

ATRIBUTOS ANATÔMICOS E SUA RELAÇÃO COM A
OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES DE MELASTOMATACEAE EM
ÁREAS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS

ANA LUIZA DA CONCEIÇÃO SILVA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

FEVEREIRO, 2025

ATRIBUTOS ANATÔMICOS E SUA RELAÇÃO COM A OCORRÊNCIA DE
ESPÉCIES DE MELASTOMATACEAE EM ÁREAS SOB DIFERENTES
CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Ana Luiza da Conceição Silva

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Biociências e Biotecnologia.

Orientadora: Prof. Dra. Maura Da Cunha

Coorientadora: Dra. Laís de Almeida Bezerra

Campos dos Goytacazes, RJ

Fevereiro, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

S586

Silva, Ana Luiza da Conceição.

Atributos anatômicos e sua relação com a ocorrência de espécies de Melastomataceae em áreas sob diferentes condições ambientais. / Ana Luiza da Conceição Silva. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2025.

75 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Biociências e Biotecnologia) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2025.

Orientadora: Maura da Cunha.

Coorientadora: Laís de Almeida Bezerra.

1. Anatomia foliar. 2. Aclimação. 3. Ilha Grande. 4. Mata Atlântica. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 570

ATRIBUTOS ANATÔMICOS E SUA RELAÇÃO COM A OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES DE MELASTOMATACEAE EM ÁREAS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Ana Luiza da Conceição Silva

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Biociências e Biotecnologia.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2025

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 HELENA REGINA PINTO LIMA
Data: 13/05/2025 21:48:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Helena Regina Pinto Lima – UFRRJ

Documento assinado digitalmente
 CATIA HENRIQUES CALLADO
Data: 15/05/2025 12:39:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Cátia Henriques Callado – UERJ

Documento assinado digitalmente
 PRISCILA FERNANDA SIMIONI
Data: 15/05/2025 09:52:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Priscila Fernanda Simioni – UENF

Documento assinado digitalmente
 MAURA DA CUNHA
Data: 16/05/2025 11:37:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Maura Da Cunha (Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 LAIS DE ALMEIDA BEZERRA
Data: 16/05/2025 11:42:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Laís de Almeida Bezerra (Coorientadora)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pela minha vida, por me dar saúde e forças para chegar aqui, por todo suporte emocional e espiritual, essenciais para essa etapa e para o que ainda quero conquistar em minha vida.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e ao Laboratório de Biologia Celular e Tecidual (LBCT) pela oportunidade, estrutura e todo o apoio para o desenvolvimento deste trabalho. Em especial, ao Programa de Pós Graduação em Biociências e Biotecnologia (PGBB) e seu corpo docente pelo acolhimento e conhecimento compartilhados.

Aos meus pais, Helson e Mara, por serem os meus maiores incentivadores, por todo amor e cuidado, por estarem sempre ao meu lado fornecendo suporte emocional e financeiro durante toda a minha vida. Sem eles, chegar aqui não seria possível.

Aos meus irmãos, Cinthia e Helsinho, por todo apoio, incentivo, companheirismo da vida inteira e por todo cuidado que sempre tiveram comigo, a irmã mais nova.

Ao meu namorado Matheus por estar comigo desde o início dessa jornada, me apoiando e me incentivando sempre. Por todo amor e companheirismo, por nunca medir esforços para me ajudar no que for preciso, por ser colo para os momentos de aflição e por aguentar, sem reclamar, todos os meus surtos, chatices e reclamações.

Aos meus afilhados, Miguel, Helson Neto, Maria e Conrado e aos meus sobrinhos, Pedro, Rafael, Alice e Sophia por serem distração, alegria e fontes de amor em todos os momentos.

À minha coorientadora, Dra. Laís Bezerra, por toda paciência, dedicação e parceria ao longo do mestrado. Sua confiança em meu potencial, aliada à sua sabedoria, incentivo e comprometimento, foi essencial para que eu pudesse superar desafios e crescer como pesquisadora, contribuindo de forma fundamental para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

À minha orientadora, Dra. Maura Da Cunha, por me acolher desde a iniciação científica, acreditar no meu potencial e sempre oferecer suporte, ensinamentos e incentivo para o desenvolvimento deste trabalho e de outros que ainda virão.

Aos meus amigos, Lucas Reis, Nicolly Bautz e Nataly Duarte por dividirem comigo todo desespero e ainda surtarem junto comigo, por estarem sempre dispostos a me ajudar no laboratório, por serem a alegria dos dias difíceis, ouvirem todas as minhas reclamações e me fazerem dar boas risadas quando a vontade é de chorar.

Aos meus colegas de laboratório, Diana Neres, Amanda Victorino, Bruna, Larissa, João Marcelo, Viviane, Fernanda Trindade, Rodrigo Feitoza, Saulo Pireda, Camila Ribeiro, Gabriel Amaral, Renata Pegoral, Vanessa Xavier, Marcela Rezende, Jaqueline Amorim e Gustavo por toda a contribuição ao longo desse período.

Ao Marcelo Castilhori, que esteve presente em todas as coletas, sendo essencial para a identificação de cada espécie do estudo. Sem sua dedicação, nada disso teria sido possível.

Por fim, agradeço a Dra. Helena Regina Pinto Lima, Dra. Cátia Callado e a Dra. Priscila Simioni pela disponibilidade de participarem da minha banca de defesa. Ao Dr. João Victor Castelar pela disponibilidade de participar como membro suplente da banca e ao Dr. José Luiz Alves Silva pela disponibilidade de ser revisor da dissertação e membro suplente da banca. Agradeço por todas as contribuições dadas.

Este estudo foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro (FAPERJ CNE E-26/203.955/2024; E-26/211.339/2021). Maura Da Cunha recebeu uma bolsa de produtividade do CNPq (308267/2021-4). Agradecemos ao Centro Multiusuário CME-LBCT por fornecer infraestrutura e a B. F. Ribeiro pelo trabalho técnico no laboratório do LBCT/CBB/UENF.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS	10
RESUMO	12
ABSTRACT	13
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVO GERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
METODOLOGIA	5
<i>Área de coleta</i>	5
Caracterização dos fatores edafoclimáticos	7
<i>Seleção das espécies e indivíduos</i>	8
<i>Atributos morfológicos e fisiológicos</i>	9
<i>Atributos anatômicos</i>	10
<i>Testes Histoquímicos</i>	11
<i>Análise de dados</i>	12
RESULTADOS	12
<i>Descrição anatômica</i>	12
<i>Descrição histoquímica</i>	20
.....	21
Variação nos atributos anatômicos	22
<i>Comparação entre áreas</i>	22
<i>Comparação entre espécies</i>	25
<i>Correlação dos atributos</i>	29
DISCUSSÃO	36
CONCLUSÃO	44
MATERIAL SUPLEMENTAR	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas de estudo na Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ.....	6
Figura 2 - Esquema gráfico das características edafoclimáticas das áreas	7
Figura 3 – Lâmina foliar em seção transversal das espécies nas duas áreas de estudo, observadas por microscopia óptica (MO)	16
Figura 4 - Face abaxial da epiderme das espécies de estudo em ambas as áreas, observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV)	17
Figura 5 - Face adaxial da epiderme das espécies de estudo em ambas as áreas, observadas por MEV	18
Figura 6 - Folhas diafanizadas das espécies de estudo em ambas as áreas, observadas por MO.	19
Figura 7 - Cortes transversais da lâmina foliar submetidos a testes histoquímicos.	21
Figura 8 - Boxplots comparando os atributos entre as áreas de estudo	23
Figura 9 - Gráfico tamanho de efeito dos atributos nas áreas de estudo.....	25
Figura 10 - Boxplots comparando os atributos entre as espécies	28
Figura 11 - Matriz de correlação e rede de integração dos atributos funcionais das espécies para a área de floresta	31
Figura 12 - Matriz de correlação e rede de integração dos atributos funcionais das espécies para a área de restinga	33
Figura 13 - Análise de componentes principais (PCA) das áreas de estudo.....	34
Figura 14 - Análise de componentes principais (PCA) das espécies de estudo.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Lista de espécies selecionadas para o estudo com o nome popular, hábito, procedência, altura média e o número de registro.....	9
Tabela 2 - Reagentes utilizados para testes histoquímicos e os metabólitos identificados.	11
Tabela 3 - Lista de testes histoquímicos realizados em cinco espécies de Melastomataceae provenientes de uma área de restinga e uma área de floresta.	20
Tabela 4 - Parâmetros edafoclimáticos das áreas de estudo.....	59
Tabela 5 - Atributos mensurados de todas as espécies de estudo, na área de restinga e na floresta.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS

AF – área foliar;
Al – alumínio;
B – Boro;
br – braquiesclereides;
C – Carbono;
Ca – cálcio;
CAb – cutícula abaxial;
CAAd – cutícula adaxial;
Crs – cristais;
Ct - cutícula;
CRAF – conteúdo relativo de água na folha;
Cu – cobre;
DEN – densidade foliar;
Dst – densidade estomática;
EAb – epiderme abaxial;
EAd – epiderme adaxial;
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
Ep - epiderme;
ESP – espessura foliar;
Fe – ferro;
F.F - $\Delta F_v/F_m$;
FUNDENOR - Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional;
fv - feixe vascular;
GIAb – tricoma glandular abaxial;
GIAd – tricoma glandular adaxial;
H.AI - maior acidez potencial do solo;
Hp – hipoderme;
ISNa – índice de saturação de sódio;
K – Potássio;
Lac – parênquima lacunoso;
LMA – massa por unidade de área;
m - Índice de saturação de alumínio;

Mg – magnésio;
Mes – mesofilo;
Mn – manganês;
MO – Matéria orgânica;
Na – sódio;
Np - nervura primária;
NrP – nervuras primárias;
NrS – nervuras secundárias;
NrT – nervura com terminações livres;
Ns - nervura secundária;
P – Fósforo;
Pal – parênquima paliçádico;
PCA - análise de componentes principais;
PI - parênquima lacunoso;
PP - Parênquima paliçádico;
PSII – fotossistema II;
S.SO4 – ânion sulfato;
SB – soma de bases trocáveis;
TcAb - tricoma tector abaxial;
TcAd- tricoma tector adaxial;
Tg - tricoma glandular;
TI - terminações livres;
Tst – tamanho dos estômatos;
Tte - tricoma tector estrelado;
Tts - tricoma tector simples;
V - Índice de saturação de bases;
Zn – zinco.

RESUMO

A compreensão do modo como as plantas respondem a variados fatores ambientais, incluindo as mudanças climáticas, é um tópico de extrema importância. Estudos nesse sentido possibilitam a antecipação e compreensão de como as mudanças climáticas podem impactar o desempenho ecofisiológico das plantas, assim como entender sua habilidade de aclimatação de maneira eficaz e rápida. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos anatômicos foliares de cinco espécies da família Melastomataceae para compreender os fatores que determinam sua ocorrência em uma Floresta Ombrófila e uma Restinga, considerando a influência dessas características na aclimatação às diferentes condições ambientais. Para isso, foram coletadas folhas de sete indivíduos de cada espécie em uma área de floresta e uma área de restinga na Mata Atlântica. As amostras foram processadas utilizando técnicas usuais de anatomia vegetal, incluindo microscopia óptica e eletrônica. Além disso, foram realizadas descrições e mensurações dos tecidos foliares, análises de fluorescência de clorofila e testes histoquímicos. As análises revelaram diferenças significativas entre áreas e espécies estudadas, com indivíduos da área de restinga apresentando maior massa por unidade de área foliar, densidade foliar, espessura de cutícula e $\Delta Fv/Fm$, enquanto indivíduos da área de floresta exibiram maior área foliar e densidade estomática. As espécies analisadas apresentaram diferentes estratégias em resposta às condições ambientais distintas da área de floresta e da área de restinga. Enquanto os indivíduos da área de floresta exibem características associadas à maximização da captação de luz e eficiência fotossintética, os da área de restinga demonstram ajustes que favorecem a resistência a menor disponibilidade hídrica e à radiação intensa. As espécies compartilham características anatômicas comuns à família e atributos que variam de acordo com o ambiente, apresentando ajustes morfoanatômicos distintos entre as áreas, que evidenciam aclimatação às condições ambientais. Este estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre a ecologia dessas espécies, os achados apresentados podem subsidiar futuros estudos sobre a conservação da biodiversidade e a influência das mudanças ambientais sobre a vegetação nativa.

Palavras – chave: Anatomia foliar; Aclimatação; Ilha Grande; Mata Atlântica.

ABSTRACT

Understanding how plants respond to various environmental factors, including climate change, is a topic of great importance. Studies in this area enable the anticipation and comprehension of how climate change may impact the ecophysiological performance of plants, as well as their ability to acclimate effectively and rapidly. Thus, the objective of this study was to evaluate the foliar anatomical attributes of five species of the Melastomataceae family to understand the factors determining their occurrence in an Ombrophilous Forest and a Restinga, considering the influence of these characteristics on acclimation to different environmental conditions. For this purpose, leaves were collected from seven individuals of each species in areas of Ombrophilous Forest and Restinga within the Atlantic Forest. Samples were processed using standard plant anatomy techniques, including light and electron microscopy. Additionally, descriptions and measurements of foliar tissues, chlorophyll fluorescence analyses, and histochemical tests were performed. The analysis of attributes revealed significant differences between areas and species, with individuals from the Restinga area showing higher leaf mass per unit area, leaf density, cuticle thickness, and $\Delta Fv/Fm$, while individuals from the Forest area exhibited greater leaf area and stomatal density. The analyzed species showed different strategies in response to the distinct environmental conditions of the forest and restinga areas. While forest individuals displayed characteristics associated with maximizing light capture and photosynthetic efficiency, restinga individuals exhibited traits favoring resistance to lower water availability and intense radiation. The Melastomataceae species analyzed share common anatomical characteristics and exhibit attributes that vary according to the environment, demonstrating distinct morphoanatomical adjustments between the forest and restinga areas, which evidence acclimation to environmental conditions. This study contributes to expanding the understanding of the ecology of these species, and the findings presented may support future studies on biodiversity conservation and the influence of environmental changes on native vegetation.

Keywords: Leaf anatomy; Acclimation; Ilha Grande; Atlantic Forest.

INTRODUÇÃO

As mudanças nos tecidos foliares e na fisiologia das plantas podem refletir estratégias para otimizar a captação de recursos e minimizar perdas de água (Sousa-Santos *et al.*, 2022). Esse processo resulta em variações significativas de características como o teor de matéria seca, comprimento e área foliar específica, além de atributos estruturais, incluindo tamanho e densidade dos estômatos e comprimento e largura dos tricomas, variando de acordo com o ambiente (Soheili *et al.*, 2023). Deste modo, a compreensão de como as plantas respondem a variados fatores ambientais, incluindo as mudanças climáticas, é um tópico de extrema importância nos dias atuais. Estudos nesse sentido possibilitam a antecipação e compreensão de como as mudanças climáticas podem impactar o desempenho ecofisiológico das plantas, assim como entender sua habilidade de aclimação de maneira eficaz e rápida (Campoy *et al.*, 2021).

A análise do aparato fotossintético, fornece informações relevantes sobre a resiliência das espécies, especialmente diante do aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como secas severas (Mielke *et al.*, 2024). A atividade do fotossistema II pode ser determinante na mitigação dos efeitos negativos da limitação hídrica e térmica, evidenciando a importância dos ajustes fisiológicos para a adaptação das plantas a um clima em constante transformação (Cerqueira *et al.*, 2022).

As mudanças nas características morfoanatômicas e fisiológicas das plantas representam ajustes que permitem a aclimação a diferentes fatores ambientais, sejam eles bióticos ou abióticos. Por exemplo, em condições de alta irradiância, as plantas ajustam suas características funcionais reduzindo o tamanho das folhas e aumentando a espessura da epiderme e da cutícula para minimizar a perda de água (Xavier *et al.*, 2023). Essas adaptações podem ocorrer tanto em nível intraespecífico, quando indivíduos da mesma espécie variam em resposta ao ambiente, quanto em nível interespecífico, refletindo diferenças evolutivas entre espécies que exploram nichos distintos. Em ambientes sombreados, por exemplo, a área foliar pode aumentar para maximizar a captação de luz, enquanto em locais áridos, folhas mais espessas e maior densidade estomática ajudam a otimizar o uso da água, garantindo melhor aclimação (Poorter *et al.*, 2009). A distribuição dessas características funcionais também pode ser observada ao longo de gradientes ambientais, como

os encontrados entre áreas sombreadas e ensolaradas, demonstrando a influência do ambiente na diversificação das espécies (Wright *et al.*, 2004).

Na Mata Atlântica, um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade e um dos biomas mais ameaçados do Brasil, a diversidade funcional das espécies vegetais desempenha um papel crucial na estrutura e no funcionamento do ecossistema. Originalmente cobrindo cerca de 15% do território nacional, restam atualmente apenas 12,4% de sua cobertura original, distribuída por 17 estados (SOS Mata Atlântica, 2024). O bioma apresenta grande heterogeneidade ambiental, desde áreas de Floresta Ombrófila, com vegetação densa e alta umidade, até ecossistemas de Restinga, que possuem condições opostas. Apesar dessas diferenças ambientais, algumas espécies conseguem se aclimatar e coexistir nesses ecossistemas contrastantes, apresentando variações morfoanatômicas e fisiológicas que lhes conferem maior plasticidade (Pireda *et al.*, 2019; Simioni *et al.*, 2020). Estudos indicam que a seleção ambiental ao longo do tempo moldou a distribuição dos atributos funcionais das árvores da Mata Atlântica, como a densidade da madeira, o tamanho das sementes e as estratégias de uso da água, refletindo adaptações às diferentes condições climáticas e edáficas (Silva, Souza & Vitória, 2021). Dessa forma, a identificação das regiões funcionais remanescentes é fundamental para a conservação, pois permite priorizar áreas com maior diversidade funcional e resiliência ecológica (Silva, Souza & Vitória, 2022). A interação entre os atributos funcionais e a heterogeneidade ambiental do bioma reforça a necessidade de estratégias de conservação que preservem tanto a biodiversidade quanto os processos ecológicos essenciais para sua estabilidade.

Dentro desse contexto de diversidade e conservação, a Ilha Grande, localizada no município de Angra dos Reis, no Rio de Janeiro, representa um exemplo significativo da riqueza ambiental da Mata Atlântica. Com cerca de 19.300 hectares, é uma das maiores ilhas do litoral brasileiro e abriga diferentes fitofisionomias, variando de Restinga a Floresta Ombrófila, o que proporciona um mosaico de ambientes e favorece a diversidade de angiospermas com distintas formas de vida (Araújo & Oliveira, 1988; Callado *et al.*, 2009). Além de sua importância ecológica, a ilha é, em grande parte, uma área de proteção ambiental, garantindo a preservação de diversas espécies que habitam seu território (Esbérard *et al.*, 2006). Ilhas, em geral, são consideradas sistemas

modelo para estudos ambientais, pois, por serem geograficamente isoladas e globalmente distribuídas, oferecem oportunidades para pesquisas comparativas sobre padrões ecológicos e evolutivos em diferentes microclimas (Kueffer & Fernández-Palacios, 2010).

Entretanto, apesar da predominância de áreas protegidas, a Ilha Grande também apresenta regiões que sofreram intenso processo de antropização, onde a vegetação nativa foi alterada ou suprimida. Atualmente, nesses locais, observa-se a regeneração da vegetação, tornando-os propícios para estudos de sucessão ecológica e seleção de espécies em ambientes degradados (Castelar *et al.*, 2023). Entre os grupos vegetais que desempenham um papel fundamental nesses processos de regeneração, destaca-se a família Melastomataceae, amplamente distribuída no Brasil e com grande representatividade na Ilha Grande (Rosa, 2017).

A família Melastomataceae compreende cerca de 5.750 espécies, distribuídas em 177 gêneros, sendo facilmente reconhecida pelas folhas opostas e geralmente curvinérveas, uma característica marcante do grupo (Rocha *et al.*, 2017). No Brasil, é a sexta maior família de Angiospermas, com 69 gêneros e aproximadamente 1.400 espécies (Reflora, 2020), ocorrendo em todos os domínios fitogeográficos, especialmente na Amazônia, no Cerrado e na Mata Atlântica (Goldenberg, 2012). Na Ilha Grande, sua abundância e diversidade tornam essa família um elemento-chave na dinâmica ecológica e na recuperação de áreas degradadas. Gêneros como *Miconia* Ruiz & Pav., *Leandra* Raddi e *Tibouchina* Aubl apresentam elevado grau de endemismo e incluem espécies com diferentes hábitos de crescimento, desde herbáceas até arbustos e árvores (Iglesias & Dutra, 2017). Dessa forma, a diversidade funcional da família Melastomataceae contribui para a resiliência ecológica da Mata Atlântica, reforçando sua importância nos processos de regeneração e conservação desse bioma.

As espécies da família Melastomataceae geralmente são cobertas por variedades de tricomas, podendo ser glandulares, tectores, multicelulares ou não, variando de acordo com cada espécie (Goldenberg, 2020). Os tricomas glandulares são estruturas secretoras especializadas nas plantas, capazes de produzir e secretar metabólitos secundários. Essas substâncias são armazenadas em uma cabeça glandular, formada entre a parede celular e a

cutícula (Borges & Amorim, 2020). A presença de tricomas confere à planta um mecanismo de defesa contra fatores bióticos e abióticos, sendo uma barreira mecânica e química através da produção de metabólitos secundários (Chwil & Kostryco, 2020). A variedade na composição química presente nas espécies confere a família uma importância medicinal, possuindo espécies com grande potencial farmacológico, como a *Miconia albicans* Sw. (Triana), conhecida popularmente como canela-de-velho (Cruz *et al.*, 2022; Lopes *et al.*, 2023). Apesar do considerável interesse na investigação sobre essas espécies como fontes de plantas medicinais e na compreensão de seu potencial fitoquímico, existe uma lacuna significativa no conhecimento acerca de sua ecologia e das ameaças que enfrentam para garantir sua sobrevivência nos diversos biomas brasileiros.

Estudos que se dedicam a aprimorar a compreensão dos processos morfoanatômicos e fisiológicos das plantas por meio de dados integrados, oferecem meios e instrumentos para monitorar de forma contínua a vida das plantas em diferentes níveis organizacionais. Essa contribuição visa preencher a lacuna do conhecimento existente entre diferentes escalas (Munné-Bosch, 2022). Os resultados têm um significativo potencial ao serem combinados com o conhecimento consolidado sobre a evolução, taxonomia e a composição química. Essa integração entre diferentes áreas de estudo amplia nossa compreensão sobre como as plantas interagem com seu ambiente e se ajustam a mudanças, sendo essencial para a formulação de estratégias eficazes de conservação e manejo sustentável.

Dessa forma, as perguntas que orientaram a pesquisa foram: Quais são as características anatômicas dessas espécies e quais classes de substâncias químicas estão presentes? Como a variação dos atributos anatômicos entre as espécies e entre as áreas de estudo evidencia ajustes morfoanatômicos às condições ambientais?

Diante dessas questões, este estudo busca integrar abordagens morfoanatômicas e fisiológicas para compreender as estratégias aclimatativas das espécies da família Melastomataceae em diferentes condições ambientais. Ao analisar como esses atributos variam entre a área de restinga e a área de floresta, espera-se ampliar o entendimento dos mecanismos que sustentam a

resiliência dessas plantas, fornecendo bases para iniciativas de conservação e restauração ecológica. Além disso, os resultados obtidos poderão ampliar o conhecimento sobre a diversidade funcional da Mata Atlântica, reforçando a importância da preservação desse bioma diante das crescentes pressões ambientais e das mudanças climáticas.

OBJETIVO GERAL

Avaliar os atributos anatômicos foliares de cinco espécies da família Melastomataceae para compreender os fatores que influenciam sua ocorrência em uma área de Floresta Ombrófila e uma área de Restinga, considerando o papel dessas características na aclimação às diferentes condições ambientais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mensurar as características morfológicas das espécies nas duas áreas, avaliando a área foliar, densidade foliar, conteúdo relativo de água e espessura das folhas;
- Descrever a anatomia foliar das espécies e identificar os principais grupos de substâncias químicas secretados;
- Comparar a ocorrência de características anatômicas foliares em cada área de estudo, buscando identificar possíveis convergências que reflitam as condições do ambiente em que se inserem;
- Analisar a variação intraespecífica e interespecífica dos atributos anatômicos da folha, a fim de identificar características que favorecem a aclimação das espécies nos ambientes que estão inseridas.

METODOLOGIA

Área de coleta

A Ilha Grande está localizada na costa sul do estado do Rio de Janeiro na Baía da Ilha Grande, município de Angra dos Reis no Brasil. A Ilha está a aproximadamente 100 km do centro da cidade do Rio de Janeiro e 250 km do centro da cidade de São Paulo. A face norte da Ilha é voltada para o continente, enquanto a face sul está voltada para o oceano, ambas separadas por uma cadeia de montanhas. Nesta cadeia, destacam-se os Picos da Pedra d'Água e do Papagaio, com 1.035 e 982 m de altitude, respectivamente (Gama *et al.*

2009). O clima da Ilha Grande é caracterizado como tropical quente e úmido, sem estação seca definida. A distribuição pluviométrica na região é desigual variando de 1.245 mm até 4.531, em áreas de encostas. A temperatura média varia de 20 e 26 °C, podendo atingir médias extremas de 39 °C no verão e 15 °C no inverno (Salgado & Vasquez, 2009).

As áreas de estudo selecionadas incluem uma Floresta Ombrófila Densa Submontana (52318210°W044.19641°) e uma Restinga em processo de regeneração (52318365°W044.19066°) (Figura 1). A primeira área, em uma região de submontana (Figura 1B, 1D, 1F), é um ambiente caracterizado por possuir uma mata mais fechada e úmida. A Restinga (Figura 1B, 1C, 1E) tem uma vegetação que está sendo reestabelecida e é uma mata mais aberta e seca.

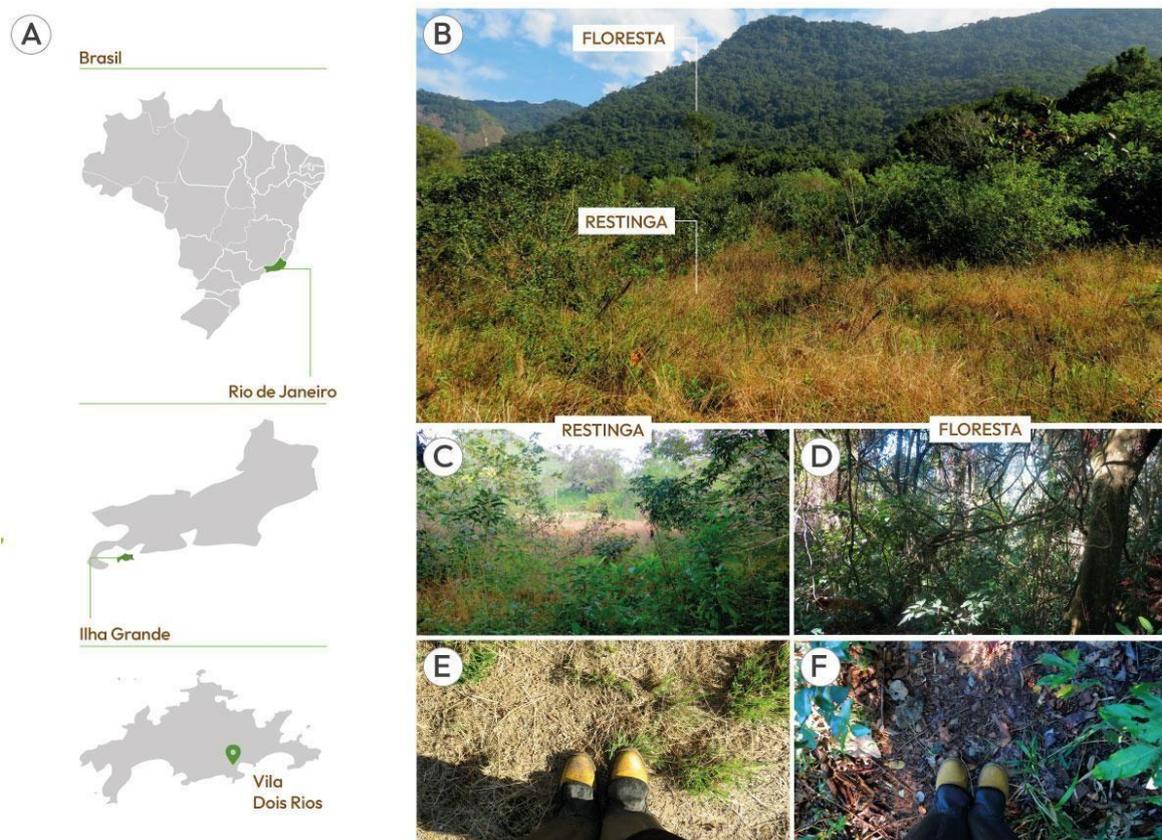


Figura 1 - Áreas de estudo na Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ. (A) Mapa região de estudo. (B) Paisagem da Floresta Ombrófila Densa Submontana e Restinga. (C, E) Paisagem da Restinga. (D, F) Paisagem da Floresta Ombrófila Densa Submontana. Fonte: Acervo pessoal.

Caracterização dos fatores edafoclimáticos

Os parâmetros edafoclimáticos das duas áreas de estudo estão listados na Tabela 3. As características de cada área e os parâmetros que apresentaram diferença significativa estão ilustrados na Figura 2. A área de restinga apresenta maior radiação, o solo é mais seco e apresentou maior índice de saturação de sódio (ISNa) quando comparado com a área de floresta. Enquanto a área de floresta possui solo mais argiloso, com mais silte, matéria orgânica (MO) e rico em nutrientes como K, Ca, Mg e Fe. Além disso, o solo da área de floresta apresenta maior capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases trocáveis (SB) e maior acidez potencial do solo (H.AI).

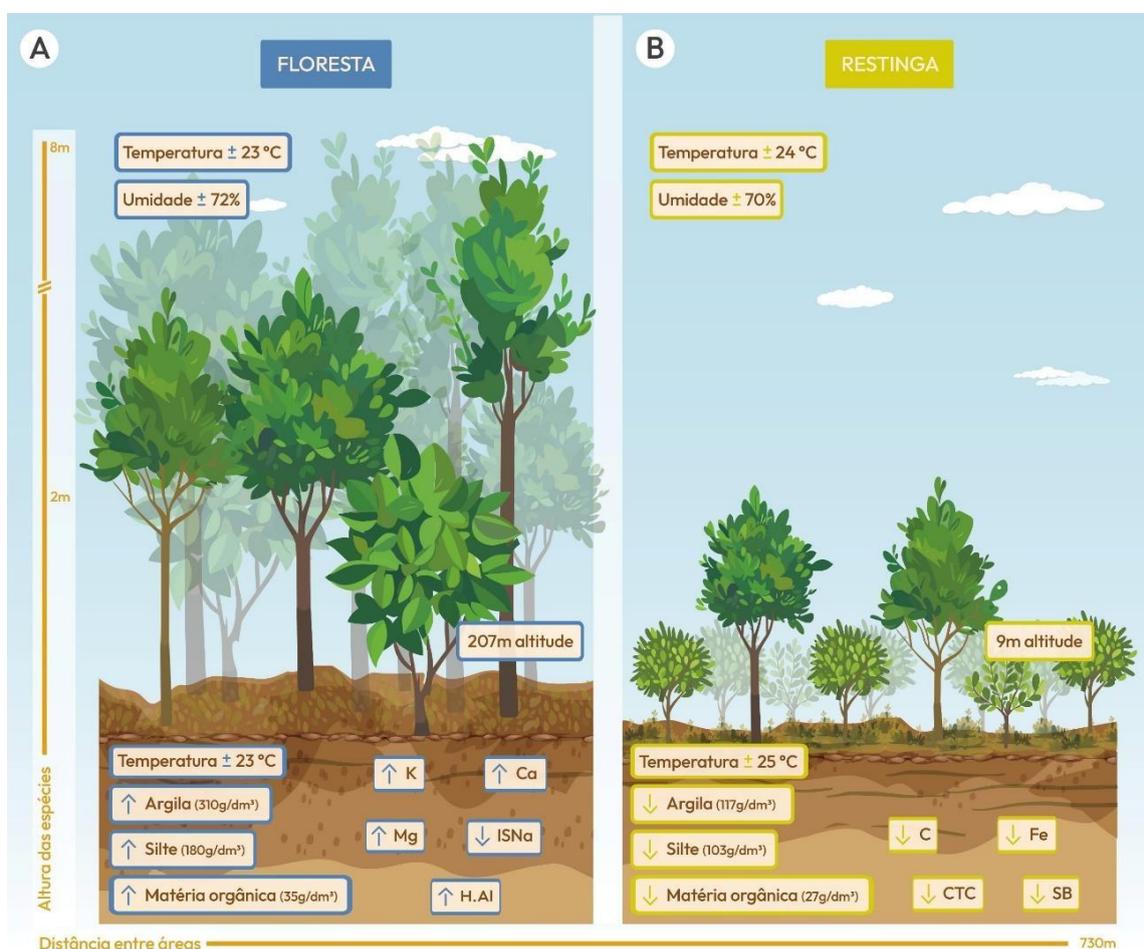


Figura 2 - Esquema gráfico das características edafoclimáticas das áreas. (A) Descrição da vegetação da Floresta Ombrófila, com dados de temperatura, umidade, radiação e parâmetros edáficos dessa área. (B) Descrição da vegetação da Restinga, com dados de temperatura, umidade, radiação e parâmetros edáficos da área.

Seleção das espécies e indivíduos

A seleção das espécies foi baseada em sua representatividade em inventários florísticos, fitossociológicos e etnobotânicos previamente conduzidos na Ilha Grande (Araújo & Oliveira, 1988; Callado *et al.*, 2009; Galvão *et al.*, 2009; Manão, 2011; Rosa, 2013; Vianna Filho *et al.*, 2020). Além da revisão desses estudos, uma visita técnica às áreas de estudo foi realizada para confirmar a ocorrência das espécies (Tabela 1). Indivíduos maduros, de aparência saudável, com ramos expostos ao sol foram selecionados, de acordo com protocolos de amostragem padrão. Em cada área, foram coletadas amostras de sete indivíduos de cada espécie. Os indivíduos selecionados foram marcados individualmente, georreferenciados por GPS e amostras testemunhas foram depositadas no Herbário da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Sensores de temperatura e umidade relativa (Data loggers Perseptec DHT1400), foram instalados em todos os sítios de amostragem. Os data loggers foram programados para mensuração em intervalos regulares de 2 horas durante o período de 1 ano. Com os dados coletados, foi calculada a média de cada parâmetro microclimático. As medições de temperatura do solo foram realizadas com radiômetro LI-250. As amostras de solo foram coletadas em uma profundidade de 30 cm próximo aos indivíduos demarcados, utilizando trado holandês. As coletas seguiram o protocolo estabelecido pela Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e foram analisados pela Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional (FUNDENOR) em relação a porosidade, pH, granulometria, índice de saturação do solo, umidade, quantidade de bases trocáveis.

Tabela 1- Lista de espécies selecionadas para o estudo com o nome popular, hábito, procedência, altura média e o número de registro.

Espécie	Nome popular	Hábito	Área	Altura média	N°. do registro
<i>Miconia prasina</i> (Sw.) DC	Sabiazeira	Arbusto ou subarbórea	Restinga Floresta	2,0m 4,0m	HUENF 14576
<i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn.	Quaresmeira	Árborea	Floresta	6,0m	
<i>Miconia calvenscens</i> DC.	Chápeu napoleão	Árborea	Floresta	3,0m	HUENF 14581
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud.	Canela de velho	Arbusto	Restinga	1,5m	HUENF 14580
<i>Clidemia hirta</i> (L.) D. Don	Pixirica	Arbusto	Restinga	1,0m	HUENF 14583

Atributos morfológicos e fisiológicos

Dez folhas expandidas de cada indivíduo foram utilizadas para a determinação dos atributos morfológicos, das quais foram retirados discos de 0.5 cm de diâmetro do terço mediano. Posteriormente, foram submetidos à hidratação por 72 h para determinação da massa saturada ($M_{saturada}$) em balança digital (AY220, Shimadzu), e da espessura (ESP-mm) com paquímetro digital (Stainless, Hardened). Os discos hidratados foram colocados em estufa a 60 °C por 72 h para obtenção da massa seca (M_{seca}). A partir desses parâmetros foram calculados: conteúdo relativo de água na folha ($CRAF^{-g} m^{-2}$) = $M_{saturada} - M_{seca} / A_{readisco}$; massa foliar por unidade de área ($LMA^{-g} m^{-2}$) = $M_{seca} / A_{readisco}$ (Kluge e Ting, 1978); densidade foliar ($DEN^{-mg} mm^{-3}$) = LMA / ESP (Witkowski e Lamont, 1991). Para a determinação da área foliar ($LA - cm^2$), os folíolos foram escaneados e mensurados utilizando o programa Image J, enquanto os valores do volume foliar foram obtidos por $(LV) = LMA / ESP$ (Rizzini, 1976).

As medições de fluorescência de clorofila foram realizadas utilizando um fluorímetro portátil (OS5p, Opti-Sciences, Hudson, NH, USA) para estimar a eficiência quântica máxima do fotossistema II (relação F_v/F_m). As folhas

coletadas foram armazenadas e mantidas hidratadas até sua chegada ao laboratório. No local, foram dispostas sobre a bancada, onde se realizaram medições da fluorescência da clorofila a em dois momentos: no tempo inicial, em que as folhas estavam completamente hidratadas e após 24 horas de desidratação, para calcular a variação entre os dois tempos ($\Delta F_v/F_m$).

Atributos anatômicos

A descrição do padrão de venação foi realizada a partir da diafanização de cinco folhas por indivíduo seguindo o método adaptado de Strittmatter (1973). O material fixado foi inserido em etanol 96% e fervido em placa aquecedora por 10 minutos. Em seguida, o material foi transferido para uma mistura de hidróxido de sódio 5% e etanol 96%, em uma proporção 1:1, e fervido em placa aquecedora de 5-10min, o tempo para ferver pode variar de acordo com a consistência do material. Após ferver, o material foi lavado em água corrente, depois em água destilada e transferido para água sanitária 50% até tornar-se transparente, o tempo para clarificar varia de acordo com o material. Por fim, o material clarificado foi corado com Safranina, montado em lâminas semipermanentes e visualizadas em microscópio óptico (Axioplan, ZEISS, Alemanha). Os seguintes parâmetros de venação foram analisados: quantidade de nervuras primárias, secundárias e de terminações livres. As imagens foram processadas no Image-Pro Express 6.0.

Os seguintes parâmetros foliares foram avaliados nas análises anatômicas: espessura da epiderme nas faces adaxial e abaxial (em μm), espessura da cutícula adaxial e abaxial, do parênquima paliçádico (em μm), do parênquima lacunoso (em μm) e do mesofilo (em μm); comprimento dos estômatos (em μm); frequência/ mm^2 de estômatos, tricomas e cristais. Para a realização dessas análises, amostras da região mediana de cinco folhas completamente expandidas foram coletadas e fixadas em campo em uma solução aquosa contendo glutaraldeído 2,5 %, formaldeído 4,0 % e tampão cacodilato de sódio 0,01 M em pH 7,2 por 24 horas. As amostras foram desidratadas e infiltradas com resina histológica (HistoResin; Leica, Suíça). Posteriormente, as amostras foram seccionadas em micrótomo rotativo, nas espessuras de 5 μm . Os cortes histológicos foram corados utilizando azul de Toluidina O, montados em Entellan® e observados sob microscopia óptica de

campo claro. A análise foi realizada com o auxílio do microscópio óptico (Axioplan, ZEISS, Alemanha) e as imagens foram obtidas com o auxílio de uma câmera de vídeo (Moticam Pro 282B, Hong Kong) acoplada ao mesmo microscópio. Vinte e cinco campos foram examinados para cada folha investigada. As imagens foram processadas no Image-Pro Express 6.0.

Para observação e mensuração de estruturas da superfície foliar, o material foi fixado e desidratado, como descrito anteriormente, em seguida as amostras foram secas pelo método do ponto crítico utilizando o aparelho Bal-Tec CPD030. Após esta etapa, os fragmentos foram colocados em fita adesiva de carbono e cola de prata em suportes adequados. As amostras foram cobertas com uma fina camada de ouro, aproximadamente 20 nm, utilizando o metalizador Bal-Tec – SCD050. A observação e imagens foram feitas no microscópio eletrônico de varredura (EVO 40, ZEISS, Alemanha), a uma aceleração de voltagem variando até 25 kV.

Testes Histoquímicos

Testes histoquímicos foram realizados para a identificação de compostos do metabolismo primário e secundário dos tecidos vegetais. Para isso, foram obtidos cortes transversais à mão livre do terço mediano da folha. Secções transversais não expostas a reagentes foram utilizadas como branco. Os reagentes utilizados para a identificação dos metabólitos primários e secundários são listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Reagentes utilizados para testes histoquímicos e os metabólitos identificados.

Reagente	Metabólitos	Autores
Sudan IV	Lipídios totais	Pearse (1980)
Cloreto Férrico 10%	Substâncias fenólicas	Johansen (1940)
Vermelho de Rutênio	Polissacarídeos ácidos	Johansen (1940)
Azul brilhante de Coomassie	Proteínas	Fisher (1968)
Reagente de Wagner	Alcaloides	Furr & Mahlberg (1891)
Lugol	Amido	Johansen (1940)

Análise de dados

As análises dos dados foram realizadas utilizando o R (R Core Team, 2024). Inicialmente, a normalidade das variáveis foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homogeneidade de variância foi avaliada pelo teste de Levene, utilizando, respectivamente, os pacotes *RVAideMemoire* (Herver, 2023) e *car* (Fox & Weisberg, 2019). A identificação de outliers foi feita por meio de boxplots, utilizando o pacote *stats* do R. Após essa etapa, verificou-se que os dados apresentavam distribuição não paramétrica. Diante disso, para as análises de variância pareada foi utilizado o teste de Mann-Whitney, com o pacote *stats*, seguido da estimativa do tamanho de efeito por ranks-biserials, utilizando o pacote *effectsize* (Ben-Shachar *et al.*, 2020). Por outro lado, para as análises de variância múltiplas foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis usando o pacote *stats* base do R.

Para verificar se os atributos anatômicos são diagnósticos e se ocorrem variações intraespecíficas em resposta aos fatores ambientais, realizamos uma análise de componentes principais (PCA). Para isso, foram selecionadas as 10 variáveis que melhor explicavam os componentes da PCA, seguindo a recomendação de Hair *et al.* (1998), segundo a qual, para cada variável independente, devem existir, aproximadamente, cinco observações. A seleção dessas variáveis e a construção da PCA foram realizadas com o pacote *factoextra* (Kassambara & Mundt, 2020). Por fim, a matriz de correlação foi construída utilizando o método de Spearman para calcular os coeficientes de correlação, com auxílio do pacote *corrplot* (Taiyn & Simko, 2021).

RESULTADOS

Descrição anatômica

***Miconia prasina* (Sw.) DC**

Miconia prasina é uma espécie com ampla distribuição na Ilha Grande – RJ, sendo encontrada na área de restinga e na área de floresta. Em seção transversal, a lâmina foliar apresentou epiderme unisseriada, com paredes anticlinais levemente sinuosas e cutícula espessa na face adaxial (Figura 3A-B), em ambas as áreas. O mesofilo é dorsiventral, apresentando parênquima paliádico com duas camadas de células, sendo a primeira camada de células

mais alongadas e a segunda de células mais curtas. O parênquima lacunoso apresenta de cinco a seis camadas de células isodiamétricas, que diferem no seu tamanho (Figura 3A-B). As folhas apresentam nervura acródroma basal. A nervura central é plano-convexa, possui de quatro a cinco camadas de colênquima anelar e seis a sete camadas de parênquima cortical. Nos indivíduos da área restinga, evidenciamos a presença de braquiesclereides no parênquima.

Em vista frontal, a epiderme é hipoestomática, a face abaxial apresenta tricomas glandulares captados e tricomas tectores do tipo estrelado, sendo os tricomas estrelados predominantes, em comparação com os tricomas glandulares (Figura 4A-B). A face adaxial apresenta tricomas tectores do tipo estrelado (Figura 5A). A presença de cristais, do tipo drusas, em ambas as faces da epiderme foi observada nos indivíduos das duas áreas (Figura 6A-B).

***Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn.**

Tibouchina granulosa é encontrada na área de floresta. Em seção transversal, a lâmina foliar de *T. granulosa* apresenta epiderme unisseriada, com paredes anticliniais sinuosas e revestida por uma cutícula delgada. Abaixo da epiderme, há uma a duas camadas subepidérmicas distintas. O mesofilo é dorsiventral, composto por uma única camada de parênquima paliçádico (Figura 3F). As folhas apresentam nervura acródroma basal. A nervura central é plano-convexa, que apresenta de duas a três camadas de colênquima anelar, de seis a sete camadas de parênquima. Cristais, do tipo drusas, estão presentes em toda a nervura (Figura 6F).

Em vista frontal, a epiderme é hipoestomática. Na face abaxial da epiderme, foram observados tricomas tectores do tipo simples, alongados e com ramificações na base. Na face adaxial, ocorrem tricomas tectores do tipo simples. Os estômatos estão posicionados acima do nível das células epidérmicas (Figura 4F). Cristais, do tipo drusas, estão presentes em ambas as faces da epiderme (Figura 6F).

***Clidemia hirta* (L.) D. Don**

Clidemia hirta é uma espécie abundante na área de restinga. Em seção transversal, a lâmina foliar apresentou epiderme unisseriada, com paredes

anticlinais sinuosas, coberta por uma cutícula delgada. O mesofilo é dorsiventral, composto por um parênquima paliçádico com duas a três camadas de células, e um parênquima lacunoso com três a quatro camadas de células isodiamétricas, que variam em tamanho (Figura 3C).

As folhas apresentam nervura acródroma basal. A nervura central é plano-convexa, com epiderme unisseriada, conta com duas a três camadas de colênquima anelar. Na análise da venação, *C. hirta* apresenta nervuras alongadas e pouco espessas. As terminações livres são abundantes (Figura 6C). Em vista frontal, a epiderme é hipoestomática, possui tricomas glandulares captados e tricomas tectores do tipo simples em ambas as faces da epiderme (Figura 4C; Figura 5C). Cristais, do tipo drusas, estão presentes em ambas as faces da epiderme (Figura 6C).

***Miconia albicans* (Sw.) Steud.**

Miconia albicans é uma espécie abundante na área de restinga. Em seção transversal, a lâmina foliar apresentou epiderme unisseriada, com paredes anticlinais sinuosas, coberta por uma cutícula espessa (Figura 3E). O mesofilo é dorsiventral, composto por duas a três camadas de parênquima paliçádico e três a quatro camadas de parênquima lacunoso, formado por células isodiamétricas de tamanhos variados (Figura 3E).

As folhas apresentam nervura acródroma basal. A nervura central é convexa, com epiderme unisseriada. Ao redor da nervura, ocorrem tricomas tectores do tipo simples, estrelados e tricomas glandulares captados. A nervura central apresenta de três a cinco camadas de colênquima anelar e quatro a cinco camadas de parênquima, onde são encontradas braquiesclereides. Na análise de venação, *M. albicans* apresenta nervuras alongadas e pouco espessas, e as terminações livres são abundantes (Figura 6E).

Em vista frontal, a epiderme é hipoestomática. Tricomas não glandulares muito longos, torcidos e unicelulares estão presentes em grande quantidade, cobrindo a face abaxial da epiderme (Figura 4E), enquanto na face adaxial ocorrem poucos tricomas glandulares (Figura 5E). Cristais, do tipo drusas, estão presentes em ambas as faces da epiderme (Figura 6E).

***Miconia calvescens* DC.**

Miconia calvescens é uma espécie abundante na área de floresta. Em seção transversal, a lâmina foliar apresentou epiderme unisseriada, com paredes anticlinais sinuosas, recoberta por uma cutícula delgada (Figura 3D). O mesofilo é dorsiventral, apresentando duas camadas de parênquima paliçádico e de cinco a seis camadas de parênquima lacunoso (Figura 3D). Tricomas tectores do tipo simples, do tipo estrelado e glandulares captados ocorrem ao redor da nervura. Em vista frontal, a epiderme é hipoestomática, com tricomas glandulares captados ocorrem na face abaxial da epiderme (Figura 4D). Na análise de venação, *M. calvescens* apresenta nervuras alongadas, pouco espessas e poucas terminações livres (Figura 6D). Cristais, do tipo drusas, estão presentes em ambas as faces da epiderme (Figura 6D).

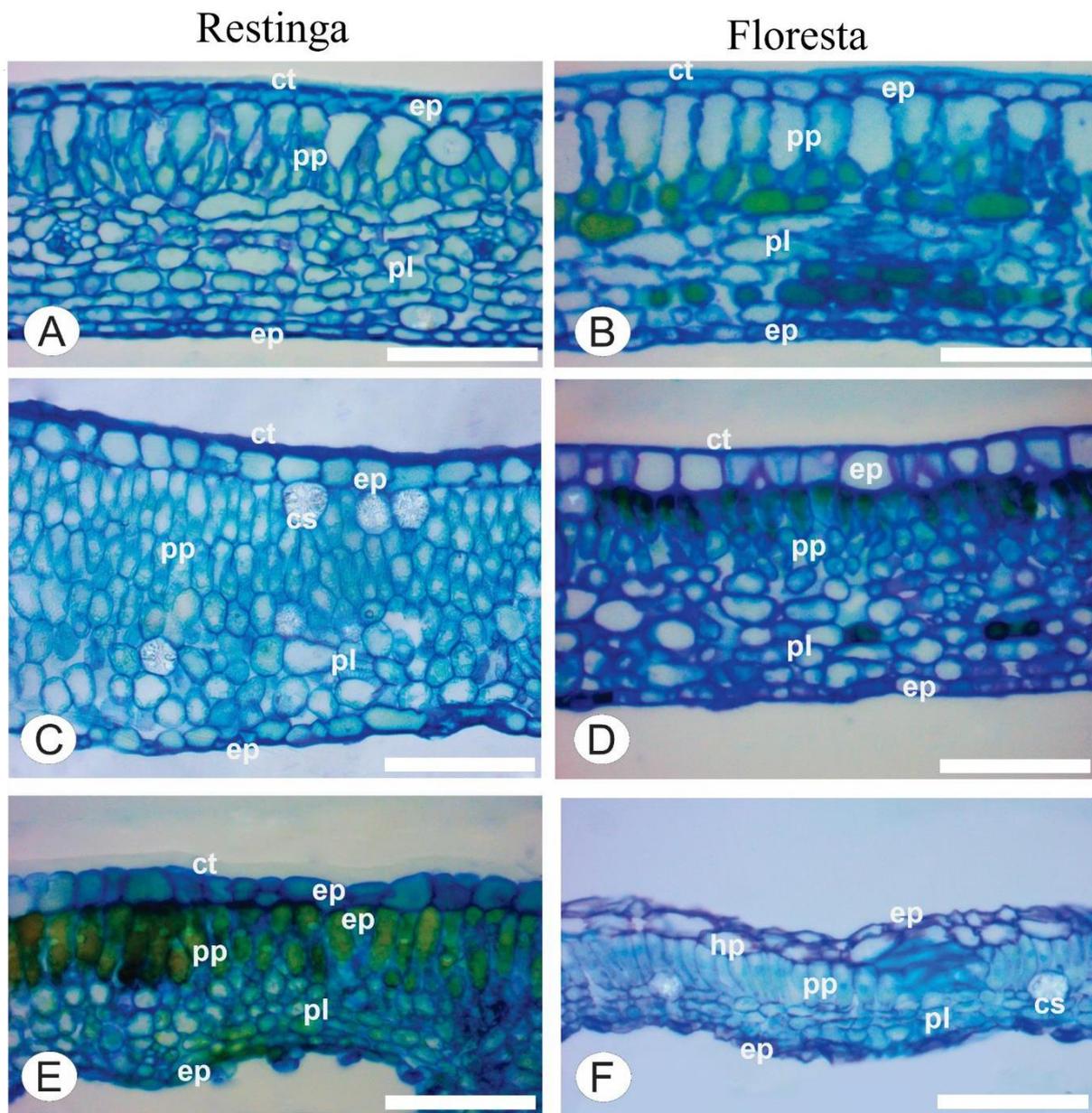


Figura 3 – Lâmina foliar em seção transversal das espécies nas duas áreas de estudo, observadas por microscopia óptica (MO), corados com azul de toluidina. A, C, E – Espécies da área de Restinga. C, D, F – Espécies da área de Floresta Ombrófila. (A) *M. prasina* na área de Restinga. (B) *M. prasina* na Floresta Ombrófila. (C) *C. hirta*. (D) *M. calvescens*. (E) *M. albicans*. (F) *T. granulosa*. ct: cutícula; ep: epiderme; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; cs: cristais; hp: hipoderme. Barras: A-F = 20 μ m.

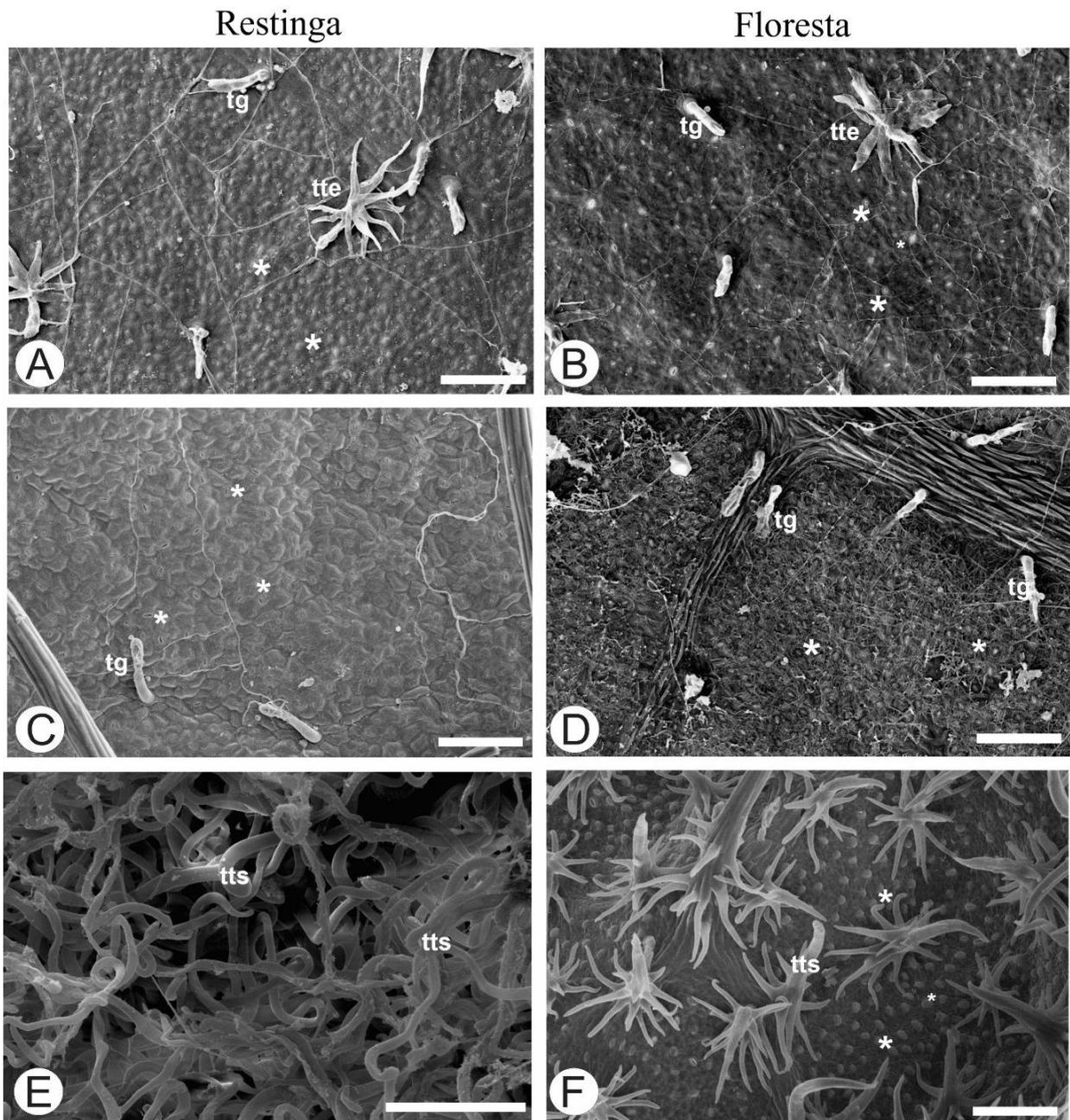


Figura 4 - Face abaxial da epiderme das espécies de estudo em ambas as áreas, observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Face abaxial da epiderme evidenciando tricomas e estômatos. A, C, E – Espécies da área de Restinga. C, D, F – Espécies da área de Floresta Ombrófila. (A) *M. prasina*. (B) *M. prasina*. (C) *C. hirta*. (D) *M. calvescens*. (E) *M. albicans*. (F) *T. granulosa*. tg: tricoma glandular; tte: tricoma tector estrelado; tts: tricoma tector simples; *estômatos. Barras: A-D, F = 20 µm; E- 20 µm.

Restinga

Floresta

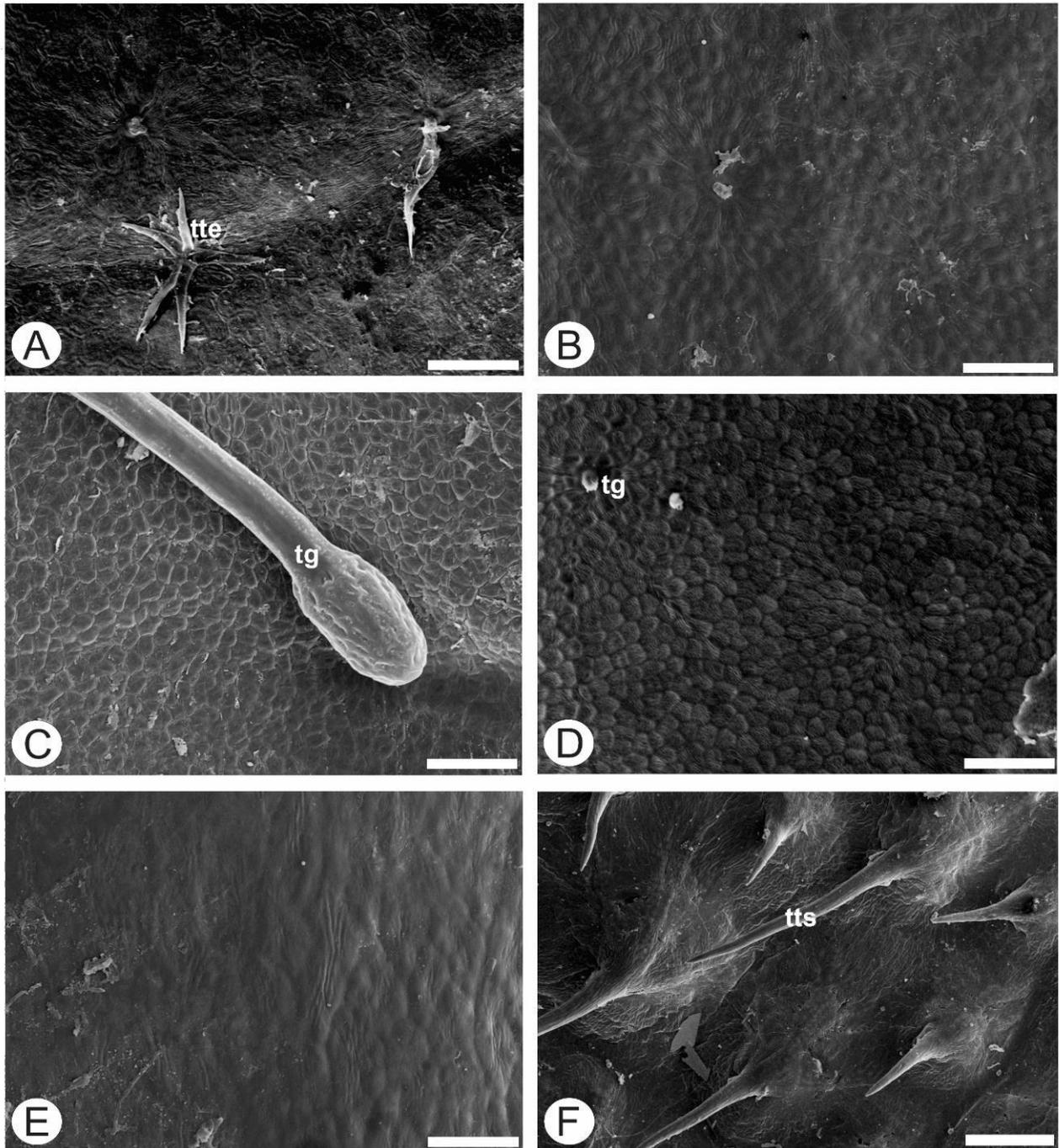


Figura 5 - Face adaxial da epiderme das espécies de estudo em ambas as áreas, observadas por MEV. A, C, E – Espécies da área de Restinga. C, D, F – Espécies da área de Floresta Ombrófila. (A) *M. prasina*. (B) *M. prasina*. (C) *C. hirta*. (D) *M. calvenscens*. (E) *M. albicans*. (F) *T. granulosa*. tg: tricoma glandular; tte: tricoma tector estrelado; tts: tricoma tector simples;

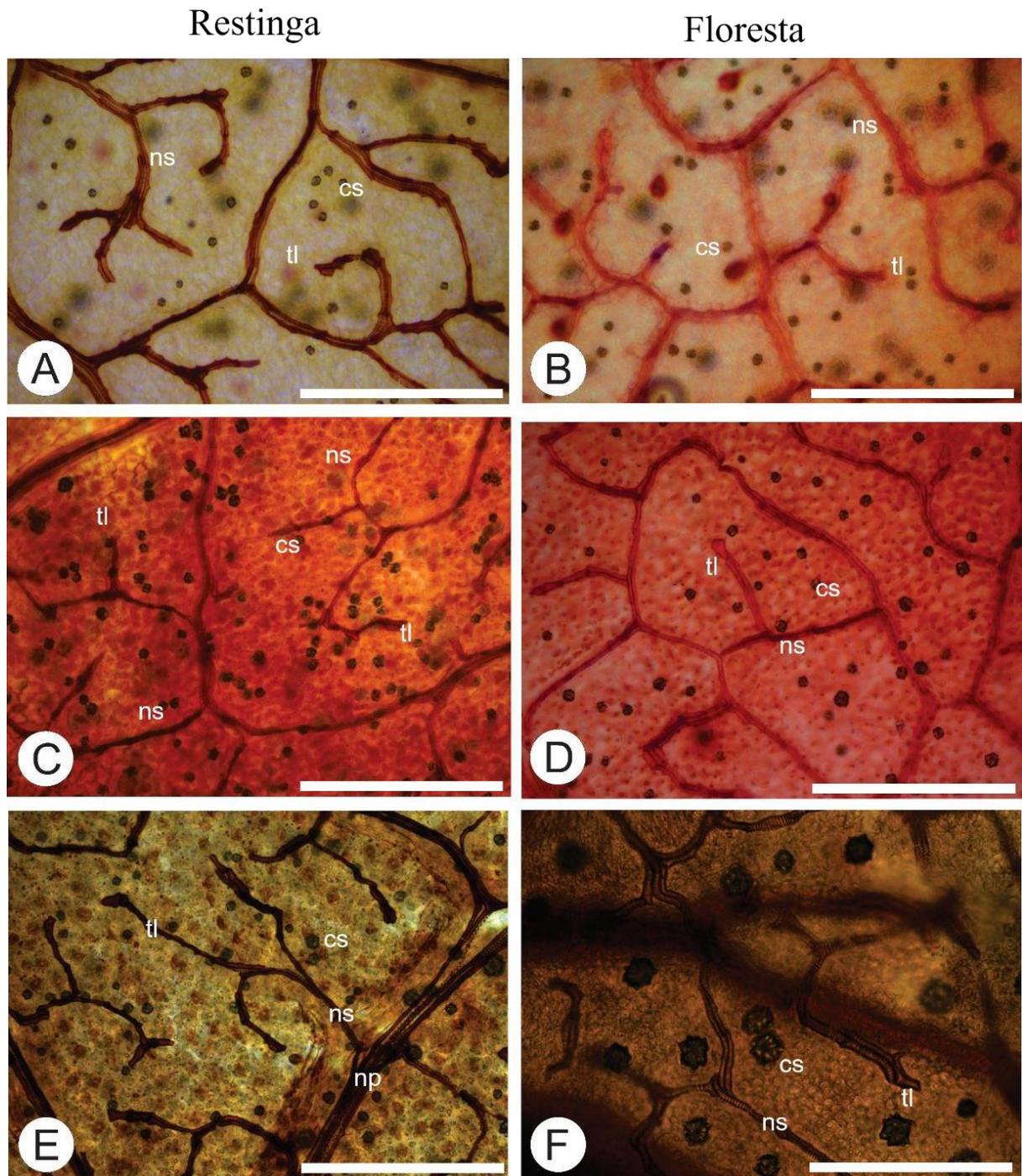


Figura 6 - Folhas diafanizadas das espécies de estudo em ambas as áreas, observadas por MO. Folhas diafanizadas evidenciando a nervura e os cristais. A, C, E – Espécies da área de Restinga. C, D, F – Espécies da área de Floresta Ombrófila. (A) *M. prasina*. (B) *M. prasina*. (C) *C. hirta*. (D) *M. calvescens*. (E) *M. albicans*. (F) *T. granulosa*. ns: nervura secundária; np: nervura primária; tl: terminações livres; cs: cristais. Barras: 100 µm.

Descrição histoquímica

Os testes realizados nas espécies de estudo estão listados na Tabela 2. A presença de alcaloides foi identificada em quatro espécies, *M. albicans* (Figura 7A), *M. prasina* na área de restinga (Figura 7B) e na área de floresta (Figura 7D), *T. granulosa* (Figura 7E) e *C. hirta* (Figura 7G). Substâncias fenólicas foram encontrados exclusivamente em *M. albicans* (Figura 7C) e *T. granulosa* (Figura 7F). Lipídios foram detectados apenas na camada cuticular. Proteínas e polissacarídeos ácidos foram observadas apenas na estrutura da parede celular nas espécies em estudo.

Tabela 3 - Lista de testes histoquímicos realizados em cinco espécies de Melastomataceae provenientes de uma área de restinga e uma área de floresta.

Espécie	Área	Alcaloides	Amido	Substâncias fenólicas	Lipídios	Polissacarídeos ácidos	Proteína
<i>Miconia prasina</i>	Restinga	+	-	-	-	-	-
<i>Miconia prasina</i>	Floresta	+	-	-	-	-	-
<i>Clidemia hirta</i>	Restinga	+	-	-	-	-	-
<i>Miconia albicans</i>	Restinga	+	-	+	-	-	-
<i>Miconia calvescens</i>	Floresta	-	-	-	-	-	-
<i>Tibouchina granulosa</i>	Floresta	+	-	+	-	-	-

(+) presença; (-) ausência.

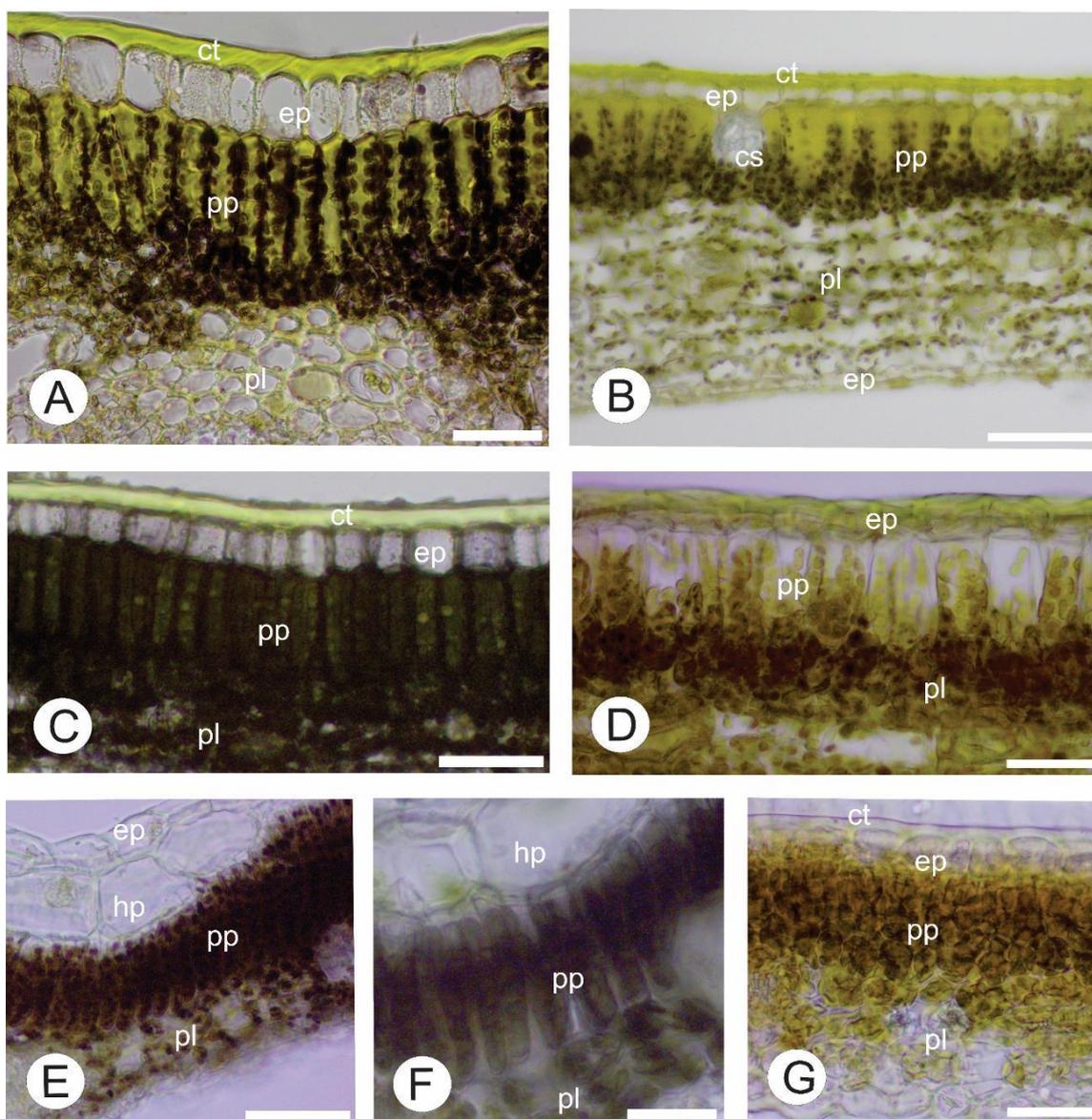


Figura 7 - Cortes transversais da lâmina foliar submetidos a testes histoquímicos. (A, B, D, E, G) *M. albicans*, *M. prasina* na área de restinga, *M. prasina* na área de floresta, *T. granulosa* e *C. hirta*, respectivamente, evidenciando a presença de alcaloides. (C, F) *M. albicans* e *T. granulosa*, respectivamente, evidenciando a presença de substâncias fenólicas. cs: cristais; ct: cutícula; ep: epiderme; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; hp: hipoderme. Barras: (A, D, F, G) 20 μm ; (B, C, E) 50 μm .

Variação nos atributos anatômicos

Comparação entre áreas

Ao comparar as áreas de estudo, 12 dos 22 atributos analisados apresentaram diferenças estatísticas significativas. Os indivíduos encontrados na área de floresta apresentaram maiores valores de área foliar (Figura 8A), densidade estomática (Figura 8G), uma quantidade mais elevada de tricomas tectores (Figura 8I) e glandulares (Figura 8J) na face abaxial da epiderme. Os indivíduos da área de restinga, apresentaram maiores valores para massa por unidade de área foliar (LMA) (Figura 8B), densidade foliar (Figura 8C), conteúdo relativo de água na folha (Figura 8D), espessura da cutícula na face adaxial (Figura 8H), quantidade de nervuras secundárias (Figura 8E), nervuras com terminações livres (Figura 8F), quantidade de tricomas glandulares na face adaxial da epiderme (Figura 8K), tamanho dos estômatos (Figura 8L) e $\Delta F_v/F_m$ (Figura 8M).

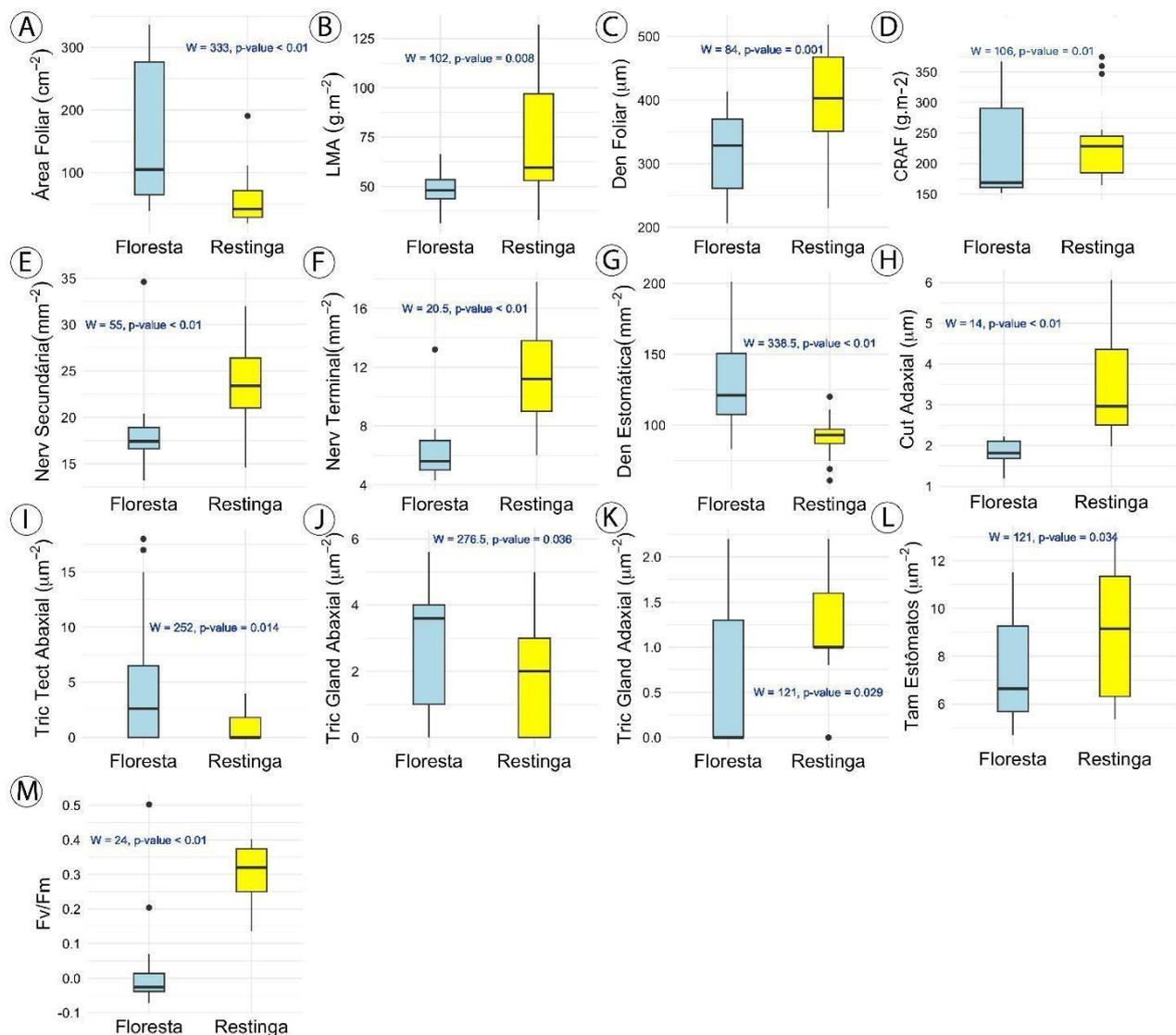


Figura 8 - Boxplots comparando os atributos entre as áreas de estudo. (A) Área Foliar maior na floresta. (B) LMA maior nos indivíduos da restinga. (C) Densidade foliar maior nos indivíduos da restinga. (D) Conteúdo relativo de água na folha maior na restinga. (E) Quantidade de nervuras secundárias maior nos indivíduos da restinga. (F) Quantidade de nervuras com terminações livres maior nos indivíduos da restinga. (G) Densidade estomática maior nos indivíduos da floresta. (H) Espessura da cutícula maior nos indivíduos da restinga. (I) Tricomas tectores na face abaxial da epiderme, maior quantidade nos indivíduos da floresta. (J) Tricomas glandulares na face abaxial da epiderme, maior quantidade nos indivíduos da floresta. (K) Tricomas glandulares na face adaxial da epiderme, maior quantidade nos indivíduos da floresta. (L) Tamanho dos estômatos maior nos indivíduos da restinga. (M) $\Delta Fv/Fm$ maior nos indivíduos da restinga.

O coeficiente de rank bisserial, utilizado para avaliar a relevância das diferenças estatísticas observadas (Figura 9), mostrou os seguintes resultados: A área foliar e a densidade de estômatos apresentaram coeficiente negativos próximos a -0.61, indicando uma diferença considerável, com os valores menores em indivíduos da área de restinga. A espessura da cutícula na face adaxial, quantidade de nervuras secundárias, de nervuras com terminações livres, o $\Delta F_v/F_m$ e a densidade foliar tiveram coeficientes positivos acima de 0.5, indicando diferenças substanciais, com valores maiores em indivíduos da área de restinga. O conteúdo relativo de água na folha, massa por unidade de área foliar (LMA), tamanho dos estômatos e quantidade de tricomas glandulares na face adaxial da epiderme apresentaram valores próximos a 0.3, indicando uma diferença moderada. Os demais atributos apresentaram coeficientes próximos ou iguais a 0.1, mostrando uma diferença pequena, e conseqüentemente não apresentando diferença estatística significativa.

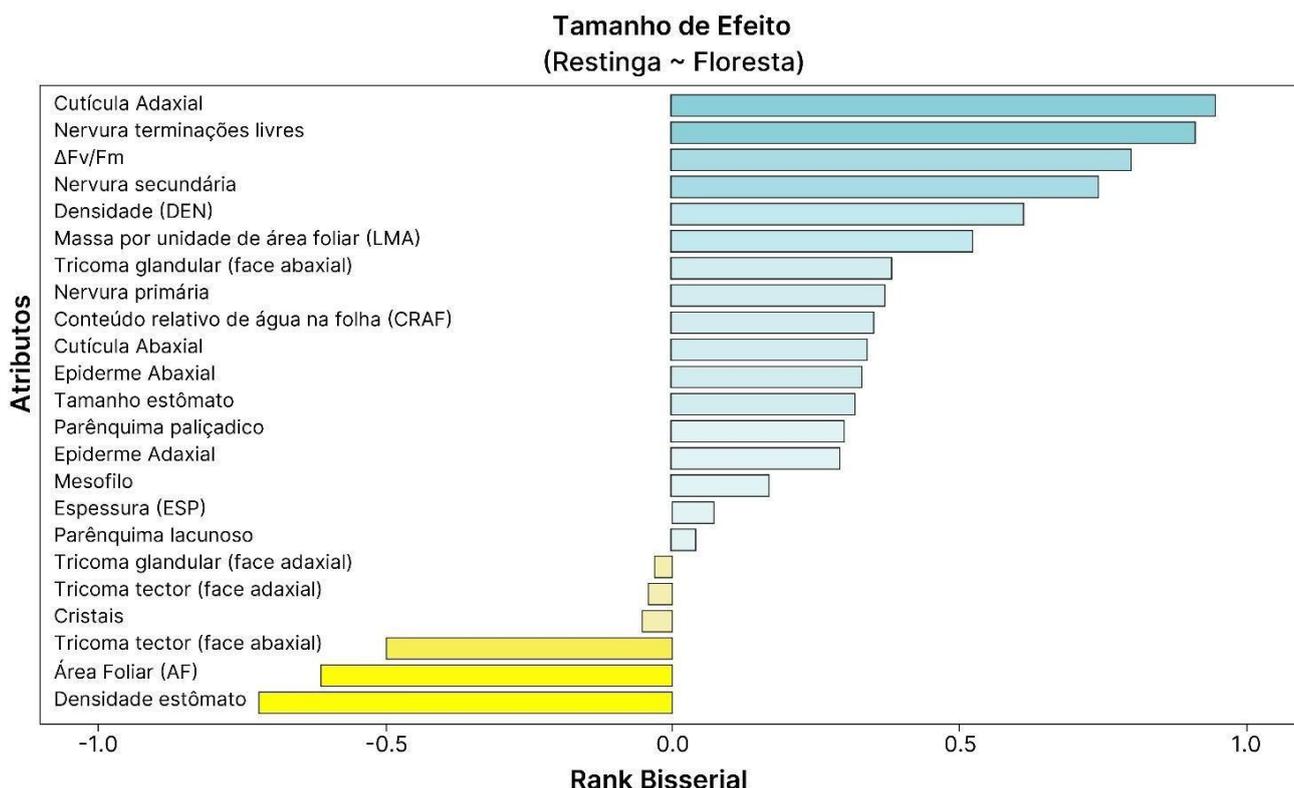


Figura 9 - Gráfico tamanho de efeito dos atributos nas áreas de estudo. Gráfico tamanho de efeito, demonstrando a relevância das diferenças estatísticas, comparando a restinga em relação a floresta.

Comparação entre espécies

Ao comparar em nível de espécie, foi observado diferença significativa em todos os atributos analisados. A área foliar foi maior para espécie *M. calvescens*, que ocorre na área de floresta e menor para *C. hirta*, que ocorre na área de restinga. As demais espécies não apresentaram diferença significativa entre si, sendo que a *M. prasina* apresentou valores intermediários (Figura 10A). A espessura foliar foi maior para *M. albicans*, que ocorre na área de restinga, seguida de *T. granulosa*, que ocorre na área de floresta. As demais espécies possuem menor espessura foliar e não apresentaram diferença significativa entre si (Figura 10B). O conteúdo relativo de água na folha foi maior em *T. granulosa*, *C. hirta* e *M. albicans*. *M. calvescens* e *M. prasina* possuíam menor CRAF que as demais espécies. Não foi observado uma relação entre a área em que a espécie se encontra e a diferença encontrada de CRAF (Figura 10C). A massa por unidade de área foliar (LMA) (Figura 10D) e a densidade foliar (Figura 10E) foram mais elevadas na espécie *M. albicans*, da área de restinga, enquanto as demais espécies não mostraram diferenças significativas.

As espécies *M. calvescens*, *M. albicans* e *M. prasina* apresentaram maiores valores para a espessura do mesofilo (Figura 10F) e o tamanho do parênquima paliçádico (Figura 10G). O parênquima lacunoso foi maior em *M. calvescens* e *M. prasina*. *M. albicans* apresentou valor intermediário. *T. granulosa* apresentou parênquima lacunoso menor comparada as demais espécies (Figura 10H).

Com relação a epiderme e cutícula abaxial e adaxial, *C. hirta* apresentou os maiores valores para epiderme (Figura 10J) e cutícula abaxial (Figura 10L). *T. granulosa* apresentou os menores valores nos quatro atributos (Figura 10I-L). *M. calvescens*, da área de floresta, apresentou maiores valores para epiderme adaxial (Figura 10I), porém valores intermediários para cutícula dessa face (Figura 10K). Foi possível observar uma divisão clara entre áreas no atributo de cutícula adaxial (Figura 10K).

A quantidade de nervura secundária apresentou diferença significativa, possuindo mais quantidade em *M. albicans* e *C. hirta*, que não diferiram entre si. As demais espécies não diferiram entre si (Figura 10M). As nervuras com terminações livres estão presentes em maior quantidade em *M. albicans* (Figura 10N). Esses dois atributos também tiveram uma divisão clara com relação a área onde as espécies se encontravam, onde as espécies da área de restinga possuem maior quantidade de nervuras e *M. prasina*, espécie coocorrente, ocupou posição intermediária.

A quantidade de cristais apresentou diferença significativa, sendo maior para *C. hirta*, as demais espécies não diferiram entre si (Figura 10O). A densidade estomática não apresentou diferença significativa entre as espécies. *M. prasina* apresentou diferença significativa apenas entre as áreas (Figura 10P). O tamanho dos estômatos apresentou diferença significativa, onde todas as espécies diferiram entre si. *M. albicans* apresentou maiores valores, seguida de *T. granulosa*, *C. hirta*, *M. calvescens* e *M. prasina* (Figura 10Q). A quantidade de tricomas tectores na face abaxial da epiderme foi maior para *T. granulosa*, seguido de *M. prasina*, a espécie *M. albicans* apresenta uma grande quantidade de tricomas cobrindo toda a epiderme, o que tornou inviável a contagem (Figura 10R). A quantidade de tricomas glandulares na face abaxial foi maior para *M. calvescens* e *M. prasina*, seguidas de *C. hirta*, *T. granulosa* e *M. albicans* (Figura 10S). A quantidade de tricomas tectores na face adaxial apresentou diferença

significativa, sendo maior para *T. granulosa*, seguida de *C. hirta* (Figura 10T). *M. prasina* e *C. hirta* apresentaram maiores valores de tricomas glandulares na face adaxial (Figura 10U). Os maiores valores do $\Delta Fv/Fm$ foram para as espécies da área de restinga, sendo que todas diferiram da espécie *M. calvescens* da área de floresta (Figura 10V).

Ao comparar os indivíduos de *M. prasina* nas duas áreas de estudo, 7 dos 22 atributos analisados apresentaram diferença significativa entre uma área e outra. O conteúdo relativo de água na folha (Figura 10C), a massa por unidade de área foliar (LMA) (Figura 10D), a epiderme adaxial (Figura 10I), a cutícula adaxial (Figura 10K), quantidade de nervuras com terminações livres (Figura 10N) e o $\Delta Fv/Fm$ apresentaram diferença significativa, sendo maiores na área de restinga (Figura 10V). Já a densidade estomática foi maior na área de floresta (Figura 10P).

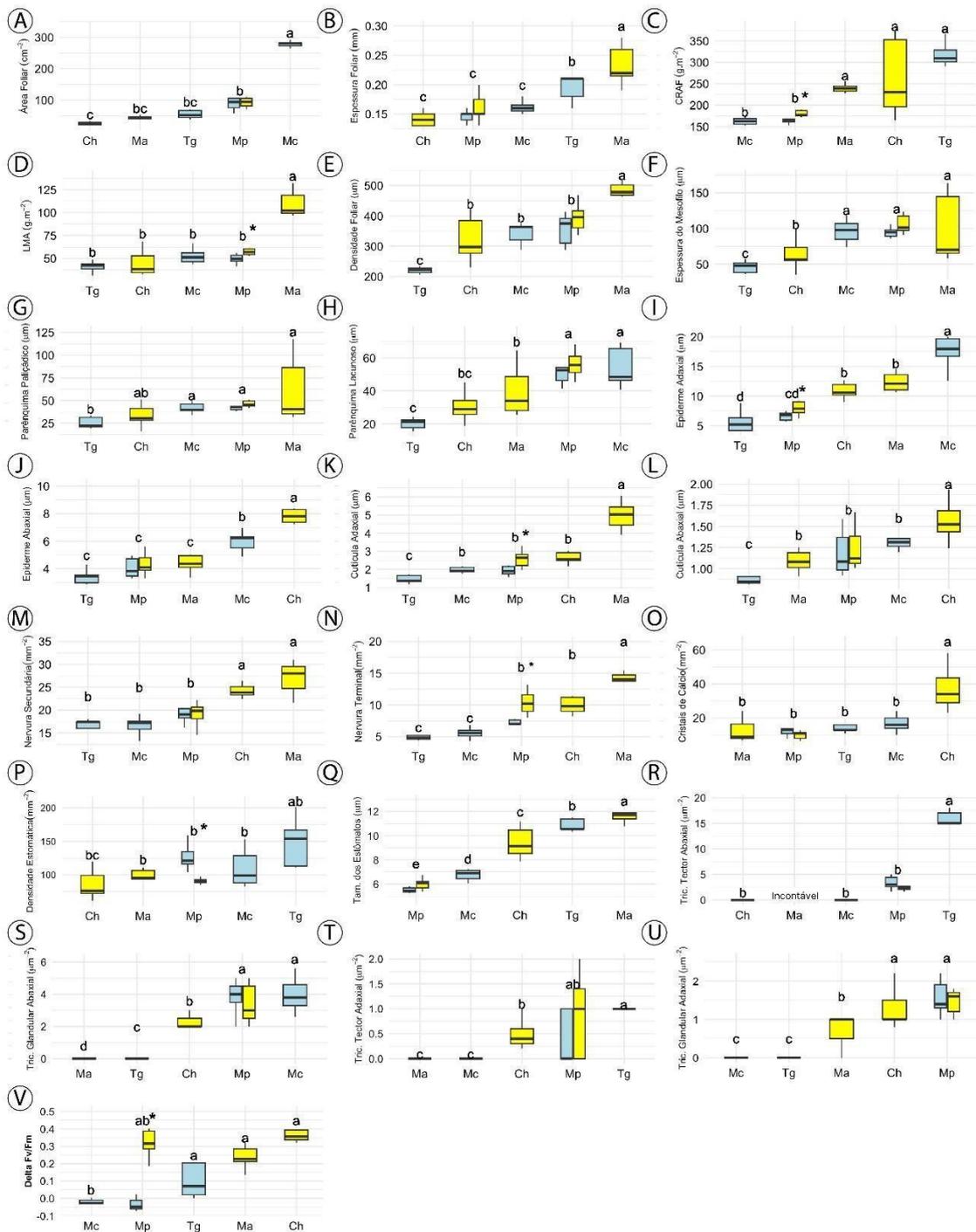


Figura 10 - Boxplots comparando os atributos entre as espécies. (A) Área foliar. (B) Espessura foliar. (C) Conteúdo relativo de água na folha (CRAF). (D) Massa por unidade de área foliar (LMA). (E) Densidade foliar. (F) Espessura do mesofilo. (G) Espessura do parênquima paliádico. (H) Espessura do parênquima lacunoso. (I) Espessura da epiderme adaxial. (J) Espessura da epiderme abaxial. (K) Espessura da cutícula adaxial. (L) Espessura da cutícula abaxial. (M) Quantidade de nervuras secundárias. (N) Nervuras com terminações livres. (O) Quantidade de cristais. (P) Densidade estomática. (Q) Tamanho dos estômatos. (R) Quantidade de tricomas tectores na face abaxial da epiderme. (S) Quantidade de tricomas glandulares na face abaxial da epiderme. (T) Quantidade de tricomas tectores na face adaxial da epiderme. (U) Quantidade de tricomas glandulares na face adaxial da epiderme. (V) $\Delta Fv/Fm$. *diferença significativa entre a mesma espécie, em áreas diferentes.

Correlação dos atributos

Os atributos dos indivíduos da área de floresta estão mais integrados do que os da área de restinga (Figura 11), os atributos apresentaram 81 correlações positivas e 34 correlações negativas. Na área de floresta, o parênquima lacunoso apresenta correlação positiva com os tricomas glandulares abaxial. O mesofilo apresenta forte correlação positiva com o parênquima paliçádico e lacunoso. O conteúdo relativo de água na folha (CRAF) apresenta correlação positiva com o tamanho dos estômatos e os tricomas tectores da face abaxial. Em contrapartida, CRAF apresenta correlação negativa com a densidade foliar, mesofilo, parênquima lacunoso e tricomas glandulares da face abaxial.

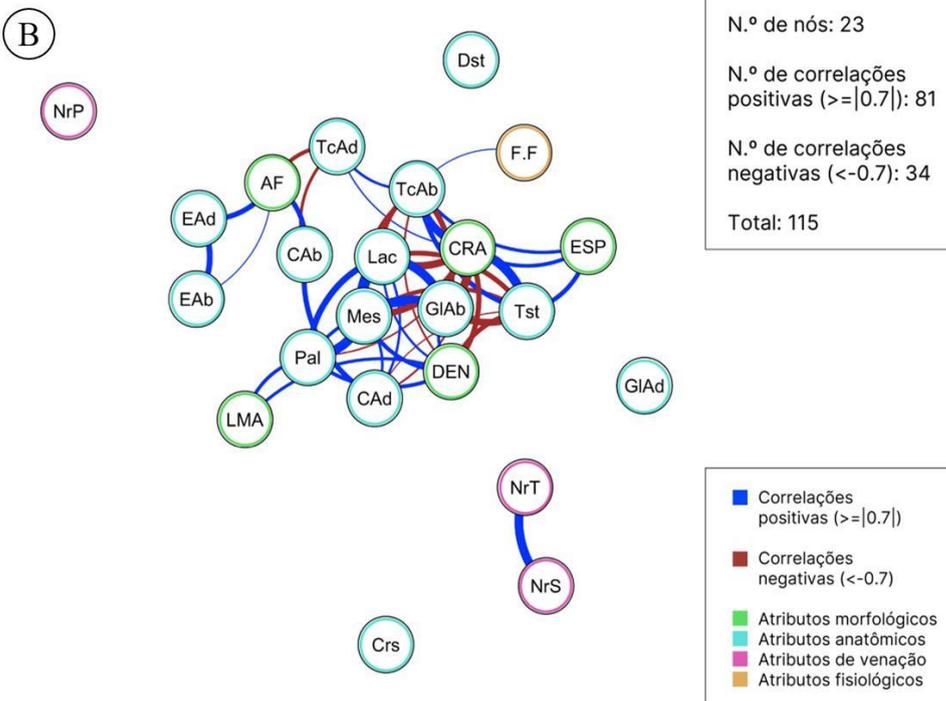
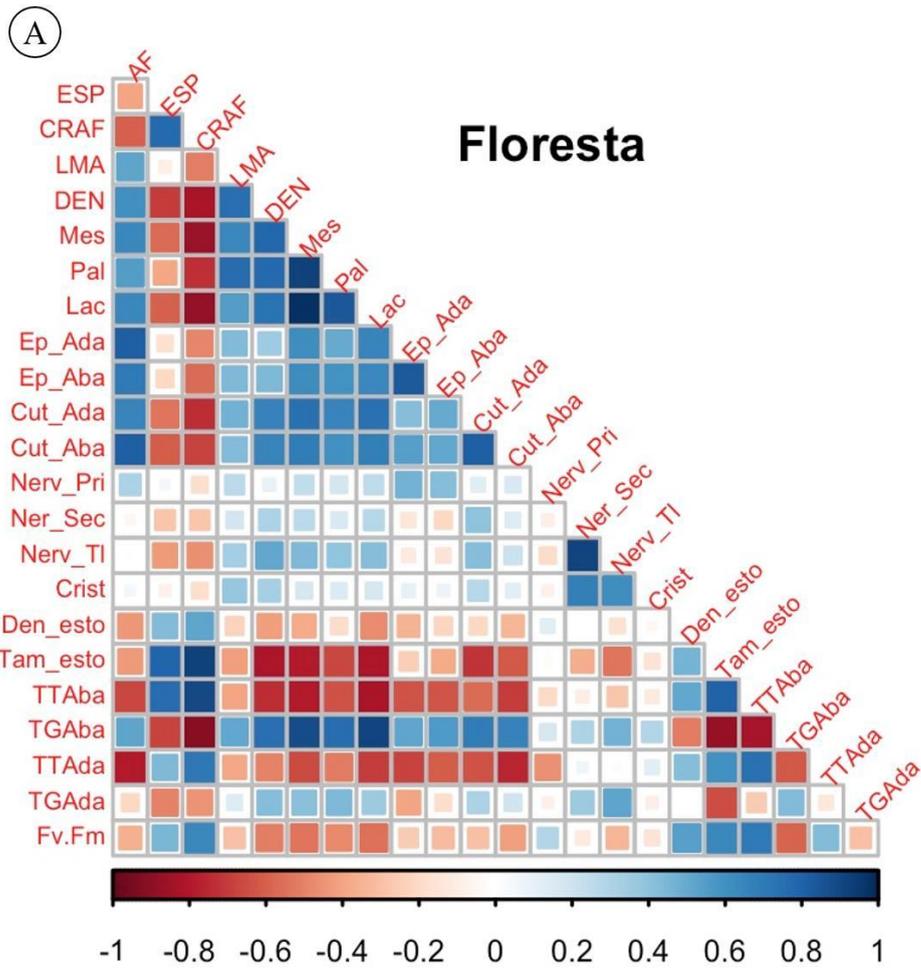


Figura 11 - Matriz de correlação e rede de integração dos atributos funcionais das espécies para a área de floresta. (A) Matriz de correlação dos atributos morfoanatômicos e fisiológicos, onde a intensidade da cor representa a magnitude e direção das correlações entre os atributos analisados. (B) Gráfico de redes de integração dos atributos, com nós representando os atributos e arestas indicando correlações significativas, evidenciando as interações funcionais. Lac – parênquima lacunoso; Mes – mesofilo; Pal – parênquima paliçádico; Dst – densidade estomática; EAd – epiderme adaxial; EAb – epiderme abaxial; Tst – tamanho dos estômatos; CAd – cutícula adaxial; CAb – cutícula abaxial; GIAb – tricoma glandular abaxial; GIAd – tricoma glandular adaxial; TcAd- tricoma tector adaxial; TcAb - tricoma tector abaxial; Crs – cristais; NrT – nervura com terminações livres; NrS – nervuras secundárias; NrP – nervuras primárias; AF – área foliar; CRA – conteúdo relativo de água na folha; DEN – densidade foliar; ESP – espessura foliar; LMA – massa por unidade de área; F.F - $\Delta F_v/F_m$.

Na área de restinga, os atributos apresentaram 53 correlações positivas e 14 correlações negativas. A massa foliar por área (LMA) apresentou correlações positivas com a espessura, densidade foliar e cutícula adaxial. A área foliar apresentou uma forte correlação positiva com a quantidade de tricomas tectores na face abaxial da epiderme e uma correlação negativa com as nervuras primárias. O mesofilo tem forte correlação positiva com o parênquima paliçádico e lacunoso. O tamanho dos estômatos tem correlação negativa com os tricomas tectores e glandulares da face abaxial (Figura 12).

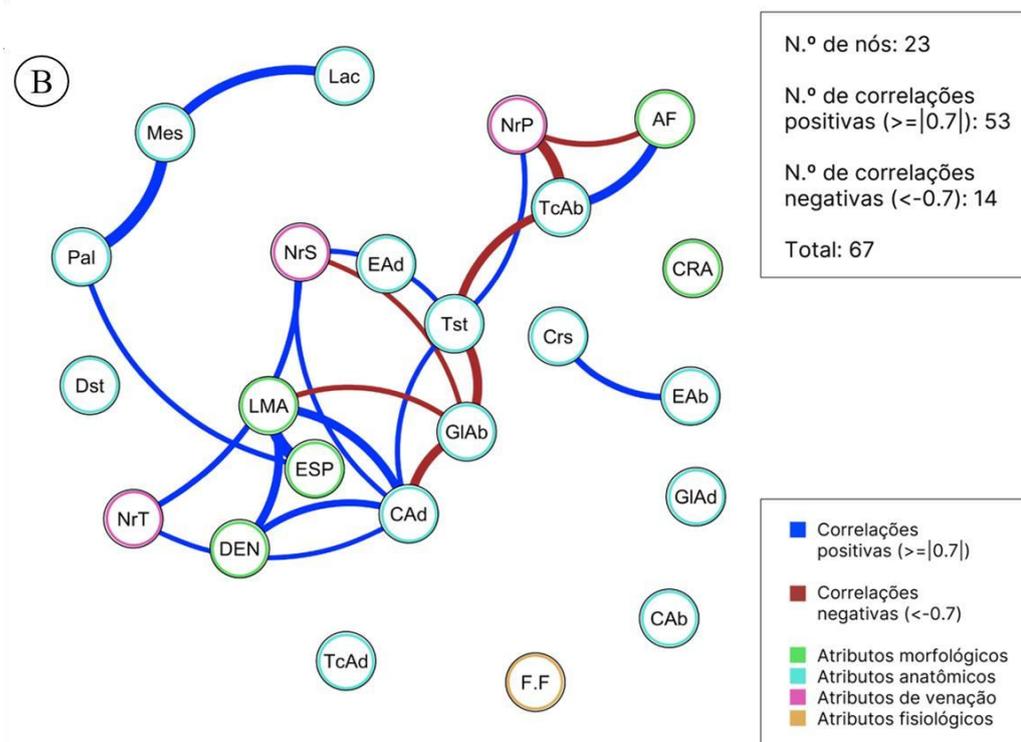
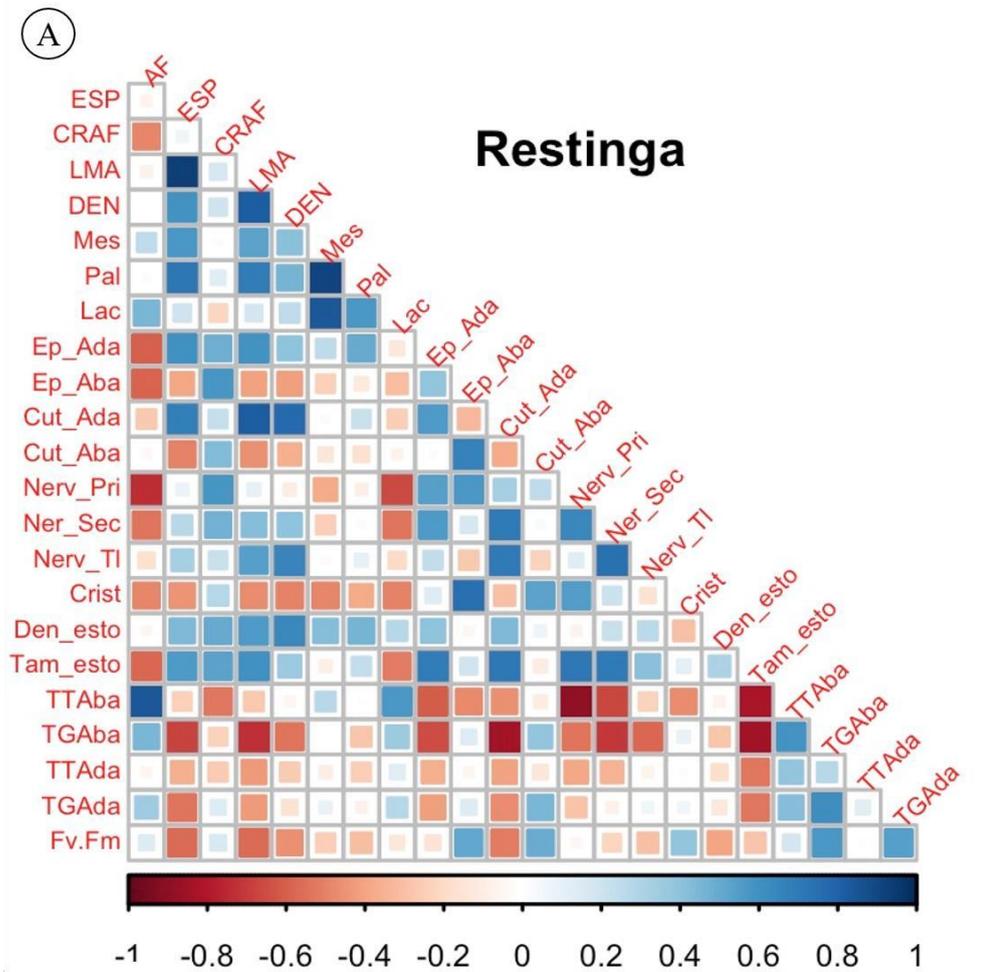


Figura 12 - Matriz de correlação e rede de integração dos atributos funcionais das espécies para a área de restinga. (A) Matriz de correlação dos atributos morfoanatômicos e fisiológicos, onde a intensidade da cor representa a magnitude e direção das correlações entre os atributos analisados. (B) Gráfico de redes de integração dos atributos, com nós representando os atributos e arestas indicando correlações significativas, evidenciando as interações funcionais. Lac – parênquima lacunoso; Mes – mesofilo; Pal – parênquima paliádico; Dst – densidade estomática; EAd – epiderme adaxial; EAb – epiderme abaxial; Tst – tamanho dos estômatos; CAd – cutícula adaxial; CAb – cutícula abaxial; GIAb – tricoma glandular abaxial; GIAd – tricoma glandular adaxial; TcAd- tricoma tector adaxial; TcAb - tricoma tector abaxial; Crs – cristais; NrT – nervura com terminações livres; NrS – nervuras secundárias; NrP – nervuras primárias; AF – área foliar; CRA – conteúdo relativo de água na folha; DEN – densidade foliar; ESP – espessura foliar; LMA – massa por unidade de área; F.F - $\Delta Fv/Fm$.

A análise de componentes principais (PCA) comparando as áreas de estudo explica cerca de 79.7% da variância (Figura 13). Os indivíduos da área de restinga se agruparam, sofrendo uma maior influência da LMA, densidade foliar, cutícula adaxial e nervuras com terminações livres. Enquanto os indivíduos da área de floresta se agruparam a partir de uma maior influência da quantidade de tricomas tectores da face abaxial, tricomas glandulares da face abaxial e da área foliar.

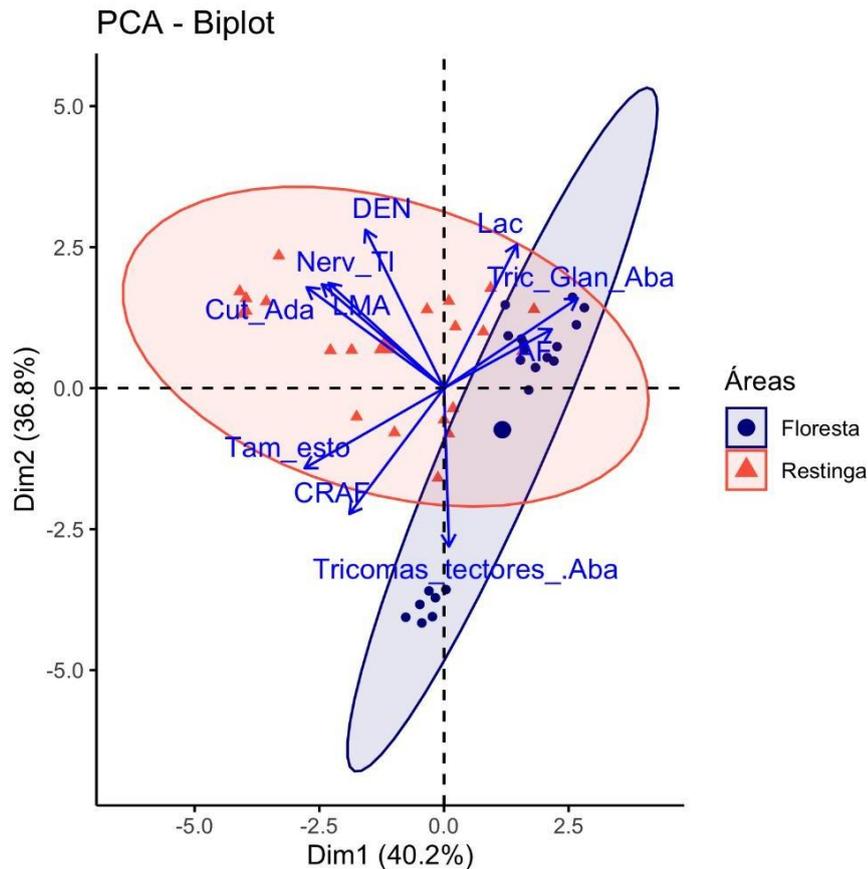


Figura 13 - Análise de componentes principais (PCA) das áreas de estudo. Análise de componentes principais (PCA) entre as áreas, levando em conta os atributos que mais influenciaram o agrupamento dos indivíduos de cada área. DEN – densidade; Nerv_TI – nervura com terminações livres; LMA – massa por unidade de área foliar; Cut_Ada – cutícula adaxial; Lac – lacunoso; Tric_Glan_Aba – tricoma glandular abaxial; AF – área foliar; Tam_esto – tamanho dos estômatos; CRAF – conteúdo relativo de água na folha.

A análise de componentes principais (PCA) comparando os atributos entre espécies explica cerca de 79.7% da variância (Figura 14). Os indivíduos de *M. prasina* das duas e os indivíduos de *M. calvescens* formaram grupos que ficaram sobrepostos, influenciados pela área foliar, parênquima lacunoso e quantidade de tricomas glandulares na face abaxial da epiderme. Os indivíduos de *M. albicans* se agruparam influenciados pela massa por unidade de área foliar (LMA), espessura da cutícula adaxial, e nervuras com terminações livres. Os indivíduos de *C. hirta* sofreram maior influência do tamanho dos estômatos, conteúdo relativo de água na folha (CRAF) e tricomas tectores na face abaxial. Os indivíduos de *T. granulosa* se agruparam e ficaram isolados das outras espécies, influenciados pela quantidade de tricomas tectores na face abaxial da epiderme.

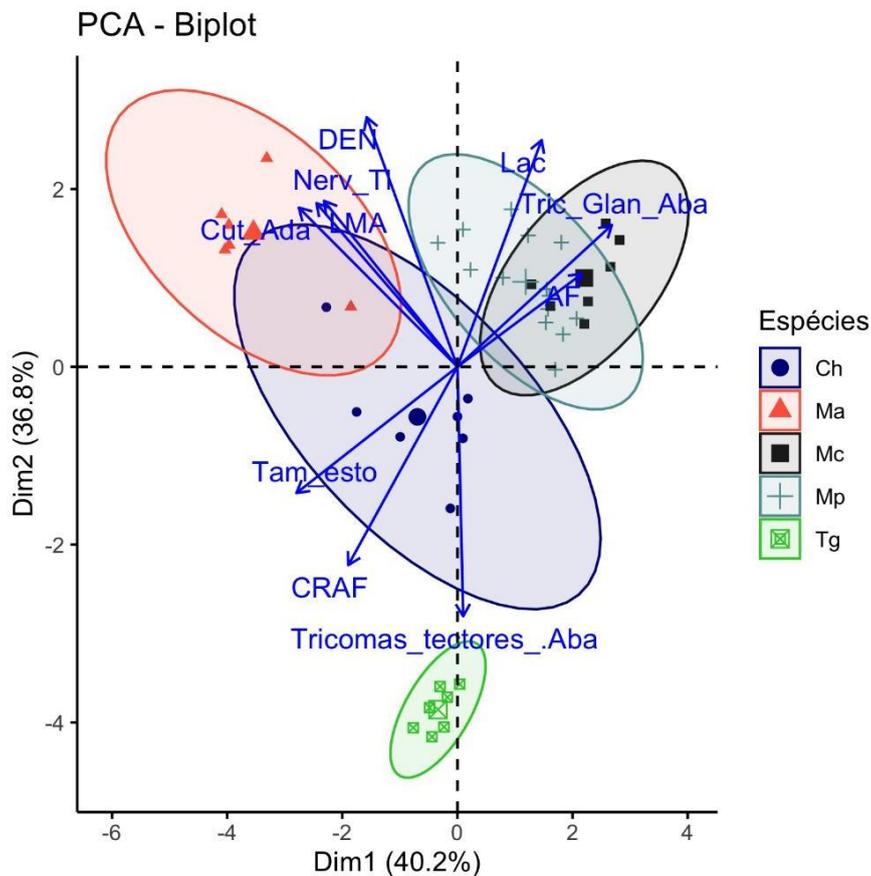


Figura 14 - Análise de componentes principais (PCA) das espécies de estudo. Análise de componentes principais (PCA) entre as espécies, levando em conta os atributos que mais influenciaram o agrupamento dos indivíduos de cada espécie. DEN – densidade; Nerv_TI – nervura com terminações livres; LMA – massa por unidade de área foliar; Cut_Ada – cutícula adaxial; Lac – lacunoso; Tric_Glan_Aba – tricoma glandular abaxial; AF – área foliar; Tam_esto – tamanho dos estômatos; CRAF – conteúdo relativo de água na folha.

DISCUSSÃO

As espécies de estudo apresentaram algumas características comuns à família Melastomataceae, como lâmina foliar com epiderme unisseriada hipoestomática (Silva *et al.*, 2021) e mesofilo dorsiventral (Brito-Ramos *et al.*, 2010).

A cutícula das espécies da família pode ser espessa ou fina, sendo comum encontrar os dois tipos (Reis *et al.*, 2005). Ao comparar entre as espécies de estudo, foi possível observar uma divisão clara entre as áreas, onde todas as espécies da área de restinga apresentaram maiores valores para cutícula adaxial. Esse resultado foi corroborado pelo teste de tamanho de efeito, em que a cutícula adaxial foi o atributo que obteve maior relação de efeito ao comparar as duas áreas. A maior espessura da cutícula é uma característica comum em ambientes com alta exposição solar e baixa disponibilidade hídrica, estando associada à resistência das plantas a essas condições limitantes (Reginato *et al.*, 2009). Contudo, suas funções vão além da simples barreira contra a perda de água. A cutícula também oferece proteção contra estresses bióticos e abióticos, como a redução dos efeitos da radiação UV e a entrada de agentes químicos, como o ozônio, além de influenciar as interações entre plantas e patógenos (González-Valenzuela *et al.*, 2023). Essa estrutura pode modular respostas de defesa contra patógenos, influenciando relações simbióticas. Sua composição e espessura variam de acordo com fatores ambientais, como seca e alta irradiância, evidenciando seu papel adaptativo em ambientes extremos (Bhanot *et al.*, 2021).

A ocorrência de tricomas é uma característica comum em Melastomataceae, sendo frequentemente utilizada para a identificação dos gêneros da família devido à sua diversidade de formas, tamanhos e estruturas complexas (Judd, 2009). Nas espécies de estudo, foram identificados tricomas tectores simples, tectores estrelados, tectores do tipo simples com ramificações na base, glandulares e vermiformes. Em *T. granulosa* observamos tricomas tectores simples com ramificações na base, conforme descrito anteriormente para a espécie (Zampieri *et al.*, 2013). *M. prasina* apresentou tricomas estrelados em indivíduos das duas áreas de estudo analisadas. Esses tricomas, característicos da família, também foram descritos em *Miconia tristis* Spring e *Miconia dorianae* Cong., atuando como uma forma de proteção mecânica contra

ataques de herbívoros (Souza & Marquete, 2000). A face abaxial da epiderme de *M. albicans* apresentou numerosos tricomas longos e flexíveis, anteriormente denominados tricomas vermiformes, como os observados em *Miconia hyemalis* A.St. (Gonçalves-Silva *et al.*, 2019). Esse mesmo tipo de tricoma também foi referido como flagelado-filiforme, sendo identificado em *Lessingianthus macrocephalus* (Less.) H.Rob. (Asteraceae) (Liesenfeld *et al.*, 2019). Chwil & Kostryco (2020) descreveram-nos como muito longos, torcidos, unicelulares e com uma ponta pontiaguda, tendo observado em framboesa (*Rubus idaeus* L. - Rosaceae).

Os tricomas desempenham funções essenciais para a sobrevivência das plantas, participando de processos biológicos como defesa contra herbívoros e patógenos, proteção contra radiação ultravioleta excessiva e a regulação da perda de água por transpiração. Além de atuarem como barreiras físicas que dificultam o acesso de herbívoros, sua presença pode reduzir a evaporação da água e ajudar a regular a temperatura da planta, proporcionando uma adaptação crucial em ambientes secos ou quentes (Wang *et al.*, 2021). Tricomas tectores também desempenham um papel na captação de água em condições de baixa disponibilidade hídrica, auxiliando na absorção de água da chuva, do orvalho ou da névoa e disponibilizando-a para a planta (Bickford, 2016; Berry *et al.*, 2019).

Segundo Metcalfe & Chalk (1950), folhas de Melastomataceae podem apresentar esclereides, hipoderme e cristais de oxalato de cálcio. No presente estudo, braquiesclereides foram identificados na nervura de *M. albicans* e *M. prasina*, ambas da área de restinga, corroborando relatos anteriores para *Miconia nervosa* (Sm.) Triana (Muller *et al.*, 2020). Embora a hipoderme não seja uma característica diagnóstica da família, *T. granulosa* apresentou uma camada distinta da epiderme, possivelmente uma hipoderme. Este tecido já foi descrito em *M. theaezans* (bonpl.) Cong. e *M. budlejoides* Triana (Martarelli *et al.*, 2024) e em *Tibouchina stenocarpa* (Schrank & Mart. ex DC.) Cogn. e *T. granulosa* (Desr.) Cogn. com 2-3 camadas de células maiores do que as epidérmicas (Reis *et al.*, 2005; Zampieri *et al.*; 2013), reforçando os dados deste estudo.

A presença de cristais, do tipo drusas, foi identificada em todas as espécies analisadas, com destaque para *C. hirta*, que apresentou os maiores valores. Silva *et al.* (2021) relataram a presença de cristais em *C. hirta*, ocorrendo em forma de drusas na lâmina foliar, no pecíolo e no caule. Em plantas, os

crystalais podem desempenhar diversas funções, como fornecimento de suporte mecânico, proteção contra herbivoria e armazenamento de cálcio (Duarte & Lopes, 2005). Em Melastomataceae, a ocorrência de crystalais de oxalato de cálcio é amplamente relatada (Silva *et al.*, 2021; Reis *et al.*, 2005). Esses crystalais têm papel crucial na regulação da homeostase de cálcio, atuando como armazenamento inerte para evitar toxicidade e como reserva mobilizável para processos fisiológicos, como formação de paredes celulares e sinalização sob estresse (Franceschi e Nakata, 2005; Volk *et al.*, 2004). Tal mecanismo pode ser especialmente relevante em solos com baixa disponibilidade de cálcio, sendo um recurso para o desenvolvimento das plantas em solos pobres em nutriente (Nakata, 2003). Os dados deste estudo sobre a presença e abundância de crystalais estão em concordância com as características anatômicas esperadas para a família, bem como com a composição do solo nas áreas de coleta. A área de restinga em regeneração apresentou menor teor de cálcio no solo, enquanto a área de floresta apresenta concentrações mais elevadas. Nesse contexto, a maior quantidade de crystalais observada em *C. hirta*, presente na área de restinga, reflete uma provável aclimatação às condições de baixa disponibilidade de cálcio.

Os metabólitos secundários são substâncias bioativas essenciais para adaptação das plantas e em interações ecológicas (Amirjani, 2014). No presente estudo, quatro das cinco espécies analisadas produziram alcaloides, cuja biossíntese pode ser influenciada por fatores como luz, temperatura, umidade e nutrientes (Yeshi *et al.*, 2022). O estresse hídrico tem sido associado ao aumento na produção dessas substâncias sugerindo uma resposta aclimatativa ao ambiente (Amirjani, 2014; Liang *et al.*, 2020). Além de reforçar a defesa contra estresses bióticos e abióticos, os alcaloides podem influenciar polinizadores e dispersores, aumentando a taxa reprodutiva das plantas. As estratégias de defesa incluem a repelência de predadores devido à toxicidade ou sabor amargo, além do reparo de danos por meio do sistema antioxidante (Henriques *et al.*, 2004; Vilariño e Ravetta, 2008; Matsuura e Fett-Neto, 2013).

A comparação entre as áreas de estudo revelou diferenças marcantes em alguns atributos. Nos indivíduos da área de floresta, a área foliar foi maior do que nos indivíduos da área de restinga. Em ambientes de alta irradiância, é comum observar uma redução na área foliar, um ajuste que minimiza a perda de água

por transpiração e evita o superaquecimento das folhas. Por outro lado, em áreas de menor irradiância, as plantas apresentam folhas maiores, otimizando a interceptação de luz para fotossíntese (Gvozdevaite, 2018; Melo Júnior & Boeger, 2016). Essas respostas morfológicas refletem a capacidade das espécies de ajustar suas estratégias funcionais para maximizar a eficiência no uso de recursos, garantindo a sobrevivência e o desempenho em condições ambientais desafiadoras (Melo Júnior & Boeger, 2016).

A densidade estomática, assim como a área foliar, foi maior nos indivíduos da área de floresta. No entanto, os estômatos, apesar de mais numerosos, apresentaram menor tamanho em comparação aos indivíduos da área de restinga, onde os estômatos eram maiores. Pireda *et al.* (2019) analisaram espécies coocorrentes em áreas de restinga e floresta estacional semidecidual, e observaram que na restinga, as plantas apresentaram folhas mais espessas e com maior densidade estomática, atributos associados a ambientes com alta irradiância e baixa disponibilidade hídrica. Em contraste, as espécies da floresta estacional semidecidual exibiram folhas mais delgadas e com menor densidade estomática, o que favorece a eficiência no uso da luz em condições de menor irradiância e maior disponibilidade hídrica.

Os efeitos do estresse hídrico na morfologia dos estômatos podem variar entre espécies, sendo a redução no número de estômatos uma das alterações morfológicas observadas em resposta a esse tipo de estresse (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2016). Xu e Zhou (2008) destacam que os estômatos são altamente plásticos e em resposta ao estresse hídrico observaram uma diminuição na densidade estomática. Essa diminuição está associada à necessidade de minimizar a perda de água por transpiração, sem comprometer completamente a assimilação de carbono, já que a regulação estomática também influencia diretamente a eficiência fotossintética. A menor densidade estomática pode ser acompanhada de ajustes fisiológicos, como maior eficiência no uso da água, indicando que a modulação da densidade estomática é um mecanismo importante para a aclimação de plantas ao estresse hídrico (Xu e Zhou, 2008).

A massa por unidade de área foliar (LMA), a densidade foliar e o conteúdo relativo de água na folha (CRAF) apresentaram valores mais elevados nas folhas provenientes dos indivíduos da área de restinga. Folhas com maior CRAF são mais resistentes a condições de estresse hídrico (Keyvan, 2010). Xavier *et al.*

(2023) reportaram valores mais elevados de densidade foliar e LMA para *Byrsonima sericea* DC. (Malpighiaceae) na restinga, em comparação com os valores observados para a mesma espécie na floresta. A maior densidade foliar está relacionada ao tamanho e ao número de células do mesofilo, sendo estas menores e mais numerosas, o que reduz os espaços intercelulares e aumenta a assimilação de CO₂ (Peguero-Pina *et al.*, 2017). A massa por unidade de área foliar (LMA) reflete o investimento de carbono na massa foliar (Niinemets e Kull, 2003), e, geralmente, é maior em ambientes mais ensolarados, estando associada à proteção do aparato fotossintético (Markesteyn *et al.*, 2007). Da mesma forma, folhas com maior densidade foliar também são comumente observadas nessas condições ambientais (de la Riva *et al.*, 2016). Por outro lado, em ambientes sombreados, as folhas tendem a ser maiores, mais finas e possuem um LMA reduzido, um ajuste que facilita a captação de luz (Evans & Poorter, 2001).

Nas espécies de Melastomataceae, a venação foliar é predominantemente acródroma, caracterizada por nervuras que se originam na base da lâmina foliar e convergem em direção ao ápice. Estudos anatômicos em espécies do cerrado paulista revelaram que, embora a venação acródroma seja uma característica constante, variações em aspectos como o tipo de aréola, a relação entre o número de nervuras primárias e secundárias, o tipo de venação última marginal e a organização da rede de nervuras são úteis na delimitação de tribos e gêneros dentro da família (Reis *et al.*, 2004). As características da venação foliar também podem indicar a influência do clima nas comunidades vegetais, além de variarem conforme os fatores ambientais que as plantas enfrentam (Blonder & Enquist, 2014; Sack & Scoffoni, 2013).

Todas as espécies analisadas neste estudo apresentam venação acródroma, o que está em concordância com os dados já descritos na literatura para a família (Reis *et al.*, 2004; Rosa, 2017). A quantidade de nervuras secundárias e de nervuras com terminações livres foi avaliada em todas as espécies do estudo. Ao comparar essas características entre as áreas, verificou-se que as espécies da área de restinga apresentaram valores mais elevados para ambas. Pireda *et al.* (2019), ao comparar espécies que ocorrem tanto na restinga quanto na floresta, observaram que as espécies da restinga apresentaram uma maior quantidade de nervuras em comparação às da floresta.

Uma maior quantidade de venação promove uma distribuição mais eficiente de água na folha (Zhang *et al.*, 2018), além de garantir que os estômatos recebam água suficiente para os processos de abertura e fechamento (Murphy *et al.*, 2017).

Os padrões de venação foliar e a densidade das nervuras são características anatômicas importantes intimamente ligadas às mudanças climáticas (Zhang *et al.*, 2018). Os padrões de venação mais densos estão associados a espécies de ambientes com alta irradiância e déficit hídrico, favorecendo a eficiência no transporte hidráulico e a tolerância ao estresse (Sack & Scoffoni, 2013). Em contraste, espécies de sub-bosques apresentam venação menos densa, refletindo adaptações a ambientes sombreados e com maior umidade (Brodrigg *et al.*, 2010). Além disso, a morfologia da venação está intimamente relacionada à eficiência fotossintética, uma vez que influenciam o suprimento de água para os estômatos e a distribuição de carboidratos pelas folhas (Boyce *et al.*, 2009).

Miconia prasina, espécie coocorrente, apresentou diferenças significativas em alguns atributos ao comparar indivíduos da área de restinga e da área de floresta. A densidade estomática foi maior nos indivíduos da área de floresta, refletindo a alta plasticidade dos estômatos, que podem se ajustar às condições ambientais (Xu e Zhou, 2008). O CRAF e a LMA foram maiores na área de restinga, o que é consistente com as condições mais ensolaradas e de menor disponibilidade hídrica desse ambiente. Esse investimento confere à planta maior resistência ao estresse hídrico e proteção ao aparato fotossintético (Keyvan, 2010; Markesteijn *et al.*, 2007). Nos indivíduos da área de restinga, a epiderme e a cutícula adaxial apresentaram maior espessura, outra característica típica desse ambiente. Uma cutícula e epiderme mais espessas estão associadas à resistência a condições de maior exposição solar e menor disponibilidade hídrica (Reginato *et al.*, 2009; Lemos *et al.*, 2020). As variações anatômicas observadas, como o aumento da espessura da epiderme e da cutícula, refletem a variabilidade fenotípica da espécie, favorecendo sua aclimação a diferentes ambientes e possivelmente contribuindo para sua ampla distribuição nessas áreas (Mantuano *et al.*, 2006; Freitas *et al.*, 2024).

Os valores de $\Delta F_v/F_m$ foram mais elevados nos indivíduos da área de restinga em comparação com os indivíduos da área de floresta. Ao comparar

entre as espécies, o $\Delta Fv/Fm$ de *M. prasina* mostrou diferença significativa, sendo superior nos indivíduos da área de restinga. Esses resultados indicam que os indivíduos da área de restinga, embora possuam ajustes para enfrentar condições ambientais limitantes, apresentam uma resposta mais sensível à desidratação severa, evidenciada pela redução mais acentuada da eficiência do fotossistema II, o que sugere uma maior vulnerabilidade à restrição hídrica. Esses achados sugerem que a maior exposição a fatores de estresse nos indivíduos da área de restinga, como alta intensidade luminosa e menor disponibilidade de hídrica, pode ter contribuído para os valores mais elevados de $\Delta Fv/Fm$ (Mielke *et al.*, 2024).

A análise de componentes principais (PCA) evidenciou variações anatômicas entre os indivíduos das áreas de estudo e entre as espécies analisadas, sugerindo seleção de atributos específicos aos ambientes ocupados. A presença de tricomas é uma das características comuns a todas as espécies, exercendo influência mais marcante nos indivíduos da área de floresta. Embora todas as espécies apresentem tricomas, característica típica da família Melastomataceae (Judd, 2009), seu papel varia conforme o ambiente. Em ambiente de restinga, os tricomas podem atuar na proteção contra a perda excessiva de água e radiação intensa, enquanto nos indivíduos da floresta podem contribuir para a defesa contra herbivoria e auxiliar na regulação da umidade na superfície foliar (Karabourniotis *et al.*, 2020; Simplício *et al.*, 2020). A maior influência da área foliar nos indivíduos da área de floresta é um ajuste esperado para esse ambiente. Em ambientes mais úmidos, a maior área foliar fornece vantagens as plantas, como melhor interceptação de irradiância e assimilação fotossintética (Freitas *et al.*, 2024). Os indivíduos da área de restinga apresentaram maior investimento em atributos que conferem resistência à menor disponibilidade hídrica e à maior exposição solar, além de proteção ao aparato fotossintético, como LMA, CRAF, densidade foliar e espessura da cutícula (Keyvan, 2010; Markesteijn *et al.*, 2007; de la Riva *et al.*, 2016; Reginato *et al.*, 2009).

A análise de correlação de atributos revelou que a área de floresta possui um sistema mais integrado, com um total de 115 correlações, enquanto a área de restinga apresentou total de 67 correlações. A forte correlação entre o mesofilo, parênquima paliçádico e lacunoso, encontrada tanto na área de floresta

quanto na área de restinga, destaca a interdependência desses tecidos na otimização do ganho de carbono e da eficiência fotossintética (Schell *et al.*, 2025). A maior integração dos atributos na área de floresta, evidenciada pelo maior número de correlações, sugere uma maior coordenação funcional entre atributos morfoanatômicos e fisiológicos (Sardans & Peñuelas, 2013). No entanto, as correlações negativas entre o CRAF com a densidade foliar, mesofilo e parênquima lacunoso na área de floresta indicam um possível *trade-off* entre retenção de água e densidade foliar (Karabourniotis *et al.*, 2014). Na área de restinga, a menor conectividade entre os atributos sugere uma maior variabilidade, permitindo respostas mais flexíveis às condições ambientais limitantes (Freitas *et al.*, 2024). A relação positiva entre a LMA e a espessura foliar reforça a ideia de que plantas em ambientes mais secos podem investir em folhas mais espessas e densas para melhorar a resistência a menor disponibilidade hídrica. Esses resultados evidenciam que as espécies analisadas apresentam diferentes estratégias em resposta às condições ambientais distintas da área de floresta e da área de restinga. Enquanto os indivíduos da área de floresta exibem características associadas à maximização da captação de luz e eficiência fotossintética, os da área de restinga demonstram ajustes que favorecem a resistência a menos disponibilidade hídrica e à radiação intensa.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo mostram que as espécies de Melastomataceae analisadas apresentam características anatômicas comuns à família, como folhas hipoestomática, epiderme unisseriada, mesofilo dorsiventral e presença de tricomas. A presença de alcaloides foi identificada na maioria das espécies. As diferenças nos atributos anatômicos entre as áreas de floresta e restinga evidenciam ajustes morfoanatômicos às condições ambientais, como maior resistência à seca e à alta irradiância na área de restinga e maior eficiência fotossintética na área de floresta. Algumas características permaneceram constantes entre áreas, indicando possíveis influências genéticas. Estes achados reforçam a importância dos atributos anatômicos na aclimação a ambientes contrastantes e contribuem para o entendimento da ecologia e conservação das espécies estudadas.

Diante dos achados, sugere-se a realização de estudos complementares com amostragem ampliada e a inclusão de outros fatores ambientais, visando aprofundar o entendimento das interações entre estrutura e função nos organismos estudados. Além disso, sugerimos a realização de estudos em condições controladas isolando fatores ambientais específicos, como a disponibilidade de luz, a fim de analisar se as respostas observadas em ambientes naturais são replicadas ao isolar um fator ambiental específico. Este estudo contribui para o entendimento da relação entre os atributos anatômicos e a ocorrência de espécies de Melastomataceae em ambientes distintos. Os dados anatômicos são subsídios para estudos taxonômicos e ampliam o conhecimento sobre a ecologia dessas espécies, os achados apresentados também podem subsidiar futuros estudos sobre a conservação da biodiversidade e a influência das mudanças ambientais na vegetação nativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adedeji, A. A.; Babalola, O. O. Secondary metabolites as plant defensive strategy: a large role for small molecules in the near root region. **Planta**, 252(4), 61. 2020.

Alves, C.A.B.; Targino, A.P.; Arruda, L.V.; Andrade, A.M.F.; Silva, A.C.O.; Santos, H.N.F.; Silva, Cavalcante, M.B. Indicadores etnoclimatológicos preditores de secas e invernos e percepção sobre mudanças climáticas por agricultores das comunidades de Tananduba, mata Limpa e Quati, Guarabira (PB) Nordeste do Brasil. **XIX Encontro Nacional de Geógrafos – 01 a 07 de julho/2018**.

Amirjani, M. R. Effects of drought stress on the alkaloid contents and growth parameters of *Catharanthus roseus*. **J Agric Biol Sci**, 8(11), 745-750. 2013.

Araújo, D. S. D.; Oliveira, R. R. Reserva Biológica Estadual da Praia do Sul (Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro): lista preliminar da flora. **Acta Botânica Brasilica**, 1(2), 83-94. 1988.

Araújo, K. C.; Souza, B. C.; Carvalho, E. C. D.; Freire, R. S.; Teixeira, A. S.; Muniz, C. R. *et al.* The multiple roles of trichomes in two *Croton* species. **Plant, Cell & Environment**, 47, 1685–1700. 2024.

Ben-Shachar, M.; Lüdtke, D.; Makowski, D. *effectsize*: Estimation of Effect Size Indices and Standardized Parameters. **Journal of Open Source Software**, 5(56), 2815. doi:10.21105/joss.02815. 2020.

Berry, Z. C.; Emery, N. C.; Gotsch, S. G.; Goldsmith, G. R. Foliar water uptake: Processes, pathways, and integration into plant water budgets. **Plant Cell Environ.**, 42, 410–423. 2019.

Bhanot, V.; Fadanavis, S. V.; Panwar, J. Revisiting the architecture, biosynthesis and functional aspects of the plant cuticle: There is more scope. **Environmental and Experimental Botany**, 183, 104364. 2021.

Bickford, C. P. Ecophysiology of leaf trichomes. **Functional Plant Biology**, 43, 807-814. 2016.

Blonder, B.; Enquist, B. J. Inferring climate from angiosperm leaf venation networks. **New Phytologist**, 204(1), 116-126. 2014.

Borges, L. P.; Amorim, V. A. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia**, 11(1). 2020.

Boyce, C. K.; Brodribb, T. J.; Feild, T. S.; Zwieniecki, M. A. Angiosperm leaf vein evolution was physiologically and environmentally transformative. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, 276 (1663), 1771-1776. 2009.

Brito-Ramos, A. B.; Almeida-Cortez, J. S.; Alves, M. Caracterização morfológica de minas foliares em espécies de *Melastomataceae* de Mata Atlântica, PE. **Acta Botanica Brasilica**, 24, 599-604. 2010.

Brodribb, T. J.; Feild, T. S.; Sack, L. Viewing leaf structure and evolution from a hydraulic perspective. **Functional Plant Biology**, 37(6), 488-498. 2010.

Callado, C. H.; Bastos, M. P. *O ambiente da Ilha Grande*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 93-146. 2009.

Campoy, J. G.; Lema, M.; Fenollosa, E.; Munné-Bosch, S.; Retuerto, R. Functional responses to climate change may increase invasive potential of *Carpobrotus edulis*. **American Journal of Botany**, 108 (10), 1902-1916. 2021.

Castelar, J. V. S.; Da Cunha, M.; Simioni, P. F.; Castilho, M. F.; Lira-Martins, D.; Giles, A. L. *et al.* Functional traits and water-transport strategies of woody species in an insular environment in a tropical forest. **American Journal of Botany**, 110 (9), e16214. 2023.

Cerqueira, A. F.; Santos, A. S.; de Oliveira Alencar, C.; de Oliveira, G. S.; Santos, C. S.; Schilling, A. C. *et al.* Landscape conservation and maternal environment affect genetic diversity and the physiological responses of *Euterpe edulis* (Arecaceae) progenies to light availability. **Environmental and Experimental Botany**, 194, 104722. 2022.

Chwil, M.; Kostryco, M. Histochemical assays of secretory trichomes and the structure and content of mineral nutrients in *Rubus idaeus* L. leaves. **Protoplasma**, 257(1), 119-139. 2020.

Clerissi, C.; Chaïb, S.; Raviglione, D.; Espiau, B.; Bertrand, C.; Meyer, J. Y. Metabarcoding e metabolômica revelam o efeito da árvore exótica invasora *Miconia calvescens* DC. sobre a diversidade do solo na ilha tropical de Mo'orea (Polinésia Francesa). **Microrganismos**, 11(4), 832. 2023.

Cruz, J. O. Composição Química em Espécies do Gênero *Marcetia* DC. (*Melastomataceae*). **Revista Virtual de Química**, 14(4). 2022.

de Freitas, G. V.; Da Cunha, M.; Vitória, A. P. A systematic review of leaf and wood traits in the Neotropics: environmental gradients and functionality. **Trees**, 38(3), 551-572. 2024.

de la Riva, E. G.; Olmo, M.; Poorter, H.; Ubersa, J. L.; Villar, R. Leaf mass per area (LMA) and its relationship with leaf structure and anatomy in 34 Mediterranean woody species along a water availability gradient. **PloS One**, 11(2), e0148788. 2016.

del Pilar Vilariño, M.; Ravetta, D. A. Tolerance to herbivory in lupin genotypes with different alkaloid concentration: Interspecific differences between *Lupinus albus* L. and *L. angustifolius* L. **Environmental and Experimental Botany**, 63(1-3), 130-136. 2008.

Duarte, M. R.; Lopes, J. F. Leaf and stem morphoanatomy of *Petiveria alliacea*. **Fitoterapia**, 76(7-8), 599-607. 2005.

Esbérard, C. E. L.; Nogueira, T. J.; Luz, J. L.; Melo, G. G. S.; Mangolin, R.; Jucá, N.; Raíces, D. S. L.; Enrici, M. C.; Bergallo, H. Morcegos da Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ, Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zociências**, 8, 147-153. 2006.

Evans, J. R.; Poorter, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell and Environment**, 24, 755–767. 2001.

Fisher, D. B. Protein staining of ribboned epon sections for light microscopy. **Histochemie**, 16, 92-96. 1968.

Fox, J.; Weisberg, S. An R Companion to Applied Regression, Third edition. Sage, Thousand Oaks, CA. 2019.

Fundação SOS Mata Atlântica. SOS Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.sosma.org.br>. Acesso em: 29 out. 2024.

Furr, M.; Mahlberg, P. G. Histochemical analyses of laticifers and glandular trichomes in *Cannabis sativa*. **Journal of Natural Products**, v. 44, p. 153-159, 1981.

Franceschi, V. R.; Nakata, P. A. Calcium oxalate in plants: Formation and function. **Annual Review of Plant Biology**, v. 56, p. 41–71, 2005.

Galvão, M. N.; Pereira, A. C. M.; Gonçalves-Esteves, V.; Esteves, R. L. Palinologia de espécies de Asteraceae de utilidade medicinal para a comunidade da Vila Dois Rios, Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 247-258, 2009.

Gama, S. V. G.; Silva, L. G. A. E.; Salgado, C. M. Geologia, relevo e solos. In: BASTOS, M. P.; Callado, C. H. (Eds.). O ambiente da Ilha Grande. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 93-146, 2009.

Goldenberg, R.; Baumgratz, J. F. A.; Souza, M. L. D. Taxonomia de Melastomataceae no Brasil: retrospectiva, perspectivas e chave de identificação para os gêneros. **Rodriguésia**, v. 63, p. 145-161, 2012.

Goldenberg *et al.* Melastomataceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB161>. Acesso em: 06 dez. 2023.

Gonçales-Silva, R.; De Almeida, O. J. G.; De Souza, L. A. Leaf structural characters of *Leandra* and *Miconia* (Miconieae: Melastomataceae): taxonomic and ecological significance, 2019.

González-Valenzuela, L.; Renard, J.; Depège-Fargeix, N.; Ingram, G. The plant cuticle. *Current Biology*, v. 33, n. 6, p. R210-R214, 2023.

Goulden, M. L.; Miller, S. D.; Da Rocha, H. R.; Menton, M. C.; De Freitas, H. C.; Figueira, A. M. S.; De Sousa, C. A. Diel and seasonal patterns of tropical forest CO₂ exchange. **Ecological Applications**, v. 14, p. 42–54, 2004.

Gvozdevaite, A. The Role of Economic, Venation and Morphological Leaf Traits in Plant and Ecosystem Function along Forest-Savanna Gradients in the Tropics. University of Oxford, 2018.

Hair, J. F. Jr.; Anderson, R. E.; Black, W. C.; Tatham, R. L. *Multivariate Data Analysis*. 4th ed. Prentice Hall, London, UK, 1998.

Henriques, A. T.; Lopes, S. O.; Paranhos, J. T.; Gregianini, T. S.; Von Poser, G. L.; Fett-Neto, A. G.; Schripsema, J. N. β -D-Glucopyranosyl vincosamide, a light regulated indole alkaloid from the shoots of *Psychotria leiocarpa*. **Phytochemistry**, 65, 449-454, 2004.

Herver, M. *RVAideMemoire: Testing and Plotting Procedures for Biostatistics*. R package version 0.9-83-7, 2023. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=RVAideMemoire>.

Iglesias, D. T.; Dutra, V. F. *Melastomataceae na Área de Proteção Ambiental Mestre Álvaro, Serra, Espírito Santo, Brasil*. **Rodriguésia**, 68, 1921-1937, 2017.

Instituto Brasileiro de Florestas. *Mata Atlântica*. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br>. Acesso em: 10 nov. 2024.

IPCC. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, R. K. Pachauri, and L. A. Meyer [eds.]). IPCC, Geneva, Switzerland, 151, 2014.

- Johansen, D. A. *Plant Microtechnique*. McGraw-Hill, New York, 523, 1940.
- Judd, W. S.; Campbell, C. S.; Kellogg, E. A.; Stevens, P. F.; Donoghue, M. J. *Sistemática Vegetal: um enfoque filogenético*. 3 ed. Porto Alegre, Artmed, 2009.
- Karabourniotis, G.; Liakopoulos, G.; Nikolopoulos, D.; Bresta, P.; Stavroulaki, V.; Sumbele, S. “Carbon gain vs. water saving, growth vs. defence”: two dilemmas with soluble phenolics as a joker. **Plant Science**, 227, 21-27, 2014.
- Karabourniotis, G.; Liakopoulos, G.; Nikolopoulos, D.; Bresta, P. Protective and defensive roles of non-glandular trichomes against multiple stresses: structure–function coordination. **Journal of Forestry Research**, 31(1), 1-12, 2020.
- Kassambara, A.; Mundt, F. *factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses*. R package version 1.0.7, 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>.
- Keyvan, S. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *J. Anim. Plant Sci*, 8(3), 1051-1060. 2010.
- Kueffer, C.; Fernández-Palacios, J. M. Pesquisa ecológica comparativa em ilhas oceânicas. *Perspectiva. Planta Eco. Evoluir Sistema*, 12, 81-162. 2010.
- Lemos, V. D. O. T.; Lucena, E. M. P. D.; Bonilla, O. H.; Edson-Chaves, B.; Freitas, M. A. Anatomia ecológica foliar de *Myrcia guianensis* (Aubl.) DC. na Restinga Cearense. **Ciência florestal**, 30, 307-322. 2020.
- Liesenfeld, V.; Gentz, P.; Freitas, E. M.; Martins, S. M. Morphological diversity of foliar trichomes in Asteraceae from Sand-fields of the Pampa biome, Rio Grande do Sul State, Brazil. **Hoehnea**, 46, e752018. 2019.
- Liang, J.; Quan, M.; She, C.; He, A.; Xiang, X.; Cao, F. Effects of drought stress on growth, photosynthesis and alkaloid accumulation of *Lycoris aurea*. **Pak. J. Bot**, 52(4), 1137-1142. 2020.

Lopes, T. M. S. L. S.; Moraes, G. F. Q.; de Cabral Sobreira, A. L.; de Souza, J. B. P. Potencial farmacológico da canela-de-velho (*Miconia albicans*): Uma revisão integrativa. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacêuticas*, 52(1). 2023.

Manão, C. Y. G. Composição Florística e Estrutura da Comunidade Arbóreo-Arbustiva de um trecho de Floresta Submontana na Vertente Sudeste do Parque Estadual da Ilha Grande, Angra dos Reis/RJ. 148 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2011.

Mantuano, D. G.; Barros, C. F.; Scarano, F. R. Leaf anatomy variation within and between three "restinga" populations of *Erythroxylum ovalifolium* Peyr. (Erythroxylaceae) in Southeast Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, 29, 209-215. 2006.

Matsuura, H. N.; Fett-Neto, A. G. The major indole alkaloid N, β -D-glucopyranosyl vincosamide from leaves of *Psychotria leiocarpa* Cham. & Schltld. is not an antifeedant but shows broad antioxidant activity. **Natural Product Research**, 27(4-5), 402-411. 2013.

Markesteyn, L.; Poorter, L.; Bongers, F. Light-dependent leaf trait variation in 43 tropical dry forest tree species. **American Journal of Botany**, 94(4), 515-525. 2007.

Martarelli, T. M. M.; Rodrigues, K. F.; Souza, L. A. D. On the structure of leaf and trichomes, and its bearing on the taxonomy of *Leandra* and *Miconia* (Miconieae, Melastomataceae). **Acta Botanica Brasilica**, 38, 20230206. 2024.

Melo, J. C. F. Jr.; Boeger, M. R. T. Leaf traits and plastic potential of plant species in a light-edaphic gradient from a Restinga in southern Brazil. **Acta Biológica Colombiana**, 21(1), 51–62. 2016.

Metcalf, C. R.; Chalk, L. Anatomy of the dicotyledons. **Oxford, Clarendon Press**. 1950.

Mielke, M. S.; Oliveira, L. A.; dos Santos, M. S.; Pérez-Molina, J. P.; Cerqueira, A. F.; Dalmolin, Â. C.; de Brito, C. R. Photochemical efficiency and lethal leaf dehydration in seedlings of nine tropical tree species. **New Forests**, 55(3), 505-521. 2024.

Müller, A. O.; Franco, A. A.; Ribeiro Júnior, N. G.; Gressler, E.; Rocha, V. L. P.; Silva, I. V. D. Estratégias adaptativas foliares de *Miconia nervosa* (Melastomataceae) na Amazônia Matogrossense. **Rodriguésia**, 71, e01052018. 2020.

Munné-Bosch, S. Spatiotemporal limitations in plant biology research. **Trends in Plant Science**, 27(4), 346-354. 2022.

Murphy, M. R. C.; Dow, G. J.; Jordan, G. J.; Brodribb, T. J. Vein density is independent of epidermal cell size in *Arabidopsis* mutants. **Functional Plant Biology**, 44, 410–418. 2017.

Nakata, P. A. Advances in our understanding of calcium oxalate crystal formation and function in plants. **Plant Science**, 164(6), 901–909. 2003.

Nascimento, S. N.; Mazzei, J. L.; de Freitas Tostes, J. B.; Nakamura, M. J.; Valente, L. M. M.; de Lima, R. C.; Siani, A. C. *Miconia albicans* (Melastomataceae) to treat Chikungunya viral infection: An effectual symptom-driven ethnomedicinal repurposing of an anti-inflammatory species? **Journal of Ethnopharmacology**, 318, 116875. 2024.

Niinemets, Ü.; Kull, K. Leaf structure vs. nutrient relationships vary with soil conditions in temperate shrubs and trees. **Acta Oecologica**, 24, 209–219. 2003.

Nogueira, F. Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) nos municípios do estado do Pará: Uma investigação sobre a dinâmica e políticas de mitigação no período 2000 a 2020. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2023.

Oliveira-Souza, L.; Candido-Fonseca, I.; Gouvêa-Silva, J. G.; Antunes, A. C.; Silva, J. C.; Ramos, Y. Plantas medicinais em áreas urbanas: ferramenta para

abordar a educação em saúde com núcleos familiares. **Revista Internacional de Ciências**, 13(1), 4-21. 2023.

Paiva, E. A. S.; Machado, S. R. Role of intermediary cells in *Peltodon radicans* (Lamiaceae) in the transfer of calcium and formation of calcium oxalate crystals. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 48, 147-153. 2005.

Peguero-Pina, J. J.; Flexas, J.; Galmés, J.; García-Nogales, A.; Gil-Pelegrín, E.; Niinemets, Ü.; Sancho-Knapik, D.; Saz, M. Á.; Sisó, S. Cell-level anatomical characteristics explain high mesophyll conductance and photosynthetic capacity in sclerophyllous Mediterranean oaks. **New Phytologist**, 214, 585–596. 2017.

Pearse, E. Histochemistry, theoretical and applied. 4. ed. Edinburgh, New York, New York: Churchill Livingstone, v. 3. 1980.

Pireda, S.; Oliveira, D. S.; Borges, N. L.; Amaral, G. F.; Barroso, M. L.; Simioni, P.; Vitória, A. P.; Da Cunha, M. Acclimatization capacity of leaf traits of species co-occurring in restinga and seasonal semideciduous forest ecosystems. **Environmental and Experimental Botany**, 164, 190-202. 2019.

Pirasteh-Anosheh, H.; Saed-Moucheshi, A.; Pakniyat, H.; Pessarakli, M. Stomatal responses to drought stress. *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*, 1, 24-40. 2016.

Poorter, H.; Niinemets, Ü.; Poorter, L.; Wright, I. J.; Villar, R. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. **New Phytologist**, 182(3), 565-588. 2009.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

Reflora. Fauna e funga do Brasil. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br>. Acesso em: 12 nov. 2024.

Reginato, M.; Boeger, M. R. T.; Goldenberg, R. Comparative anatomy of the vegetative organs in *Pleiochiton* A. Gray (Melastomataceae), with emphasis on

adaptations to epiphytism. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, 204(10), 782-790. 2009.

Reis, C. D.; Proença, S. L.; Sajo, M. D. G. Vascularização foliar e anatomia do pecíolo de Melastomataceae do cerrado do Estado de São Paulo, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 18, 987-999. 2004.

Reis, C.; Bieras, A. C.; Sajo, M. G. Anatomia foliar de Melastomataceae do Cerrado do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, 28, 451-466. 2005.

Rennenberg, H.; Dannenmann, M.; Gessler, A.; Kreuzwieser, J.; Simon, J.; Papen, H. Nitrogen balance in forest soils: nutritional limitation of plants under climate change stresses. **Plant Biology**, 11(Suppl 1), 4-23. 2009.

Rizzini, C. T. Tratado de Fitogeografia do Brasil. v.1. Edusp/Hucitec, São Paulo. 1976.

Rocha, K. C. D. J.; Goldenberg, R.; Meirelles, J.; Viana, P. L. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Melastomataceae. **Rodriguésia**, 68, 997-1034. 2017.

Rosa, L. P. G. Florística e fitossociologia da Floresta Atlântica Montana no Parque Estadual da Ilha Grande, RJ. 76 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

Rosa, L. P. G. D. Melastomataceae da Ilha Grande, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil: diversidade, taxonomia e correlações com variáveis edáficas. 134 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2017.

Sack, L.; Scoffoni, C. Leaf venation: structure, function, development, evolution, ecology and applications in the past, present and future. **New Phytologist**, 198(4), 983-1000. 2013.

Salgado, C. M.; Vasquez, N. D. Clima. In: Bastos, M. P.; Callado, C. H. (Eds.). O ambiente da Ilha Grande. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 7-20. 2009.

Santana, B. J. G.; Silva, J. P. G.; Marangon, L. C. Morfologia externa de *Miconia prasina* (Sw.) DC. em estágio inicial de desenvolvimento. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, 6(4), 310-316. 2021.

Sardans, J.; Peñuelas, J. Plant–soil interactions in Mediterranean forest and shrublands: impacts of climatic change. **Plant and Soil**, 365, 1–33. 2013.

Schell, V.; Kervroëdan, L.; Depeaux, G.; Delzon, S.; Faucon, M. P. Unravelling the phenotypic plasticity of functional traits in relay-cropping: the case of soybean with winter barley. **Plant and Soil**, 1-18. 2025.

Silva, T. M.; Ferreira, H. D.; Paula, J. R.; Sousa Fiuza, T. Estudo morfoanatômico de *Clidemia hirta* (L.) D. Don. **Research, Society and Development**, 10(7), e1310716159. 2021.

Silva, J. L. A., Souza, A. F., & Vitória, A. P. (2022). Mapping functional tree regions of the Atlantic Forest: how much is left and opportunities for conservation. **Environmental Conservation**, 49(3), 164-171.

Silva, J. L. A., Souza, A. F., & Vitória, A. P. (2021). Historical and current environmental selection on functional traits of trees in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Journal of Vegetation Science**, 32(4), e13049.

Simioni, P.; Campbell, G.; Pinto, V. D.; Castelar, J. V. D. S.; Pessoa, M. J. G.; Silva, I. V. D.; Da Cunha, M. Do anatomical wood traits suggest adjustments in the hydraulic architecture of dominant species in Amazonian savannah? **Plant Biosystems**, 1-12. 2020.

Simplício, V. S.; Guimarães, L. M. S.; Gonçalves, R. C.; Ferraz, H. G. M. Tricomas: defesa ou vulnerabilidade para a planta na interação com microrganismos? **Revista de Agricultura Neotropical**, 7(1), 1-7. 2020.

Soheili, F.; Heydari, M.; Woodward, S.; Naji, H. R. Adaptive mechanism in *Quercus brantii* Lindl. leaves under climatic differentiation: morphological and anatomical traits. **Scientific Reports**, 13, 3580. 2023.

Sousa-Santos, C.; Cerqueira, A. F.; Dalmolin, Â. C.; De Almeida, Á. A.; Dos Santos, M. S.; Avelino, N. R.; Mielke, M. S. Morphophysiological changes in *Genipa americana* seedlings in response to root deformation and substrate attributes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 22 (2), 2755-2764. 2022.

Souza, R. C. O. S.; Marquete, O. *Miconia tristis* Spring e *Miconia doriana* Cogn. (Melastomataceae): anatomia do eixo vegetativo e folhas. **Rodriguésia**, 51 (78-79), 133-142. 2000.

Strittmatter, C. D. Nueva técnica de diafanización. **Bol. Soc. Argent. Bot**, 15, 126-129. 1973.

Sulman, B. N., Roman, D. T., Yi, K. High atmospheric demand for water can limit forest carbon uptake and transpiration as severely as dry soil. **Geophysical Research Letters**, 43(18), 9686–9695. 2016.

Taiyun, W.; Simko, V. R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.92). Disponível em: <https://github.com/taiyun/corrplot>. 2021.

Vianna Filho, M. D.; Manão, C. Y. G.; Bastos, M.; Callado, C. H. Threatened Flora of Ilha Grande, Rio de Janeiro State, Brazil. **Hoehnea**, 47. 2020.

Vital, R. G.; Müller, C.; Freire, F. B. S.; Silva, F. B.; Batista, P. F.; Fuentes, D.; Rodrigues, A. A.; Moura, L. M. F.; Daloso, D. M.; Merchant, A.; Costa, A. C. Metabolic, physiological and anatomical responses of soybean plants under water deficit and high temperature condition. **Scientific Reports**, 12:16467. 2022.

Volk, G. M.; Goss, L. J.; Franceschi, V. R. Calcium channels are involved in calcium oxalate crystal formation in specialized cells of *Pistia stratiotes* L. **Annals of Botany**, 93(6), 741-753. 2004.

Wang, M.; Zheng, Q.; Shen, Q.; Guo, S. The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. **Int. J. Mol. Sci.**, 14, 7370-7390. 2013.

Wang, X.; Shen, C.; Meng, P.; Tan, G.; Lv, L. Analysis and review of trichomes in plants. **BMC Plant Biology**, 21, 1-11. 2021.

Witkowski, E. T. F.; Lamont, B. B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia**, 88, 486-493. 1991.

Wright, I. J.; Reich, P. B.; Westoby, M.; Ackerly, D. D.; Baruch, Z.; Bongers, F.; Villar, R. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, 428(6985), 821-827. 2004.

Xavier, V.; Pireda, S.; da Silva Oliveira, D.; Vitória, A. P.; Da Cunha, M. Leaf and wood functional traits explain the strategies developed by *Byrsonima sericea* (Malpighiaceae) to survive in Atlantic Forest ecosystems under water and light variations. **Flora**, 308, 152386. 2023.

Xu, Z.; Zhou, G. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. **J. Exp. Bot.**, 59, 3317–3325. 2008.

Yadav, B.; Jogawat, A.; Rahman, M. S.; Narayan, O. P. Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: a review. **Gene Rep.**, 23, 101040. 2021.

Yeshi, K.; Crayn, D.; Ritmejeriytė, E.; Wangchuk, P. Plant Secondary Metabolites Produced in Response to Abiotic Stresses Has Potential Application in Pharmaceutical Product Development. **Molecules**, 27, 313. 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27010313>

Zampieri, M. C. T.; Sarkis, J. E.; Pestana, R. C.; Tavares, A. R.; Melo-de-Pinna, G. F. Characterization of *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cong. (Melastomataceae) as a biomonitor of air pollution and quantification of particulate matter adsorbed by leaves. **Ecological Engineering**, 61, 316-327. 2013.

Zhang, L.; Yang, J.; Huang, Y.; Jia, Z.; Fang, Y. Leaf venation variation and phenotypic plasticity in response to environmental heterogeneity in *Parrotia*

subaequalis (H.T. Chang) R.M. Hao et H.T. Wei, an endemic and endangered tree species from China. **Forests**, 9, 247. 2018.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela 4 - Parâmetros edafoclimáticos das áreas de estudo.

Parâmetros do Edafoclimáticos	Área				Valor de P
	Restinga		Floresta		
	Média	DP	Média	DP	
Temperatura atmosférica (°C)	24.2911	1.6151	23.3442	0.5056	0.2593
Umidade atmosférica (g/m ³)	70.6120	2.1504	72.6423	1.1419	0.09732
Radiação (μmol m ⁻² s ⁻¹)	3.2603	5.0625	0.5683	0.8258	0.02966 *
Temperatura do solo (°C)	25.2871	1.4352	23.4400	1.5646	0.08248
Condutividade Elétrica (S.m ⁻¹)	1761.5250	595.6742	1368.2031	463.2071	0.09633
Argila (g/dm ³)	117.6224	70.6456	310.8687	72.9688	0.001166 *
Silte (g/dm ³)	103.3061	70.5378	180.8952	29.2786	0.01107 *
pH	4.8816	0.1042	4.7878	0.1959	0.1079
S.SO ⁴ (mg/dm ³)	2.8673	1.5781	6.7490	4.0991	0.05502
P (mg/dm ³)	14.7551	17.5085	3.2565	1.2154	0.401
K (mmolc/dm ³)	0.5745	0.0600	1.2314	0.0744	0.002141 *
Ca (mmolc/dm ³)	4.8571	1.3701	12.0444	7.2409	0.002331 *
Mg (mmolc/dm ³)	1.9949	0.4853	6.8174	2.4877	0.0005828 *
Al (mmolc/dm ³)	5.8204	1.6169	7.1567	2.3813	0.2086
H.Al (mmolc/dm ³)	37.1684	6.6835	59.6846	5.7629	0.0005828 *
Na (mmolc/dm ³)	0.5878	0.0524	0.5539	0.2401	0.561
C (g/dm ³)	15.7510	1.6250	20.2618	2.5392	0.004079 *
MO (g/dm ³)	27.1567	2.8002	34.9324	4.3781	0.004079 *
CTC (mg/dm ³)	45.4337	6.7774	80.3316	9.4824	0.0005828 *
SB (mg/dm ³)	8.0143	1.6476	20.6471	9.6614	0.002141 *
V (%)	18.3980	5.0427	24.8537	8.6278	0.09732
m (%)	42.5816	9.5071	29.2714	12.4857	0.05303
ISNa (%)	1.3265	0.3164	0.7762	0.2898	0.01393 *
Fe (mg/dm ³)	72.7486	29.3845	118.5437	24.3191	0.01107 *
Cu (mg/dm ³)	1.1218	1.1249	0.4157	0.3228	0.1282
Zn (mg/dm ³)	4.8237	4.2892	2.5468	1.2552	0.9015
Mn (mg/dm ³)	8.3733	3.4028	11.9393	3.9535	0.1282

B (mg/dm ³)	0.2121	0.0396	0.2402	0.0547	0.4057
-------------------------	--------	--------	--------	--------	--------

* Representa uma diferença significativa com um intervalo de confiança de 95% (p); MO: Matéria orgânica; CTC: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; SB: Soma de bases trocáveis; V: Índice de saturação de bases; m: Índice de saturação de alumínio; ISNa: Índice de saturação de sódio.

Tabela 5 - Atributos mensurados de todas as espécies de estudo, na área de restinga e na floresta.

Atributos	Restinga		Floresta		p
	Média	DP	Média	DP	
Área foliar (cm ²)	55.773 8	41.687 9	161.723 5	110.827 1	0.000161 5*
Espessura foliar (mm)	0.0236	0.0058	0.1623	0.0252	0.6937
CRAF (g.m ⁻²)	229.75	61.518 9	204.753 6	72.1549	0.01064*
LMA (g/m ²)	71.03	30.745 0	48.3071	7.8391	0.008598*
DEN (mg/mm ³)	398.43	81.915 3	314.814 5	68.3160	0.001339*
Espessura do mesófilo (µm)	90.74	35.192 5	81.8777	24.8214	0.5553
Espessura do parênquima paliçádico (µm)	47.79	23.559 1	37.6209	9.4450	0.1776
Espessura do parênquima lacunoso (µm)	42.11	15.038 1	43.8641	16.5519	0.7683
Espessura da epiderme adaxial (µm)	10.60	2.3270	10.4134	5.9470	0.2154
Espessura da epiderme abaxial (µm)	5.61	1.9176	4.5957	1.2752	0.1107
Espessura da cutícula adaxial (µm)	3.44	1.2550	1.8223	0.3039	<0.001*
Espessura da cutícula abaxial (µm)	1.30	0.2875	1.1524	0.2560	0.145
Nervura secundária (mm ⁻²)	23.71	4.5443	18.2000	4.4267	<0.001*
Nervura com terminações livres (mm ⁻²)	11.46	2.9753	6.2158	2.0006	<0.001*
Frequência de cristais (mm ⁻²)	19.90	14.905 1	15.7158	7.3467	0.7553
Densidade estomática (mm ⁻²)	92.05	14.249 5	126.263 2	30.7839	0.000174 7*
Tamanho dos estômatos (µm)	9.05	2.5517	7.4004	2.2848	0.03463*

Tricoma Tector Aba (μm^2)	1.26	1.4086	5.0842	6.3464	0.01424*
Tricoma Glandular Aba (μm^2)	2.86	1.0995	3.0421	1.7595	0.03582*
Tricoma Tector Ada (μm^2)	0.44	0.6054	0.4211	0.5073	0.9866
Tricoma Glandular Ada (μm^2)	1.15	0.5288	0.5789	0.8189	0.02936*
$\Delta Fv/Fm$	0.30	0.0832	0.0340	0.1413	<0.001*

* Representa uma diferença significativa com um intervalo de confiança de 95% (p);
 CRAF: Conteúdo relativo de água na folha; LMA: Massa foliar por unidade de área;
 DEN: Densidade.