B, *Guapira pernambucensis* e *Stylosanthes viscosa* apresentaram redução devido a caducifolia esperada para período avaliado (Figura 1I-J). No Compartimento C, a caducifolia também corroborou a redução dos valores de *Allagoptera arenaria*, *Schinus terebinthifolius*, *G. pernambucensis* e *Chrysobalanus icaco* (Figura 1F a H). No entanto, os valores desta última espécie foram influenciados por ações antrópicas (caça de tatu) em E1. Os dados atuais não indicam mudanças significativas na estrutura da comunidade arbustiva. As avaliações na comunidade arbórea do Compartimento B indicaram manutenção do ranking de espécies mais importantes, com destaque para *Exellodendron gracile* na E7. Neste compartimento, alterações estruturais estiveram associadas à dinâmica natural da comunidade, envolvendo queda de árvores (e.g. *Clusia hilariana*) e abertura de clareira, sem associação com o evento. A avaliação da comunidade arbórea no Compartimento C, durante o Ano 5, apresentou piora em E1 e E4, quando comparados com os parâmetros obtidos no Ano 1, associada a ações antrópicas como queimadas e corte seletivo de madeira. (Figura 1F e H). Neste Compartimento, a primeira avaliação desta comunidade na E10 indicou que a estrutura da vegetação acompanha o padrão regional esperado contendo alta dominância e frequência de *Protium heptaphyllum* (Figura 1G). Alternância entre os valores das espécies mais importantes ocorreram dentro do intervalo de confiança

nos dois compartimentos avaliados (Figura 1F a K). Destaca-se que características como distância da praia e rugosidade das copas (refletida pela diversidade de Shannon – Figura 1L) influenciam na **captura de contaminantes veiculados pelo aerossol marinho** e, neste caso, mudanças no metabolismo são esperados.

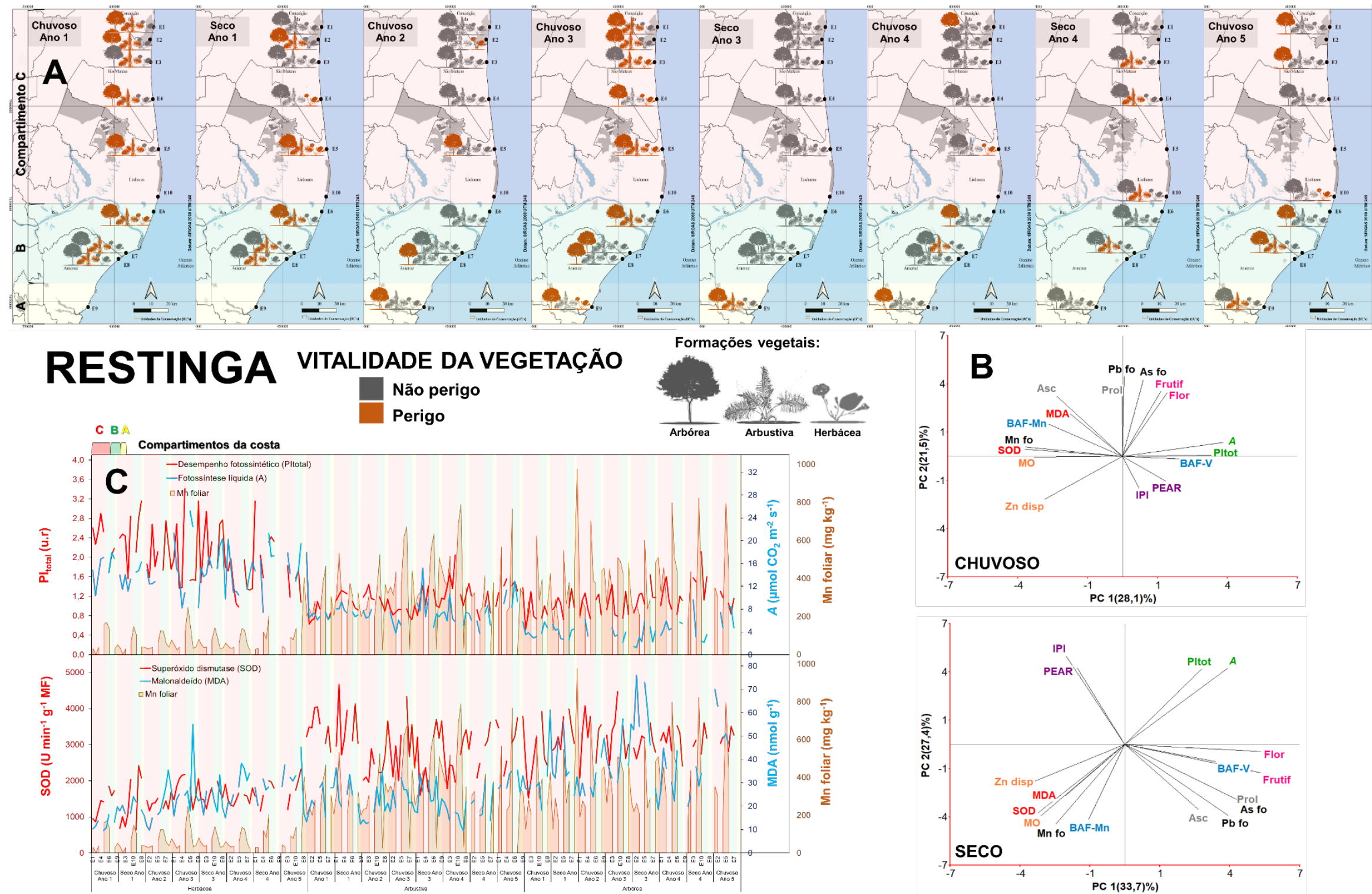
Figura 2: Amplitude fenológica das espécies chave avaliadas em cada formação vegetal encontrada nas estações amostrais durante os períodos chuvosos nos Anos I (2018/2019), II (2020), III (2021), IV (2022) e V (2022/2023) da vegetação de restinga monitorada no âmbito do PMBA/Fest.





No compartimento A, a intensidade de floração capturada durante o Período chuvoso do Ano 5 foi acompanhada pela mesma intensidade de produção de frutos, indicando que os **eventos de polinização abióticos e bióticos** ocorreram naturalmente neste setor (Figura 2A e C). Neste período, as taxas de floração e frutificação nas três comunidades avaliadas voltaram a se aproximar do limite de confiança encontrado ao longo da avaliação, com valores muito próximos aos obtidos durante o Ano 2. Este resultado é coerente com as altas taxas de pluviosidade capturadas dentro do período analisado. Entretanto, é importante ressaltar que este setor não foi avaliado durante o Ano 1, devido a sua adição posterior à malha amostral. No compartimento B, os resultados indicaram diminuição das taxas de floração e frutificação na comunidade herbácea, concentrados em E7 (Figura 2A e C). Altas taxas de produção de flores e frutos ficaram concentradas na comunidade arbustiva, bem superiores aos relacionados no Ano 1. Em relação à comunidade arbórea, houve melhora na capacidade de floração em relação ao Ano II e IV, com valores dentro dos limites obtidos para o Ano I. No entanto, as taxas de frutificação (Figura 2B e D) foram muito menores em E7, indicando tendência de diminuição neste setor. O compartimento B é caracterizado por oscilações de intensidade fenológica. No Compartimento C, a tendência de alterações na **sincronia reprodutiva** continua concentrada na comunidade herbácea (Figura 2A e B). Os dados atuais continuam indicando melhora sobre a intensidade frutificação e disponibilidade de flores, destoando dos resultados dos períodos chuvosos dos anos anteriores. Uma perspectiva envolvendo contaminantes oriundos do aerossol (“**Spray**”) marinho foi proposta anteriormente. A exposição das plantas ao aerossol marinho pode favorecer a adesão dos elementos na superfície das folhas, possibilitando a penetração no mesófilo foliar através de fissuras cuticulares e dos estômatos, bem como, via absorção radicular. Como a alta toxicidade de elementos pode causar estresse oxidativo, efeitos sobre o **sucesso reprodutivo** podem ser esperados.

Figura 3: Alerta de Perigo Biológico para plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas das restingas monitoradas pelo PMBA/Fest nos períodos Chuvoso Ano 1 (2018) a Chuvoso Ano 5 (2023) (A). Análise de Componentes Principais (PCA) entre variáveis abióticas e biológicas de resposta da vitalidade (B): Floração (Flor), Frutificação (Frutif), Fotossíntese líquida (A), Índice de desempenho fotossintético ( $PI_{total}$ ), atividade da Superóxido dismutase (SOD), teores de Malonaldeído (MDA), Ascorbato (Asc) e Prolina (Prol), concentração de elementos minerais no sedimento e nas folhas (fo), Fator de bioacumulação (BAF), Índice Integrado de Poluição (IPI) e Porcentagem de elementos acima da referência (PEAR), para períodos CHUVOSOS e SECOS. Variação espaço-temporal de variáveis de Produtividade primária e Estresse oxidativo em resposta à concentração de manganês (C).





O mapeamento da **Vitalidade da vegetação da Restinga** por meio da análise integrada do **Alerta de Perigo Biológico** mostra sazonalidade ao longo do monitoramento (Figura 3A), integrando quatro categorias biológicas de resposta: Produtividade primária, Metabolismo primário, Estresse oxidativo e Reprodução, para identificar as potenciais respostas espaço-temporais aos elementos químicos.

Com a adição do período Chuvoso do Ano 5 às análises do monitoramento, o período chuvoso perdura como de maiores impactos à flora, no qual foram identificados os maiores Alertas. No entanto, os Anos 1 e 3 persistem como de crítico destaque, caracterizados pela menor vitalidade da vegetação ao longo dos cinco anos de monitoramento das restingas. É notório, com a evolução do monitoramento, uma maior distribuição dos maiores impactos nesses dois compartimentos. Esta distribuição corrobora as alterações relacionadas a aspectos funcionais e reprodutivos da vegetação.

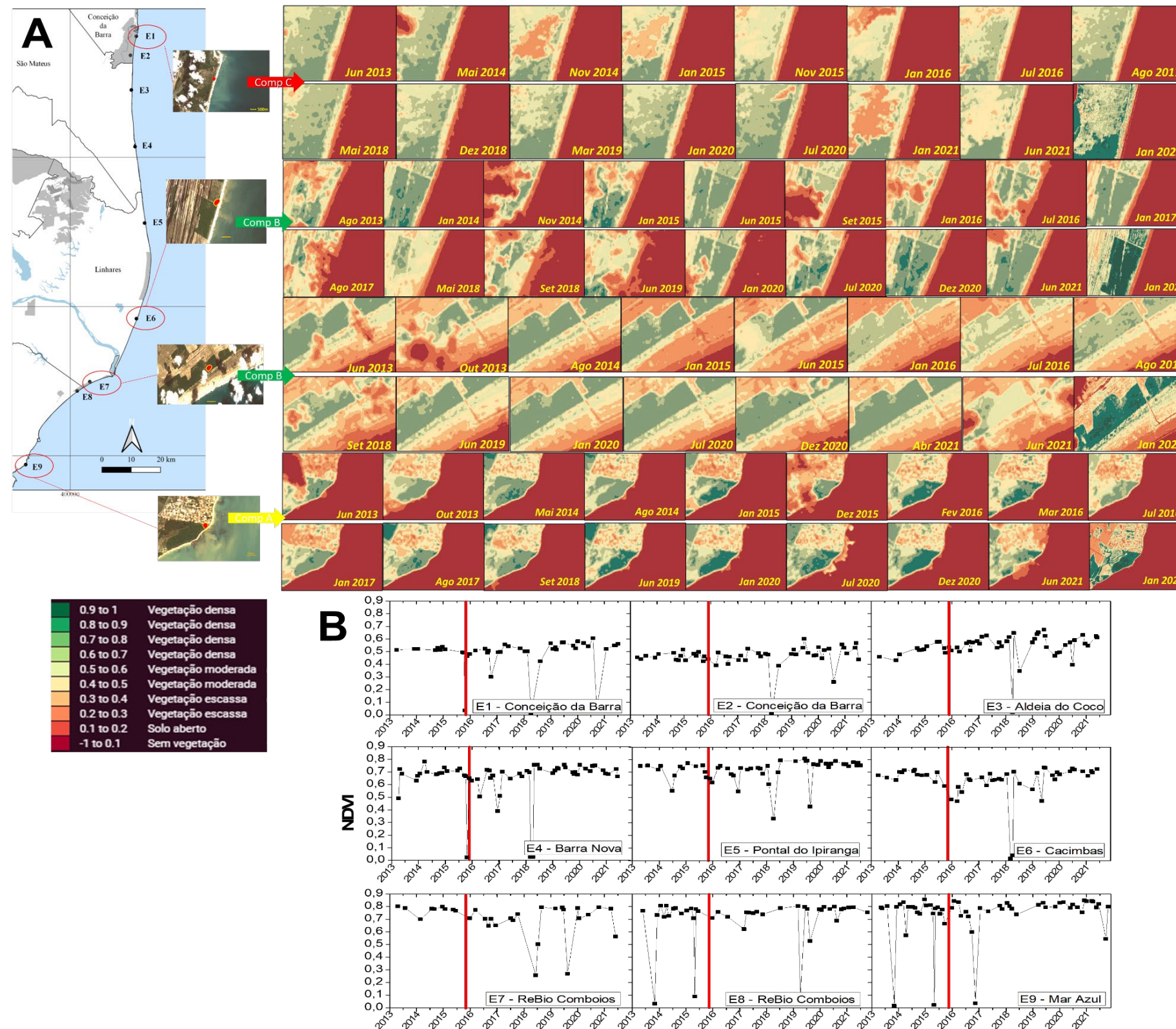
Semelhante ao observado nos períodos secos, a adição do período Chuvoso do Ano 5 caracterizou uma piora da vitalidade, em relação aos períodos chuvosos anteriores, expressivamente nas estações dos Compartimentos C e B, entre a APA Conceição da Barra (E1) e Aldeia dos Cocos (E3) e também em Cacimbas (E6) e na REBio Comboios (E7). Especial destaque é dado à nova estação amostral em Degredo (E10), Compartimento C, agora com menor vitalidade para herbáceas e arbustivas, condizente com o já obtido para a estação mais próxima, Cacimbas (E6), com características transicionais entre os compartimentos, cujos resultados indicam condições desfavoráveis para seu perfil fotossintético e metabólico. Mesmo distantes da linha da costa, fatores edafoclimáticos, o aporte proveniente do Rio Doce e a remobilização marinha, prejudicaram aspectos funcionais e reprodutivos das duas formações.

A PCA (Figura 3B) indicou que acúmulos de Mn, As, Pb, V e Zn impactaram negativamente as formações com influência persistente sobre as categorias biológicas. A **Produtividade primária** das comunidades indica forte associação de acúmulos de Mn ( $r > -0,58$ ;  $p < 0,001$ ) com a redução de  $PI_{tot}$  e A ( $PI_{tot}$ :  $r = -0,58$  e  $A = -0,62$ ;  $p < 0,001$ ) na vegetação, ao aumento da concentração de Zn no sedimento e Bioacúmulo de Mn. Igualmente, o **Estresse oxidativo** da vegetação relaciona-se com as variações foliares e bioacúmulos de Mn ( $r > 0,70$ ;  $p < 0,01$ ). O **manganês** continua acima da referência em todas as estações amostrais, incluindo Degredo (E10), e o excesso reflete diretamente no impacto às categorias biológicas analisadas, como a Produtividade Primária e o Estresse oxidativo nas plantas (Figura 3C), como estratégias de atenuação de possíveis impactos resultantes da bioacumulação nas plantas. Dentre os metais(lóides) associados ao rejeito, o acúmulo de As, Pb e Mn relacionaram-se ao aumento na produção dos **Metabólitos primários** Prolina e Ascorbato ( $r \approx 0,50$ ;  $p < 0,01$ ), principalmente nas espécies herbáceas analisadas no recente período chuvoso, especificamente para a concentração de prolina. As tendências da **Reprodução** das comunidades mostram sazonalidade que se associou significativamente à acúmulos de As, Pb ( $r > 0,74$ ;  $p < 0,01$ ) e Zn ( $r \approx -0,50$ ;  $p < 0,01$ ).

Em suma, temporalmente, ainda não há tendência de estabilidade nas condições e respostas da vegetação da Restinga, apesar da nítida tendência de melhora do Ano 1 para o Ano 5. Contudo, os resultados confirmam o papel do **As, Mn, Zn e Pb como os de maior recorrência de impacto à Vitalidade das restingas**, impactando as categorias biológicas e confirmando crítica vitalidade das

restingas para os períodos chuvosos. As análises do efeito do extrato solubilizado a partir do sedimento coletado nas estações amostrais E4, E6 e E10 apontou aumentos significativos de alterações cromossômicas em organismos vegetais teste, em relação ao controle. Esse resultado permite inferir o **potencial genotóxico do sedimento** das estações monitoradas, levando a uma possível ação aneugênica, uma vez que tal potencial se relaciona à ocorrência de alterações como perda cromossômica, atraso, c-metáfase e ponte cromossômica. Além dessas análises, estudos buscando identificar o potencial uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal nas áreas costeiras destacam o potencial de colonização e a maior **capacidade da microbiota** associada ao sistema radicular das espécies da formação herbácea como promotora de crescimento. Além disso, as espécies desta formação demonstraram maior capacidade de solubilização de fosfatos e de produção de quitinases, em comparação às arbustivas e arbóreas.

Figura 4: Análise da saúde da vegetação das restingas monitoradas pelo PMBA/Fest em relação a dados pré-rompimento. Evolução espaço-temporal do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) nas estações APA Conceição da Barra (E1), Cacimbias (E6), REBIO Comboios (E7) e Mar Azul (E9) durante os anos de 2013 a 2022 (A). Espectro temporal do NDVI/Landsat 8 da vegetação de restinga ao longo de nove estações amostrais situadas na costa do Espírito Santo, de 2013 a 2022. A linha vermelha corresponde à data de chegada da pluma de rejeitos na costa. Os índices capturados atenderam aos critérios de ângulo de elevação do sol de até 90° e cobertura de nuvem menor ou igual a 10%, nas imagens disponibilizadas a cada 16 dias. Valores iguais ou muito próximos a zero indicam alta quantidade de nuvens na imagem capturada (B).





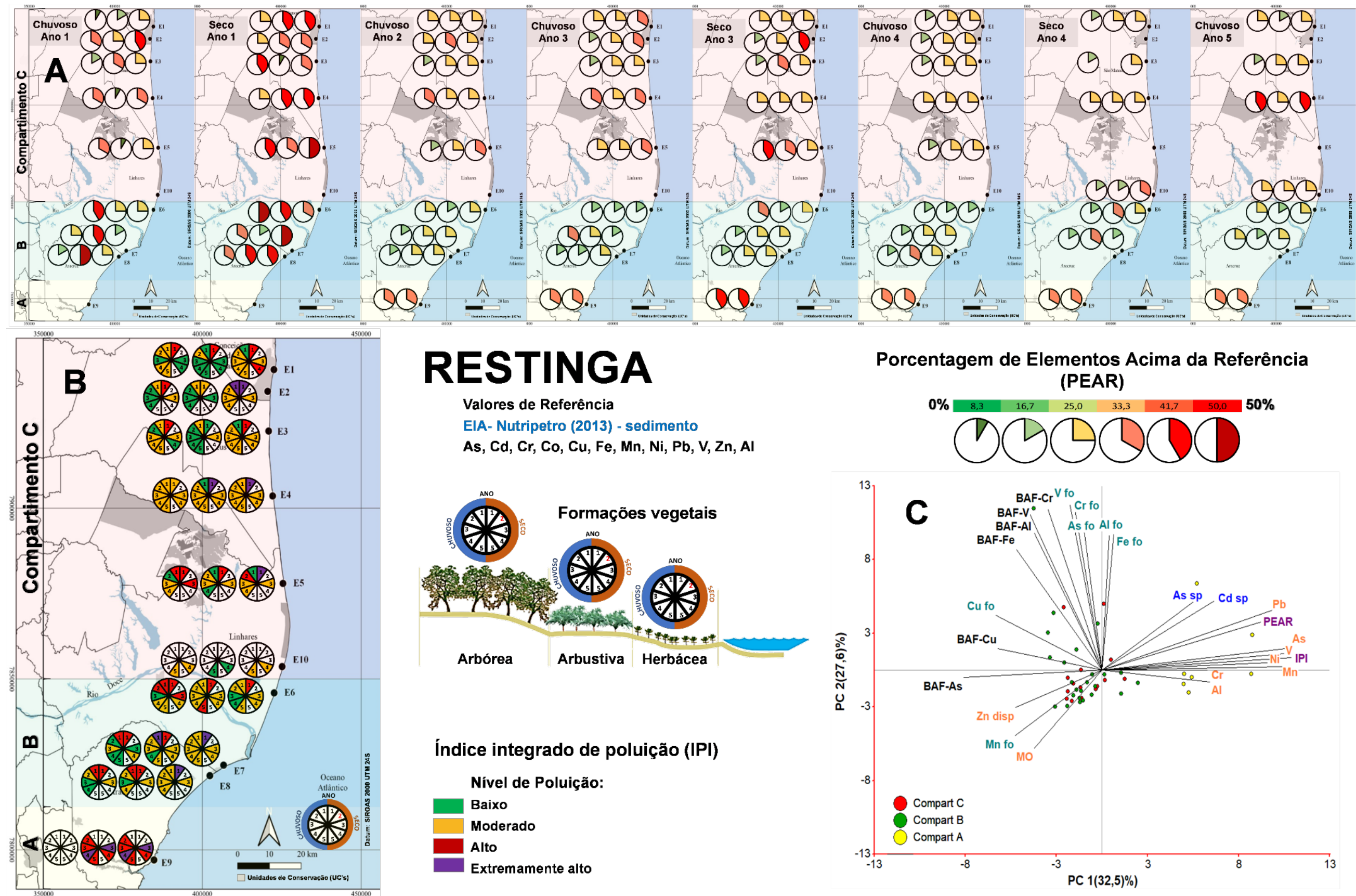
Os padrões observados para as respostas das categorias biológicas e consequentemente a **Vitalidade da vegetação da Restinga** são também corroborados pelas recentes análises de sensoriamento remoto da região costeira avaliada. Em relação ao **NDVI** (Índice de vegetação da diferença normalizada), um conhecido índice de medição da saúde da vegetação, houve variação de valores mais expressivo nas estações tanto a norte quanto a sul da desembocadura do Rio Doce, no Compartimento B, com redução expressiva no valor do índice, conforme visualizado em Cacimbas (E6) e REBio Comboios (E7) já no início de 2016, após o Rompimento da Barragem. Este foi mais um indicativo do reflexo direto da passagem da pluma de rejeitos e sua chegada no litoral sobre a saúde da vegetação de restinga dessas áreas.

O aumento das classes verde claro e amarelado do Índice – a partir de 2015, indicam uma possível dificuldade de regeneração ou de saúde da vegetação. Com o passar do tempo, estas áreas tendem a se equilibrar em termos de atividade da vegetação, apesar de algumas capturas terem identificado certa oscilação, que pode ser decorrente de outras influências sobre a área. Também pode ser visto nas imagens (Figura 4A) que a área no extremo norte da costa monitorada, localizada na APA Conceição da Barra (E1), representante do Compartimento C, apresenta retardo no alcance do equilíbrio da atividade vegetativa, o que demonstra que esta área pode ainda estar submetida a ação de forçantes que impedem um melhor restabelecimento do equilíbrio funcional da vegetação. Resultados quantitativos do NDVI nas nove estações amostrais avaliadas (Figura 4B) indicou que a série temporal obtida desde 2013 demonstra maiores valores nas estações ao sul da costa, aumentando à medida que se localizam mais a norte.

Tais resultados corroboram com o que vem sendo atualmente observado pelas análises dos parâmetros obtidos *in situ* e que permitem avaliar a capacidade fotossintética da vegetação, influenciada pela presença dos elementos químicos depositados sobre o solo e nas plantas desta área. Avaliados em conjunto, esses resultados apresentam análises promissoras em termos de associação com o que vem sendo observado *in situ* e que as análises via sensoriamento remoto podem consistir em uma importante ferramenta para a avaliação integrada da condição da vegetação costeira impactada. Somados a isso, **ensaios sob cultivo protegido** da aplicação de concentrações iônicas via dose-resposta possibilitaram traçar um paralelo com observado *in situ*.

Nas espécies herbáceas cultivadas sob condição controlada, tratamentos de curto prazo mostram uma resposta imediata à variação iônica das espécies selecionadas, estabelecendo um equilíbrio com o avanço do estímulo. Estes ensaios permitiram verificar prontamente um aumento do aproveitamento energético em contrapartida a uma dificuldade na captação de luz. Um comprometimento parcial ocorrido no início dos ensaios foi observado não somente no complexo de captação de luz do Fotossistema II, como também na performance fotoquímica, indicando que sob as condições estabelecidas há um comprometimento funcional de espécies de restinga, o que pode ocasionar na redução da produtividade primária nas espécies desta formação vegetal.

Figura 5: Contaminação das restingas monitoradas ao longo de suas formações herbácea, arbustiva e arbórea, utilizando como referência os valores pré-rompimento (EIA-Nutripetro - PSG, 2013), nos períodos Chuvoso Ano 1 (2018) a Chuvoso Ano 5 (2023) no âmbito do PMBA/Fest-UFES. Porcentagem de Elementos Acima da Referência – PEAR (A); Índice Integrado de Poluição – IPI (B); e Análise de Componentes Principais – PCA – entre variáveis abióticas (C) nos diferentes Compartimentos da região costeira do Espírito Santo. Na figura B, o Período Seco Ano 2 (em vermelho), se refere a interrupção de coletas devido a Pandemia COVID19.





Dentre as variações abióticas que influenciam diretamente a resposta do indicador **Vitalidade da vegetação da Restinga**, o monitoramento no âmbito do PMBA/FEST-UFES continua a destacar elementos em excesso no sedimento, desde o Ano 1, como As, Co e Mn, assim como Zn e Ni, quando analisada a **Porcentagem de Elementos Acima da Referência (PEAR)** (Figura 5A), com incrementos em estações amostrais dos Compartimentos B e C, particularmente em proximidades à Foz, tanto à norte, em Degredo (E10) e Cacimbas (E6), quanto a sul, na REBIO Comboios (E7), padrão que persiste no Ano 5 do monitoramento. Especialmente, o **Índice Integrado de Poluição (IPI)** (Figura 5B) evidenciou tendência global de diminuição da poluição a partir do Ano 4, revelando moderados níveis de poluição para os Compartimentos B e C. Entretanto, vale destacar os aumentos dos níveis de poluição do sedimento da formação arbustiva em Cacimbas (E6).

No Compartimento A, após os aumentos de níveis para extremamente alto do período Seco do Ano 3, a poluição dos sedimentos das restingas retorna a índices altos, caracterizando este compartimento como de persistente poluição. Temporalmente, as maiores contribuições para o aumento de IPI nos períodos chuvosos estiveram relacionadas à Mn ( $r = 0,99$ ), Pb ( $r = 0,83$ ), Ni ( $r = 0,87$ ), As ( $r = 0,96$ ) e V ( $r = 0,88$ ); ( $p < 0,01$ ). Entretanto, os maiores níveis de poluição do sedimento das formações das restingas foram encontrados em períodos secos, em geral associados a eventos de alta morfodinâmica marinha (Ano 1 e Ano 3). Os níveis de poluição dos períodos secos apresentaram maiores contribuições dos elementos As ( $r = 0,98$ ), Mn ( $r = 0,97$ ), V ( $r = 0,97$ ), Ni ( $r = 0,95$ ) e Pb ( $r = 0,87$ ); ( $p < 0,001$ ).

O período Seco Ano 4 apresentou sinais de melhora da poluição quando comparado ao Ano 3, como observado em Cacimbas (E6) e Mar Azul (E9), nas quais os níveis de poluição reduziram para moderado e alto. O depósito sobre a flora da Restinga de elementos associados ao rejeito de mineração, como As, Cd, Cr, Co, Ni, Pb, V, Mn, Al e Fe, corrobora o padrão de elementos químicos observados em períodos anteriores. Entretanto, a adição do período Chuvoso do Ano 5 ao monitoramento caracterizou um aumento da abundância de elementos sobre as três formações vegetais, principalmente sobre a vegetação herbácea, na qual as pluviosidades do período contribuíram para a presença de elementos químicos na APA Conceição da Barra (E1), compartimento C, com destaque para concentrações mais de 10x superiores de Fe, Mn e Al.

Para o sedimento, a análise global da contribuição do aerossol marinho evidencia a influência do aporte de elementos minerais no aumento das concentrações no sedimento para As, Cr, Fe, V e Al (Figura 5C), favorecendo o aumento da porcentagem total no ambiente (PEAR), e apontou maior influência dos aumentos nas concentrações de elementos que chegam à costa via aerossol marinho sobre os níveis de poluição. Além disso, tendências a maiores depósitos de elementos do aerossol têm sido observadas na vegetação localizada ao norte, herbácea e arbustiva, potencialmente decorrente das particularidades da distribuição da vegetação e da possível influência do aumento da vazão do Rio Doce, em virtude dos altos índices pluviométricos desde o Ano 3, que superou dos anos anteriores e perdurou ao longo dos Anos 4 e 5. Para a vegetação, as contribuições significativas do aerossol

marinho foram associadas a acúmulos de As, Cr, Fe, V e Al nos tecidos foliares. O **Fator de Bioacumulação** (BAF) de As, Mn, V, Pb e Zn, e teores de matéria orgânica (MO) do sedimento apresentaram direta relação com a vitalidade da vegetação da restinga. Maiores teores de MO podem favorecer a maior retenção dos elementos próximos à rizosfera e o aumento da efetividade de acumulação dos mesmos no tecido vegetal, como em espécies arbustivas e arbóreas no Compartimento C. Por outro lado, os maiores acúmulos de elementos químicos na vegetação herbácea no Compartimento B, entre Degredo e REBio Comboios, podem estar associados a influência do aporte contínuo de elementos na região da desembocadura, favorecendo a maior captura de elementos pela vegetação, a qual é caracterizada por plantas de crescimento rápido e ciclo de vida curto, e pode responder a fatores como a direção dos ventos, a qualidade da água que chega à costa neste período e o alto grau de exposição às ondas, típico do perfil praiado dessa região.

### 3 REFERÊNCIAS

ALTSCHUL, S.F., GISH W., MILLER, W., MYERS, E.W. AND LIPMAN, D.J. Basic Local Alignment Search Tool. **J. of Mol. Biol.**, v. 215, p. 403-407, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2).

APG IV - THE 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>. Acesso em: 14 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10006**: Solubilização de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro-RJ, 2004.

BACARIN, M. A., MARTINAZZO, E. G., CASSOL, D., FALQUETO, A. R., SILVA, D. M. Daytime variations of chlorophyll a fluorescence in pau d'álho seedlings. **Revista Árvore**, v.40, n.6, p.1023-1030, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000600007>. Acesso em 13 jun 2022.

BELIAEFF B, BURGEOT T. Integrated biomarker response: a useful tool for ecological risk assessment. **Environmental Toxicology Chemistry**, v.21, p.1316-1322, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/etc.5620210629>. Acesso em: 14 nov. 2020.

BERNARDES JÚNIOR, E.J.; VALE, L.S.; SOUSA, C. Indução ao enraizamento de estacas de *Capsicum baccatum* L. var. pendulum com ácido indolbúlfírico. **Enciclopedia Biosfera**, [S. l.], v. 14, n. 25, 2017. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/888>. Acesso em: 05 dez. 2022.

BLOTT, S.J.; PYE, K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth surface processes and Landforms**, v. 26, n. 11, p. 1237-1248, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/esp.261>. Acesso em: 18 mar. 2023.

BORGHETTI, F.; FERREIRA, A. G. *Interpretação de resultados de germinação*. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Eds.). **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, p.209-222, 2004.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248–254, 1976. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3). Acesso em: 14 nov. 2020.

BROWER, J.E., ZAR, J.H. **Field and Laboratory Methods for General Ecology**. 2nd Ed. Boston: Brown Publishers. 226p. 1984.

CAKMAK, I.; HORST, W. J. Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities on root tips of soybean (*Glycine max*). **Physiologia Plantarum**, v.83, p.463-468, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00121.x>. Acesso em: 14 nov. 2020.

CARILLO, P.; GIBON, Y. PROTOCOL: Extraction and determination of proline. **Prometheus Wiki**. 2011. Disponível em: <http://prometheuswiki.org/tiki-index.php?page=Extraction+and+determination+of+proline>. Acesso em: 14 nov. 2020.

CATTELAN, A. J.; HARTEL, P. G.; FUHRMANN, J. J. Screening for plant growth-promoting rhizobacteria to promote early soybean growth. **Soil Science Society American Journal**, v. 63, p. 1670-1680, 1999.

CHEN, Y. E., CUI, J. M., LI, G. X., YUAN, M., ZHANG, Z. W., YUAN, S., ZHANG, H. Y. Effect of salicylic acid on the antioxidant system and photosystem II in wheat seedlings. **Biologia Plantarum**, v.60, p.139-147, 2016.

CLINEBELL, R.R., PHILLIPS, O.L., GENTRY, A.H., STARK, N., ZUURING, H. Prediction of neotropical tree and liana species richness from soil and climatic data. **Biodiversity and Conservation**, v.4, p.56-90, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00115314>. Acesso em: 14 nov. 2020.

COSTA, T. S., CEVOLANE, N. S., FALQUETO, A. R. E AOYAMA, E. M. Influência de diferentes concentrações salinas na germinação de sementes e vigor de plântulas de *Canavalia rosea* da Restinga de Guriri, São Mateus/ES. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.11, n.1, p.77-87, 2013.

CUNHA, V.L.C.D.M. Tratamentos pré-germinativos para *Scaevola plumieri* (L.) Vahl (Goodeniaceae). 2005. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (**Graduação em Engenharia Florestal**) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro / Instituto de Florestas. 2005.

DE BOER, S.H.; WARD, L. PCR detection of *Erwinia carotovora* subsp. atroseptica associated with potato tissue. **Phytopathology**, v.85, p.854-858, 1995. Disponível em: [https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1995Articles/Phyto85n08\\_854.pdf](https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1995Articles/Phyto85n08_854.pdf). Acesso em: 22 jan. 2020.

DUARTE, I.D.; SILVA, N.H.; DA COSTA SOUZA, I.; DE OLIVEIRA, L.B.; ROCHA, L.D.; MOROZESK, M.; BONOMO, M.M.; DE ALMEIDA PEREIRA, T.; DIAS, M.C.; DE OLIVEIRA FERNANDES, V.; MATSUMOTO, S.T. Water quality of a coastal lagoon (ES, Brazil): abiotic aspects, cytogenetic damage, and phytoplankton dynamics. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 11, p. 10855-10868, 2017a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8721-2>. Acesso em: 18 mar. 2023.

DUARTE, Ian Drumond et al. Cytogenetic responses of *Allium cepa* L. after exposure to contaminated pond waters. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 15, n. 1, 2017b.

DUTRA, VALQUIRIA FERREIRA; ALVES-ARAÚJO, ANDERSON; CARRIJO, TATIANA TAVARES. Angiosperm checklist of Espírito Santo: using electronic tools to improve the knowledge of an Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1145-1152, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566414>. Acesso em: 14 nov. 2020.

FERNIE, A.R., ROSCHER, A., RATCLIFFE, R.G., AND KRUGER, N.J. Fructose 2,6-bisphosphate activates pyrophosphate: fructose-6-phosphate 1-phosphotransferase and increases triose phosphate to hexose phosphate cycling in heterotrophic cells. **Planta**, v.212, p.250–263, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s004250000386>. Acesso em: 14 nov. 2020.

FEST, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. **Relatório Semestral de Evolução do PMBA/Fest - Síntese Integrativa entre Ambientes. RT-42**. Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 204 pag. 2023.

FIDALGO, O.; BONONI, V.L.R. **Técnicas de coleta, preservação e herborização do material botânico**. São Paulo: Instituto de Botânica, 1989.

FISKEJO, G. The *Allium* test as a standart in environmental monitoring. **Hereditas**, Lund, v.102, p.99-112, 1985.

FLORA do Brasil 2020 em construção. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 21 mai. 2020.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

FRAGA, C.N.; CHAVES, G.F.; SILVA, J.P.; FORMIGONI, M.H.; RIBEIRO, R. S.; REIS, J C. L.; CAPELLÃO, R.T. **Espécies Ameaçadas do Espírito Santo**. Santa Teresa. Disponível em: <http://tempustecnologia.com/site/>. Acesso em: 20 ago. 2019.

FREITAS, R. M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A. F.; SATO, F. Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; ANDERSON, L. O.; RUDORFF, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v.2, p.57-64. 2011.

GENTRY, A.H. The distribution and evolution of climbing plants. In: Putz, F.E.; Mooney, H.A. (Eds.). **The Biology of Vines**. Cambridge: Cambridge University Press, p.3-49, 1991.

GRIFFITH, O.W. Determination of glutathione and glutathione disulfide using glutathione reductase and 2-vinylpyridine. **Analytical Biochemistry**, v.106, n1, p.207-212, 1980. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(80\)90139-6](https://doi.org/10.1016/0003-2697(80)90139-6). Acesso em: 13 jun. 2022.

GIULIETTI, A.M.; RAPINI, A.; ANDRADE, M.J.G.; QUEIROZ, L.P. & SILVA, J.M.C. **Plantas raras do Brasil**. Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2009.

HIGGINS, M.A., RUOKOLAINEN, K. Rapid Tropical Forest Inventory: A comparison of techniques based on inventory data from Western Amazonia. **Conservation Biology**, v.18, p.799–811, 2004.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils Berkeley. **California Agricultural Experimental Station**, 347p., 1950.

I3N. 2020. **Base de dados de espécies exóticas invasoras do Brasil**. Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis-SC. Disponível em: <http://bd.institutohorus.org.br>. Acesso em: 15 mai. 2020.

JIANG, Z., HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n.10, p.3833–3845, 2008.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M. D.; ŁUKASIK, I.; GOLTSEV, V.; LADLE, R. J. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiol Plant**, v. 38, p. 102, 2016.

KAMPFENKEL, K.; VAN MONTAGU, M.; INZÉ, D. Effects of Iron Excess on *Nicotiana plumbaginifolia* Plants: Implications to Oxidative Stress. **Plant Physiology**, v.107, p.725-735, 1995. Disponível em: <http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/107/3/725.full.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2020.

KASANA, R.C., SALWAN, R., DHAR, H., DUTT, S., GULATI, A. A rapid and easy method for the detection of microbial cellulases on agar plates using gram's iodine. **Current Microbiology**. V. 57, n.5, p.503-7, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00284-008-9276-8>. Epub 2008 Sep 23. PMID: 18810533.

LANE, D.J. 16S/23S rRNA sequencing. In: STACKEBRANDT, E.; GOODFELLOW, M., (Eds.). **Nucleic acid techniques in bacterial systematics**. New York: John Wiley and Sons, p. 115-175, 1991.

LEME DM.; MARIN-MORALES, MA. Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum polluted water - A case study. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v.650, n.1, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2007.10.006>. Acesso em: 18 mar. 2023.

LI, Y.; LIN, Y.; LOUGHLIN, P.; CHEN, M. Optimization and effects of different culture conditions on growth of *Halomicronema hongdechloris* – a filamentous cyanobacterium containing chlorophyll f. **Front Plant Sci** v.25, p.5–67, 2014.

LIMA, A. L. S.; DAMATTA, F. M.; PINHEIRO, H. A.; TOTOLA, M. R.; LOUREIRO, M. E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and experimental botany**, v.47, n.3, p.239-247, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(01\)00130-7](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(01)00130-7). Acesso em: 14 nov. 2020.

LISEC, J.; SCHAUER, N. KOPKA, J.; WILLMITZER, L.; FERNIE, A.R. Gas chromatography mass spectrometry–based metabolite profiling in plants. **Nature Protocols**. v.1, p.387–396, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.59>. Acesso em: 14 nov. 2020.

MARTINELLI, G.; MORAES, A.A. **Livro vermelho da flora do Brasil**. 1ed., Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1100p. 2013.

MIRANDA, T.O.; CARVALHO, S.M. Levantamento quantitativo e qualitativo de indivíduos arbóreos presentes nas vias do bairro da ronda em Ponta Grossa-PR. **REVSBAU**, Piracicaba – SP, v.4, n.3, p.143 – 157, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v4i3.66436>. Acesso em: 14 nov. 2020.

MORELLATO, L.P.C., RODRIGUES, R.R., LEITÃO FILHO, H.F.; JOLY, C.A. Estudo comparativo da fenologia de espécies arbóreas de floresta de altitude e floresta mesófila semi-decídua na Serra do



Japi, Jundiaí. **Revista Brasileira de Botânica**, v.12, p.85-98, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042002000200012>. Acesso em: 14 nov. 2020.

MORO, M.F.; SOUZA, V.C.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; QUEIROZ, L.P.Q.; FRAGA, C.N.; RODAL, M.J.N.; ARAÚJO, F.S.; MARTINS, F.R. Alienígenas na sala: o que fazer com espécies exóticas em trabalhos de taxonomia, florística e fitossociologia? **Acta Botanica Brasilica**, v.26, n.4, p.991-999, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000400029>. Acesso em: 14 nov. 2020.

MÜELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley and Sons Inc., 547p. 1974.

NAUTIYAL, C.S. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. **FEMS Microbiology Letters**, v.170, p. 265-270, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x>. Acesso em: 18 mar. 2023.

NUNES-NESE, A., CARRARI, F., GIBON, Y., SULPICE, R., LYTOVCHENKO, A., FISAHN, J., RATCLIFFE, R.G., SWEETLOVE, L.J., AND FERNIE, A.R. Deficiency of mitochondrial fumarate hydratase activity in tomato plants impairs photosynthesis via an effect on stomatal function. **The Plant Journal**, v.50, p.1093–1106, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2007.03115.x>. Acesso em: 14 nov. 2020.

OLIVE, P. L. DNA precipitation assay: a rapid and simple method for detecting DNA damage in mammalian cells. **Environ. Mol. Mutagen.**, /A-487-495, 1988.

PHILLIPS, O.; MILLER, J.S. Global patterns of plant diversity: Alwyn H. Gentry's forest transect data set. **Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden**, v.89, p.1-319, 2020.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R.; FONTES, E. P.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant science**, v. 167, n.6, p.1307-1314, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.06.027>. Acesso em: 14 nov. 2020.

PSG; NUTRIPETRO. **Estudo de Impacto Ambiental: Terminal Portuário de Uso Múltiplo da Nutripetro**. Vitória, PSG EQUILIBRIUM DO BRASIL LTDA, 2013. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/EIA/2013/Nutripetro/EIA%20-%20Nutripetro.pdf>. Acesso em: 04 nov. de 2020.

RAHMAN, A.F.; GAMON, J.A.; FUENTES, D.A.; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. **Modelling CO<sub>2</sub> flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery**. AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, California, 2000.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. **Relatório Semestral de Evolução (RSE). RT-35**, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 1070 pag. 2020.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análise química de plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 56p. 1974.

SHARIFI, ROUHALLAH; RYU, CHOONG-MIN. Revisiting bacterial volatile-mediated plant growth promotion: lessons from the past and objectives for the future. **Annals of Botany**, v. 122, n. 3, p. 349-358, 2018.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; QIANG, S.; GOLTSEV, V. Simultaneous *in vivo* recording of prompt and delayed fluorescence and 820 nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochim. Biophys. Acta (BBA) – Bioenerg.** 1797, 1313-1326, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.03.008>. Acesso em: 18 mar. 2022.

THOMPSON, J.D.; HIGGIS, D.G.; GIBSON, T.J. CLUSTALW: Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. **Nucleic Acids Res.**, v. 22: p. 4673-4680, 1994.

U.S. EPA. **Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils**. United States Environmental Protection Agency. Revision 1. Washington, DC, 2007.

U.S. EPA. **Method 3015A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts**, Revision 1. Washington, DC, 2007.

USMAN, A.R., LEE, S.S., AWAD, Y.M., LIM, K.J., YANG, J.E., OK, Y.S. Soil pollution assessment and identification of hyperaccumulating plants in chromated copper arsenate (CCA) contaminated sites, Korea. **Chemosphere**, v.87, n.8, p.872-878, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.01.028>. Acesso em: 14 nov. 2020.

VÁLIO, I.F.M.; SCARPA, F.M. Germination of seeds of tropical pioneer species under controlled and natural conditions. **Rev. Bras. Bot.** v. 24, n.1, p.79-84, 2001.

VIARENGO, A.; PONZANO, E.; DONDERO, F.; FABBRI, R. A Simple Spectrophotometric Method for Metallothionein Evaluation in Marine Organisms: an Application to Mediterranean and Antarctic Molluscs. **Marine Environmental Research**, v.44, p.69-84, 1997.

WEI, B.; YANG, L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agriculture soils from China. **Microchemical Journal**, v.94, n.2, p.99–107, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.09.014>.

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**. v.144, n3, p.307-313, 1994. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2). Acesso em: 14 nov. 2020.

YEMM, E.M. COCKING, E.C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v.80, p.209-213, 1955. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/AN9558000209>. Acesso em: 14 nov. 2020.

ZANZARINI, F.V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** v. 17, n. 6, p. 608-614, 2013.