

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA EVOLUTIVA
(ASSOCIAÇÃO AMPLA ENTRE UEPG E UNICENTRO)

KAMILA GRZEBIELUCKA

AVALIAÇÃO DA COMUNIDADE AQUÁTICA E ADAPTABILIDADE DE *Wittrockia*
cyathiformis (Vell.) LEME EM FITOFISIONOMIAS DA MATA ATLÂNTICA DO
PARANÁ

PONTA GROSSA

2023

KAMILA GRZEBIELUCKA

AVALIAÇÃO DA COMUNIDADE AQUÁTICA E ADAPTABILIDADE DE *Wittrockia*
cyathiformis (Vell.) LEME EM FITOFISIONOMIAS DA MATA ATLÂNTICA DO
PARANÁ

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Biologia Evolutiva da Universidade Estadual de Ponta Grossa em associação com a Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Ciências Biológicas (Área de concentração de Biologia Evolutiva).

Orientadora: Profa. Dra. Rosângela Capuano Tardivo

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Micali Nuvoloni

PONTA GROSSA

2023

G895 Grzebielucka, Kamila
Avaliação da comunidade aquática e adaptabilidade de *Wittrockia cyathiformis* (Vell.) Leme em fitofisionomias da Mata Atlântica do Paraná / Kamila Grzebielucka. Ponta Grossa, 2023.
110 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Área de Concentração: Biologia Evolutiva), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Rosângela Capuano Tardivo.
Coorientador: Prof. Dr. Felipe Micali Nuvoloni.

1. Ecologia aquática. 2. Formações florestais. 3. Invertebrados. 4. Morfometria foliar. I. Tardivo, Rosângela Capuano. II. Nuvoloni, Felipe Micali. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Biologia Evolutiva. IV.T.

CDD: 580



Programa de Pós-Graduação em Biologia Evolutiva

Associação Ampla entre a Universidade Estadual de Ponta Grossa (Departamento de Biologia Estrutural, Molecular e Genética) e a Universidade Estadual do Centro Oeste (Departamento de Ciências Biológicas)



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº. 04/2023

Ata referente a Defesa de Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Evolutiva, uma Associação Ampla entre a Universidade Estadual de Ponta Grossa e a Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela candidata Kamila Grzebielucka. Aos 31 dias de outubro de 2023, via remota, forma síncrona, sob a presidência da Profa Dra Rosângela Capuano Tardivo em sessão pública, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado da aluna **Kamila Grzebielucka**, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Área de concentração em Biologia Evolutiva, constituída por: Profa Dra Ana Lúcia Suriani Affonso (UNICENTRO), Prof. Dr. Gustavo Henrique Zaia Alves (UEPG), Profa. Dra. Rafaela Lopes Falaschi (UEPG) – suplente, atestada pela colenda Congregação do Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, área de concentração em Biologia Evolutiva. Iniciados os trabalhos, a presidência deu conhecimento aos membros da Comissão e a candidata das normas que regem a defesa de Dissertação. A seguir a candidata passou a defesa da sua Dissertação intitulada: “Avaliação da comunidade aquática e adaptabilidade de *Wittrockia cyathiformis* (Vell.) Leme em fitofisionomias da Mata Atlântica do Paraná”. Encerrada a defesa, procedeu-se ao julgamento e a Comissão Examinadora considerou a candidata **APROVADA**. A Presidência ressaltou que a obtenção do título de Mestre está condicionada ao disposto da atual aprovação de outorga do Título de Mestre em Ciências Biológicas, Área de concentração em Biologia Evolutiva, **com validade de sessenta dias**; assim como comprovante de depósito da versão definitiva e corrigida na biblioteca da IES **até o prazo máximo de 90 dias após a defesa**; o não depósito da versão definitiva da Dissertação, anulará toda possibilidade de outorga definitiva do Título, recebimento de Certidão e outros documentos, bem como a solicitação do Diploma.

Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Alteração de Título: sim ☐ não ☒

Ponta Grossa, 31 de outubro de 2023

Profa Dra Rosângela Capuano Tardivo (PPG-BioEvol/UEPG)

Prof. Dra Ana Lúcia Suriani Affonso (UNICENTRO)

Prof. Dr. Gustavo Henrique Zaia Alves (UEPG)


gov.br
Documento assinado digitalmente
ANA LUCIA SURIANI AFFONSO
Data: 08/11/2023 10:55:17-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>



Dedico a todos, que assim como eu, amam e admiram a natureza.

AGRADECIMENTOS

Durante estes dois anos eu fiquei totalmente imersa na elaboração deste trabalho, o convívio com outras pessoas foi essencial para o meu crescimento pessoal e profissional. Muitas pessoas incríveis colaboraram para a realização desta pesquisa, a todas elas meus mais sinceros agradecimentos.

Aos meus pais: Maricleia e Helio, por todo o apoio, incentivo, paciência e respeito. Vocês sempre estiveram presentes, sem vocês nada disso seria possível. Amo vocês.

À Professora Rosângela Capuano Tardivo (UEPG), pela orientação, oportunidade oferecida e confiança depositada em mim, pelas saídas de campo e partilha de conhecimentos, obrigada por todo o suporte, paciência e dedicação ao longo do trabalho.

Ao Professor Felipe Micali Nuvoloni (UFSB) pela coorientação que mesmo morando longe contribuiu muito com este trabalho, seu auxílio foi fundamental, sempre com relevantes ideias e disposto a ajudar.

Ao Leonardo, meu namorado e companheiro que tanto contribuiu nas coletas de campo, se não fosse por você, muitas delas não seriam possíveis. Obrigada pelas revisões do texto, por ouvir minhas reclamações e divagações sobre a pesquisa, pelo apoio, incentivo e compreensão, principalmente quando precisava me isolar para focar na escrita. Até nos momentos mais difíceis, você nunca me deixou desistir.

A Rafaela Lopes Falaschi, foi como uma orientadora, obrigada pelas horas comigo em laboratório, pela empolgação com meu trabalho e incentivo para que eu criasse os invertebrados, pelos livros emprestados, por me ensinar a etiquetar as amostras, por me ajudar nas identificações e na procura por especialistas dos diversos grupos taxonômicos. Enfim, você me auxiliou de diversas formas, sua presença foi fundamental para a realização dessa pesquisa e sou imensamente grata.

Ao Samuel, colega de turma e laboratório, sempre disposto a ajudar, me ensinou a utilizar os equipamentos do LABGEV, a dissecar mosquitos e preparar larvas para a montagem de lâminas, obrigada pela amizade e conversas que deixavam o dia a dia mais leve.

Ao Augusto L. Ferreira Jr., pelas conversas, incentivo, e por toda a ajuda, obrigada também, pelas horas dedicadas à identificação dos Gastropoda. Pode contar comigo sempre que precisar.

Aos meus amigos que foram fundamentais ao longo dessa trajetória acadêmica: Renan, Leon, Erika, Yohana e Mateus.

Agradeço também a Tainá Jardim da UFSB, me auxiliou nas análises de uso e ocupação do solo, com sua experiência, tornou o procedimento mais rápido.

Aos funcionários da UEPG, a técnica do laboratório de morfoanatomia vegetal, a Lu, e o Zé técnico do herbário, me ajudaram sempre que eu precisei. E a motorista da UEPG, Luana, que deixou as saídas de campo divertidas com sua simpatia e conversas.

Obrigada a todos os especialistas, de diversas instituições, pelas identificações realizadas e partilha de conhecimentos: Augusto Ferreira Jr, Julia da Silva Pereira, Gabrielle Jorge, César Benetti, Livia Fusari, Ulisses Gaspar Neiss, Mírian Morales, Danilo Cordeiro, Augusto Henrique, Maycon Neves, Maria Santarém, Luiz Carlos de Pinho, Dalton Amorim, Igor Correia, Janine Arruda, Adolfo Calor, Erminda Couto, Diogo Silva Vilela, Simeão Moraes, Kimberly Marta, Patricia Thyssen e Caio Corrêa.

A todos os professores que passaram pela minha vida e que foram responsáveis pela minha formação profissional e pessoal, principalmente aos professores do Programa de Pós-Graduação (PPG) em Biologia Evolutiva da Universidade Estadual de Ponta Grossa e Unicentro.

Ao Professor Mateus Henrique Santos pelas ótimas aulas, pelos elogios que, mesmo que você não saiba, me incentivaram a continuar e ver que sou capaz. Também obrigada por compartilhar comigo o curso do Software R.

Ao Laboratório de Genética e Evolução (LAGEV) e ao Complexo de Laboratórios Multiusuários da UEPG (C-LABMU) por toda a estrutura e apoio para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET), Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e WorldClim pelos dados meteorológicos concedidos.

Ao Instituto Água e Terra (IAT) do Paraná pela licença de pesquisa.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Herbário (HUPG), pelo transporte e apoio para a realização das coletas em campo.

“Nenhum homem pode banhar-se duas vezes no mesmo rio...
pois na segunda vez o rio já não é o mesmo, nem tão pouco o homem.”
(Heráclito de Éfeso)

“E vou dizer a quem quiser me encontrar, existe um Pico lá na Serra do Mar, seu nome é o
imponente Olimpo... meu lar, lugar onde eu deixei ficar, o meu coração.”
(Dálio Zippin Neto)

RESUMO

A Mata Atlântica brasileira é amplamente reconhecida como uma região de grande biodiversidade. Dentro dessa riqueza biológica, a família Bromeliaceae desempenha um papel significativo, tanto em termos de espécies endêmicas quanto como amplificadoras da biodiversidade. Dentre as promotoras de diversidade estão as bromélias-tanque, assim denominadas, devido à disposição espiralada e imbricada de suas folhas, que resulta no acúmulo de água e detritos, criando um ambiente aquático denominado fitotelmo. Este estudo concentra-se em *Wittrockia cyathiformis*, uma bromélia-tanque endêmica do Brasil e exclusiva da Mata Atlântica. As diferentes tipologias florestais que compõem a Mata Atlântica, como a Floresta Ombrófila Mista (FOM) e a Floresta Ombrófila Densa (FOD), oferecem um contexto interessante para investigar a variação fenotípica de *W. cyathiformis* e sua comunidade aquática associada. No primeiro capítulo, foram exploradas as variações fenotípicas de *W. cyathiformis* em relação aos hábitos de vida e aos tipos de floresta. Os resultados indicam que os hábitos de vida da planta não causam variações fenotípicas significativas, exceto pelo comprimento da bainha foliar, que é maior em epífitas. Por outro lado, entre as tipologias florestais as bromélias apresentam padrões fenotípicos distintos influenciados pelas condições bioclimáticas. Essa plasticidade fenotípica pode auxiliar na adaptação da espécie a condições ambientais variáveis, mas a perda e fragmentação contínuas da Mata Atlântica exigem medidas de conservação para a persistência da espécie. No segundo capítulo, realizamos uma análise comparativa da diversidade e composição da comunidade de macroinvertebrados aquáticos nas bromélias-tanque entre as tipologias florestais. Identificamos quatro fatores interligados que influenciam a estrutura dessa comunidade: características físico-químicas relacionadas à bromélia; variáveis bioclimáticas locais (relacionadas à Teoria de nicho); distância geográfica (relacionada à Teoria Neutra) e a preservação de fragmentos florestais. Nessa pesquisa encontramos 10.626 espécimes categorizados em 105 táxons. Evidenciamos que a FOD apresenta a maior riqueza de espécies e as diferentes tipologias florestais possuem distintas composições comunitárias entre os fitotelmos bromelícolas. Nesse capítulo, verificamos que a diversidade e a composição da comunidade aquática em bromélias são regidas por fatores interdependentes, corroborando nossa hipótese inicial. Como segundo fator preponderante para a riqueza, as matrizes de uso e ocupação do solo, distância geográfica e clima foram mais relevantes que aspectos relacionados à bromélia. Portanto, sugerimos que estudos futuros com fitotelmos bromelícolas considerem esses fatores para uma compreensão mais abrangente desse micro ecossistema. Os resultados desta pesquisa contribuem com dados quantitativos e qualitativos sobre *W. cyathiformis* e sua fauna associada na Mata Atlântica. Uma nova espécie de *Elpidium* sp. (Ostracoda) foi registrada em cada tipo de floresta, assim como duas novas ocorrências de espécies de Gastropoda no estado do Paraná. Portanto, nossos resultados enfatizam a importância fundamental da preservação da Mata Atlântica e dos microssistemas bromelícolas.

Palavras-chave: Ecologia aquática. Formações florestais. invertebrados. Morfometria foliar.

ABSTRACT

The Brazilian Atlantic Forest is widely recognized as a region of high biodiversity. Within this biological richness, the Bromeliaceae family plays a significant role, both in terms of endemic species and as biodiversity enhancers. Among the diversity promoters are tank bromeliads, so named due to the spiral and imbricate arrangement of their leaves, resulting in the accumulation of water and debris, creating an aquatic environment known as a phytotelm. This study focuses on *Wittrockia cyathiformis*, a tank bromeliad endemic to Brazil and exclusive to the Atlantic Forest. The different forest typologies that make up the Atlantic Forest, such as Mixed Ombrophilous Forest (MOF) and Dense Ombrophilous Forest (DOF), offer an interesting context to investigate the phenotypic variation of *W. cyathiformis* and its associated aquatic community. In the first chapter, we explored the phenotypic variations of *W. cyathiformis* in relation to lifestyle habits and forest types. The results indicate that the plant's lifestyle habits do not cause significant phenotypic variations, except for the length of the leaf sheath, which is greater in epiphytes. On the other hand, among forest typologies, bromeliads exhibit distinct phenotypic patterns influenced by bioclimatic conditions. This phenotypic plasticity may assist in the species' adaptation to variable environmental conditions, but the ongoing loss and fragmentation of the Atlantic Forest require conservation measures for the species' persistence. In the second chapter, we conducted a comparative analysis of the diversity and composition of the aquatic macroinvertebrate community in tank bromeliads between forest typologies. We identified four interconnected factors influencing the structure of this community: physical-chemical characteristics related to the bromeliad; local bioclimatic variables (related to Niche Theory); geographic distance (related to Neutral Theory); and the preservation of forest fragments. In this research, we found 10,626 specimens categorized into 105 taxa. We highlighted that DOF presents the highest species richness, and different forest typologies have distinct community compositions among bromeliad phytotelmata. In this chapter, we verified that the diversity and composition of the aquatic community in bromeliads are governed by interdependent factors, supporting our initial hypothesis. As a second predominant factor for richness, land-use matrices, geographic distance, and climate were more relevant than aspects related to the bromeliad. Therefore, we suggest that future studies on bromeliad phytotelmata consider these factors for a more comprehensive understanding of this microecosystem. The results of this research contribute quantitative and qualitative data on *W. cyathiformis* and its associated fauna in the Atlantic Forest. A new species of *Elpidium* sp. (Ostracoda) was recorded in each forest type, as well as two new occurrences of Gastropoda species in the state of Paraná. Thus, our results emphasize the fundamental importance of preserving the Atlantic Forest and bromeliad microecosystems.

Keywords: Aquatic ecology. Forest formations. Invertebrates. Leaf morphometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 –	<i>Wittrockia cyathiformis</i> . A – Inflorescência exserta, brácteas róseas à vermelho-escuro e sépalas estreitamente triangulares, levemente assimétricas e acuminadas; B – Fitotelmo em sua roseta infundibuliforme e espinhos ao longo da margem foliar de um exemplar rupícola; C – Exemplar epífita em FOM com longas folhas estreitas; D – Exemplar epífita em FOD, com inflorescência, e brácteas em formato de taça, também se observa lâminas foliares largas e marmorizadas com manchas verde-escuras em toda a extensão.....	20
Figura 3.1 –	Áreas de estudo, suas respectivas fitofisionomias de Floresta Ombrófila Mista na Unidade de Conservação Parque Nacional dos Campos Gerais (PR) e exemplares de <i>Wittrockia cyathiformis</i> de cada Fragmento Florestal. A, B e C – Vale dos Tucanos; D, E e F – Cachoeira da Mariquinha; G, H e I – Canyon São Jorge.....	29
Figura 3.2 –	Áreas de estudo, suas respectivas fitofisionomias de Floresta Ombrófila Densa na região da Serra do Mar Paranaense e exemplares de <i>Wittrockia cyathiformis</i> de cada Fragmento Florestal. A, B e C – Parque Estadual Pico do Marumbi; D, E e F – Morro Anhangava do Parque Estadual Serra da Baitaca.....	30
Figura 3.3 –	Criação de macroinvertebrados aquáticos dos fitotelmos de <i>Wittrockia cyathiformis</i> . A – Criação de Odonata; B – Terrário de Odonata; C – Larva de <i>Homeoura chelifera</i> (Selys, 1876) (Odonata) no terrário; D – Diversos invertebrados aquáticos, principalmente larvas, criadas em potes de 100 ml; E – Larva de <i>Phylloicus</i> sp. (Müller, 1880) (Trichoptera) em seu casulo ao fundo do criadouro; F – Pupa de <i>Scirtes</i> sp. (Illiger, 1807) (Coleoptera).....	35
Figura 4.1 –	<i>Wittrockia cyathiformis</i> . A – Exemplar epífita em FOM de lâminas foliares estreitas, com inflorescência e brácteas que configuram um formato de taça; B – Exemplar epífita em FOD onde se observa lâminas foliares largas e marmorizadas com manchas verde-escuras em toda a extensão.....	41
Figura 4.2 –	Áreas de estudo nos fragmentos florestais da Mata Atlântica do Paraná. À esquerda estão situados os pontos de coleta em Floresta Ombrófila Mista e à direita os locais amostrados em Floresta Ombrófila Densa.....	42

Figura 4.3 –	Parâmetros morfométricos analisados em <i>Wittrockia cyathiformis</i>	45
Figura 4.4 –	<i>Violin plot</i> do comprimento da bainha foliar de <i>Wittrockia cyathiformis</i> entre seus hábitos de vida epífita, rupícola e terrestre.....	49
Figura 4.5 –	<i>Violin plots</i> (A–I) dos parâmetros morfométricos de <i>Wittrockia cyathiformis</i> entre Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Ombrófila Mista (FOM).....	50
Figura 4.6 –	Análise de componentes principais (PCA) correspondente aos dados de parâmetros morfométricos de <i>Wittrockia cyathiformis</i> (n = 35). A – Ordenação das variáveis morfométricas com base nos diferentes hábitos de vida (epífita, rupícola e terrestre). B – Ordenação das variáveis morfométricas com base nas diferentes tipologias florestais (FOM e FOD).....	52
Figura 4.7 –	Tricomas peltados absorventes das bainhas foliares em sua face adaxial, de <i>Wittrockia cyathiformis</i> sob as formas de vida epífita, rupícola e terrestre, entre Floresta ombrófila Densa e Mista no Paraná (BR) fotografados em microscópio eletrônico de varredura. A, B – Parque Estadual da Graciosa; C, D – Parque Estadual de Vila Velha; E, F – Parque Estadual Serra da Baitaca, destacado em vermelho estão as células centrais do disco discerníveis em relação a ala; G – Vale dos Tucanos (PARNA), em vermelho destaca-se os sinais de desidratação na ala; I – Parque Estadual Pico do Marumbi; J - Parque Estadual Serra da Baitaca.....	54
Figura 4.8 –	Regiões de coleta dos fitotelmos de <i>Wittrockia cyathiformis</i> no Estado do Paraná, Brasil.....	64
Figura 4.9 –	<i>Violin plots</i> da abundância (A) e riqueza (B) de espécies de macroinvertebrados aquáticos do fitotelmo de <i>Wittrockia cyathiformis</i> entre tipologias florestais da Mata Atlântica no Paraná.....	69
Figura 4.10 –	Análise de rarefação com base no tamanho da amostra (linhas sólidas) e extrapolação (linhas tracejadas) com intervalos de confiança de 95% para q = 0; q = 1; e q = 2 para as tipologias Florestais estudadas.....	75
Figura 4.11 –	Beta diversidade de macroinvertebrados aquáticos do fitotelmo de <i>Wittrockia cyathiformis</i> entre tipologias e fragmentos florestais da Mata Atlântica no Paraná.....	76

Figura 4.12 –	Análise de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) para visualizar a dissimilaridade da composição da comunidade aquática de <i>Wittrockia cyathiformis</i> entre fragmentos florestais (A) e tipologias florestais (B).....	77
Figura 4.13 –	Categorias com as maiores taxas de ocupação e uso do solo nos locais amostrados no Paraná, Brasil.....	78
Figura 4.14 –	Diagrama de Venn ilustrando a explicação exclusiva e compartilhada ($p < 0,05$) dos fatores que influenciam na composição (A) e riqueza (B) de macroinvertebrados aquáticos em <i>Wittrockia cyathiformis</i> no Paraná.....	81
Figura 4.15 –	Efeito das variáveis preditoras mais significativas sobre a riqueza de espécies.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 –	Locais, tipologias florestais, número de amostras (N) e número tomo das exsicatas depositadas no Herbário da Universidade Estadual de Ponta Grossa, para avaliação da plasticidade fenotípica de <i>Wittrockia cyathiformis</i>	44
Tabela 4.2 –	Comparação dos parâmetros morfométricos de <i>Wittrockia cyathiformis</i> entre Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Ombrófila Mista (FOM), e entre seus hábitos de vida epífita, rupícola e terrestre.....	48
Tabela 4.3 –	Correlação entre as variáveis bioclimáticas e variáveis morfométricas de <i>Wittrockia cyathiformis</i> no Paraná. Na tabela são apresentados os valores de r, indicados em negrito aqueles com $p < 0,05$	55
Tabela 4.4 –	Lista de macroinvertebrados aquáticos associados ao fitotelmo de <i>Wittrockia cyathiformis</i> em fragmentos florestais no Paraná e suas respectivas abundâncias.....	70
Tabela 4.5 –	Lista de espécies indicadoras nas comunidades de macroinvertebrados aquáticos em fitotelmos de <i>Wittrockia cyathiformis</i> em Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa no Paraná de acordo com o teste <i>Indicspecies</i> (stat: valor do <i>indicspecies</i> que descreve o grau de indicador de cada espécie).....	79

LISTA DE SIGLAS

CPOM	Matéria orgânica particulada grossa
DB	Diversidade beta
EOO	Extensão de ocorrência
FAA	Formalina, ácido acético e álcool etílico
FD-ANG	Parque Estadual Serra da Baitaca
FD-MRB	Parque Estadual Pico do Marumbi
FM-MQ	Cachoeira da Mariquinha
FM-SJ	Canyon São Jorge
FM-VT	Vale dos Tucanos
FOD	Floresta Ombrófila Densa
FOM	Floresta Ombrófila Mista
FPOM	Matéria orgânica particulada fina
IAT	Instituto Água e Terra
ID	Identificação
PARNA	Parque Nacional dos Campos Gerais
PE	Parque Estadual
PF	Plasticidade fenotípica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1.1	BIOMA MATA ATLÂNTICA.....	16
1.2	BROMELIACEAE E <i>Wittrockia cyathiformis</i> (Vell.) LEME.....	18
1.3	PLASTICIDADE FENOTÍPICA.....	20
1.3.1	Ecofisiologia de Bromeliaceae.....	22
1.4	FITOTELMO BROMELÍCOLA.....	23
2	OBJETIVOS.....	26
2.1	OBJETIVO GERAL.....	26
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1	ÁREAS DE ESTUDO PARA COLETA DE FITOTELMOS.....	27
3.2	PROCEDIMENTO AMOSTRAL.....	32
3.2.1	Plasticidade fenotípica da Bromeliaceae.....	32
3.2.2	Fitotelmo.....	33
3.2.2.1	Identificação de macroinvertebrados.....	36
3.2.2.2	Procedimentos necessários para a identificação.....	36
4	RESULTADOS.....	38
4.1	ARTIGO 1: DIFERENTES TIPOLOGIAS FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA REVELAM A PLASTICIDADE FENOTÍPICA EM UMA ESPÉCIE ENDÊMICA DE BROMÉLIA.....	38
4.1.1	Introdução.....	38
4.1.2	Material e métodos.....	41
4.1.2.1	Caracterização da espécie.....	41
4.1.2.2	Áreas de estudo.....	42
4.1.2.3	Delineamento amostral.....	43
4.1.2.4	Características avaliadas.....	44
4.1.2.5	<i>Status</i> de conservação.....	46
4.1.2.6	Análise estatística.....	46
4.1.3	Resultados.....	47
4.1.3.1	Variação fenotípica.....	47
4.1.3.2	Tricomas peltados absorventes.....	54

4.1.3.3	Influência da variação climática.....	54
4.1.4	Discussão.....	56
4.1.5	Conclusão.....	59
4.2	ARTIGO 2: ENTRELACANDO NICHOS, DISTÂNCIA, CLIMA E CONSERVAÇÃO: ESTUDO DA METACOMUNIDADE FITOTÉLMICA DE BROMÉLIAS NA MATA ATLÂNTICA	60
4.2.1	Introdução.....	61
4.2.2	Material e métodos.....	63
4.2.2.1	Áreas de estudo.....	63
4.2.2.2	Procedimento amostral.....	65
4.2.2.3	Identificação de macroinvertebrados aquáticos.....	66
4.2.2.4	Clima, uso e ocupação do solo.....	66
4.2.2.5	Tratamento estatístico.....	67
4.2.3	Resultados.....	69
4.2.3.1	Composição, riqueza e abundância de macroinvertebrados.....	69
4.2.3.2	Variação espacial da metacomunidade.....	75
4.2.3.3	Uso do solo e espécies indicadoras das tipologias florestais.....	78
4.2.3.4	Variáveis que influenciam na estrutura da metacomunidade.....	79
4.2.4	Discussão.....	82
4.2.5	Conclusão.....	88
	REFERÊNCIAS.....	89
	APÊNDICE A - LOCAIS E MESES DE COLETA DE FITOTELMOS EM <i>Wittrockia cyathiformis</i> DURANTE O ANO DE 2022.....	108
	APÊNDICE B - ESPECIALISTAS CONTATADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE EXEMPLARES DE MACROINVERTEBRADOS AQUÁTICOS.....	108
	APÊNDICE C - COMPARAÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS ENTRE FLORESTA OMBRÓFILA Densa (FOD) E FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (FOM) NO PARANÁ.....	109
	APÊNDICE D - MATRIZES PREDITORAS E RESPECTIVAS VARIÁVEIS CONSIDERADAS.....	110

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 BIOMA MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica está distribuída ao longo da costa atlântica do Brasil, do Nordeste ao Sul, abrangendo 17 estados. Originalmente, ocupava inteiramente três Unidades Federativas: Espírito Santo, Rio de Janeiro, Santa Catarina e 98% do Paraná (CAMPANILI; PROCHNOW, 2006; IBGE, 2012). Dentre os ecossistemas terrestres brasileiros, a Mata Atlântica é o terceiro maior bioma, no passado, ela totalizava aproximadamente 1.350.000 Km² do território nacional, mas atualmente, entre 8,1 % (MITTERMEIER *et al.*, 2005; CONSERVATION.ORG, 2023) a 12,4% (INPE, 2022) da sua superfície original detém remanescentes florestais ainda intactos.

Atualmente, a maior parte remanescente desse bioma permanece em pequenos fragmentos menores que 100 hectares, geralmente isolados uns dos outros e em estágios iniciais a médios de sucessão (RIBEIRO *et al.*, 2009). Os remanescentes ainda conservados estão geralmente associados à Unidades de conservação de proteção integral, propriedades particulares e locais de difícil acesso antrópico, íngremes, como a Serra do Mar (INPE, 2022; LIMA *et al.*, 2020). Apesar de ser um bioma que apresenta um dos maiores graus de riqueza de espécies e taxas de endemismo no planeta, essa perda de floresta levou a uma vasta lista de espécies ameaçadas de extinção (RIBEIRO *et al.*, 2009). Desse modo, no objetivo de conservar os remanescentes nativos, devido a imensa diversidade biológica e com mais de 75% de suas áreas devastadas, a Mata Atlântica é considerada um *hotspot* mundial de conservação da biodiversidade (MYERS *et al.*, 2000; RIBEIRO *et al.*, 2009).

Os remanescentes exibem uma ampla diversidade de formações florestais, que têm uma conexão histórica e evolutiva entre si. Essas formações englobam uma variedade de estruturas e composições florísticas, as quais são moldadas por fatores climáticos, regimes pluviométricos diversos, variações significativas no relevo e diferentes tipos de solo. A combinação dessas características, juntamente com sua considerável extensão, desempenha um papel crucial na formação de um ambiente biótico complexo e distinto (SAVI, 2008; IBGE, 2012; WWF, 2023). As formações florestais que constituem a Mata Atlântica incluem as Florestas Ombrófilas densa, aberta e mista, e estacionais semi-decíduais e decíduais, os manguezais, restingas, campos de altitude associados e brejos interioranos no Nordeste; cada uma delas com

características específicas (IBGE, 2012). O principal enfoque da nossa pesquisa se concentra nas Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Floresta Ombrófila Densa (FOD).

A FOM, também conhecida como Floresta com Araucária, apresenta uma composição heterogênea, com espécies subtropicais e outras similares às tropicais coexistindo no mesmo habitat, como Laurales e Coniferales; dentre elas, a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, espécie característica dessa unidade fitogeográfica e árvore símbolo do Paraná (KLEIN, 1984; RODERJAN *et al.*, 2002). Uma hipótese para essa composição peculiar, afirma que durante o quaternário, o clima regional enfrentou um processo de “tropicalização”, substituindo algumas espécies de clima frio e seco pelas espécies ombrófilas, de clima quente e úmido. Assim, a presença de gimnospermas (como *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl.) em meio às espécies de angiospermas são características dessa formação florestal (LEITE; KLEIN, 1990; ARAUJO *et al.*, 2010).

A área original de FOM, era de aproximadamente 200.000 Km² no Brasil, e ocorria em maior área no Paraná (40%), seguido por Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) (FILHO *et al.*, 2010). Estima-se que hoje, seus remanescentes em estágios avançados de sucessão equivalem apenas a aproximadamente 0,7% de sua área original (CASTELLA; BRITZ, 2004). Portanto, essas áreas são de extrema importância ambiental e científica; sua drástica redução a torna uma das tipologias mais ameaçadas da região Sul, ou mesmo, do Brasil (CARLUCCI *et al.*, 2011).

No Paraná, a FOM está situada à oeste da Serra do Mar e ocupa as porções planálticas do Estado, ocorrendo de forma mais frequente entre os 750 e 1.300 m de altitude (MAACK, 1968; RODERJAN *et al.*, 2002). Essa tipologia no Sul do Brasil possui duas estações bem definidas: a chuvosa que se estende de outubro a março, e uma seca, que perdura o restante do ano, com temperaturas inferiores a 10°C nos meses mais frios e superiores a 20°C nos mais quentes; ocorrem também, geadas severas e frequentes (LEITE, 2002; RODERJAN *et al.*, 2002; KERSNTEN; BORG; GALVÃO, 2015).

Por outro lado, a FOD ocupa as planícies quaternárias do Pleistoceno e as encostas da Serra do Mar, está presente em toda a faixa litorânea no Brasil, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul (MAACK, 1968; REGINATO; GOLDENBERG, 2007). De acordo com Motta (1995), essa formação florestal possui grande biodiversidade devido a complexa setorização altitudinal, latitudinal, diferentes situações topográficas e edáficas locais, com a vegetação distribuída sobre locais

íngremes, assim com maior acesso à luz. Apresenta grande riqueza de epífitas e hemiepífitas, entre elas as bromélias, orquídeas, aráceas, begônias, samambaias e musgos. Esse tipo de vegetação tem como característica ecológica principal a interferência do clima quente e úmido costeiro, com elevadas precipitações ao mesmo tempo que possui amplitudes térmicas amenizadas pela influência marítima, o que determina um clima com relativa estabilidade térmica ao longo do ano (MAACK, 1968; RODERJAN *et al.*, 2002).

No Paraná, a FOD está situada à leste, com altitude máxima de 1.887 m (montanha Pico Paraná), delimitada em quase toda a sua extensão pela barreira geográfica Natural da Serra do Mar, onde são verificados os mais elevados índices pluviométricos do Estado (BLUM; RODERJAN; GALVÃO, 2011). Segundo a classificação de Köppen, o clima é Cfb, caracterizado por verões frescos, geadas frequentes nos picos durante o inverno e precipitação anual acumulada de 3.700 mm; as temperaturas médias estão entre 18°C nos meses mais frios e 22°C nos meses mais quentes, não apresentando variações meteorológicas acentuadas durante o ano (STRUMINSKI, 2001).

1.2 BROMELIACEAE E *Wittrockia cyathiformis* (Vell.) LEME

A Mata Atlântica, um dos centros de diversidade de Bromeliaceae Juss, é reconhecida como um importante ponto de referência em relação ao alto endemismo dessa família no Brasil (LEME; MARIGO, 1993). No país, são conhecidas 1.390 espécies de bromélias, 1.190 delas são endêmicas, distribuídas em 54 gêneros, sendo 23 endêmicos (FORZZA *et al.*, 2023). Bromeliaceae em toda a sua distribuição possui aproximadamente 3.740 espécies, distribuídas em 82 gêneros que estão presentes principalmente na região Neotropical, com exceção de uma espécie na África Ocidental, *Pitcairnia feliciana* (A. Chev.) Harms & Midbr (SMITH; DOWNS, 1977; GOUDA; BUTCHER; GOUDA, 2023). Atualmente, a família está subdividida em 8 subfamílias: Brocchinioideae Givinish, Hechtioideae Givinish, Lindmanioideae Givinish, Navioideae Harms emend Givinish, Puyoideae Givinish, Bromelioideae Reichnb., Pitcairnioideae Harms, e Tillandsioideae Harms (GIVNISH *et al.*, 2007; GIVNISH *et al.*, 2011), sendo as três últimas, as mais comuns e representativas em número de espécies (SMITH; DOWNS, 1977; GIVNISH *et al.*, 2007; GIVNISH *et al.*, 2011; GOUDA; BUTCHER; GOUDA, 2023).

Essa família, uma das mais diversas em termos ecológicos e morfológicos na região Neotropical, possui características que lhes permitiram ocupar uma ampla gama de nichos e habitats (BENZING, 2000). Diversas características morfológicas, anatômicas e ecofisiológicas foram essenciais para sua radiação adaptativa. Entre elas está a formação de tanques resultantes da sobreposição das folhas que permitiu o acúmulo de água e nutrientes, os quais são absorvidos pelos tricomas peltados absorventes presente nas folhas (BENZING, 2000; CRAYN; WINTER; SMITH, 2004). A via fotossintética do tipo CAM é outra adaptação fisiológica que aumentou a eficiência na utilização da água, uma vez que os estômatos são abertos durante a noite, o que resulta em economia hídrica de três a seis vezes, comparadas com plantas C3 e C4 (BENZING, 2000; GIVNISH *et al.*, 2011). A redução do sistema radicular, muitas vezes limitado à função de fixação no substrato em combinação com as demais características, possibilitou que as bromélias ampliassem seu habitat, em formas de vidas saxícolas, rupícolas e epífitas (BENZING, 1976; LUTHER, 2012). Essas e outras características incluindo a diversidade genética proporcionou sua ocorrência em diversas condições de altitude, temperatura e umidade, desde desertos costeiros até Páramos Andinos e florestas úmidas, como a Mata Atlântica (BENZING, 2000; FORZZA *et al.*, 2023).

Considerando a diversidade de Bromeliaceae na Mata Atlântica do Brasil, encontra-se o gênero *Wittrockia* Lindm., endêmico da região. Esse gênero conta com sete espécies distribuídas nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. No Paraná há o registro de apenas duas espécies do gênero *Wittrockia*: *W. superba* Lindm., exclusiva da FOD, e *Wittrockia cyathiformis* (Vell.) Leme com distribuição mais ampla no Sudeste e Sul do Brasil (TARDIVO; CERVI, 1997; TARDIVO, 2020; GBIF, 2023). *W. cyathiformis* é a espécie foco da presente pesquisa e pode ser encontrada sob diferentes formas de vida, sendo elas epífitas, rupícolas e/ou terrestres (TARDIVO; CERVI, 1997).

Essa espécie é considerada uma bromélia-tanque, pois suas folhas estruturam uma roseta infundibuliforme e a sobreposição das bainhas foliares formam cisternas que acumulam água e detritos que dão origem ao fitotelmo (BENZING, 2000; TARDIVO, 2023). Essa espécie se diferencia das demais espécies do gênero *Wittrockia* pela inflorescência com escapo róseo à vermelho-escuro, brácteas que configuram uma taça e sépalas estreitamente triangulares, levemente assimétricas e acuminadas, as lâminas foliares são caracterizadas por serem marmorizadas, com

manchas verde-escuras em toda a extensão, de margens serrilhadas com presença de espinhos (Figura 1.1).

Figura 1.1 – *Wittrockia cyathiformis*. A – Inflorescência exserta, brácteas róseas à vermelho-escuro e sépalas estreitamente triangulares, levemente assimétricas e acuminadas; B – Fitotelmo em sua roseta infundibuliforme e espinhos ao longo da margem foliar de um exemplar rupícola; C – Exemplar epífita em FOM com longas folhas estreitas; D – Exemplar epífita em FOD, com inflorescência, e brácteas em formato de taça, também se observa lâminas foliares largas e marmorizadas com manchas verde-escuras em toda a extensão.



Fonte: a autora.

1.3 PLASTICIDADE FENOTÍPICA

A plasticidade fenotípica (PF) das bromélias é uma importante estratégia adaptativa, permitindo a essas plantas explorar diferentes nichos ecológicos e

sobreviver em ambientes adversos, a compreensão dessas adaptações é fundamental para entender a ecologia, bem como propor soluções para a conservação dessas espécies (GIVNISH, 1979; NEVES *et al.*, 2019).

De modo geral, a PF se refere à habilidade de um determinado genótipo em manifestar diferentes fenótipos quando exposto a distintas condições ambientais (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2006). Há muito tempo, ecologistas têm se interessado pela PF, devido à necessidade de prever como as espécies responderão às mudanças climáticas globais, bem como da crescente compreensão da importância da PF nas interações entre espécies (CALLAWAY *et al.*, 2003; BRADSHAW, 2006; VALLADARES; SÁNCHEZ-GOMEZ; ZAVALA, 2006).

A grande variação da forma e tamanho das folhas das angiospermas reflete as demandas fisiológicas impostas pelo ambiente (GIVNISH, 1979). Essa ampla diversidade de formas tem sido analisada para compreender a influência da temperatura, precipitação pluviométrica e distâncias geográficas em padrões locais e globais, considerando diferentes espécies de angiospermas (PEPPE *et al.*, 2011; MOLES *et al.*, 2014; WRIGHT *et al.*, 2017). Também tem sido utilizada para investigar variações fenotípicas em táxons específicos, como nas famílias Aceraceae ao longo de um gradiente de temperatura (ROYER *et al.*, 2009); em Pottiaceae ao longo de um gradiente ambiental, em regiões áridas e semiáridas (LIU *et al.*, 2021); em Aquifoliaceae no estudo da resposta fenotípica plástica à luz e a sensibilidade de fotoinibição (VALLADARES *et al.*, 2005) entre outros (MALUF, 1994; MONTANARI *et al.*, 2004; CHALCOFF; EZCURRA; AIZEN, 2008).

No entanto, são escassas as pesquisas focadas na variação fenotípica de Bromeliaceae considerando as diferentes tipologias vegetais e variações climáticas (CHAVES; LEAL; LEMOS-FILHO, 2018; NEVES *et al.*, 2019). A maioria das pesquisas de PF em bromélias relatam a influência do ambiente luminoso e sombreado, bem como, na variação entre formas de vida em um mesmo ambiente (FREITAS; SCARANO; BLESBOER *et al.*, 2003; REINERT *et al.*, 2013; BARBERIS *et al.*, 2017; ZORGER; ARRIVABERNER; MILANEZ, 2019).

Assim, as diferentes tipologias florestais da Mata Atlântica (i.e. FOM e FOD), apresentam um contexto interessante de estudo. Esses ecossistemas caracterizam-se por variações significativas nos níveis de chuvas, umidade, temperatura e exposição solar, sendo habitats que possivelmente exigem mecanismos adaptativos distintos para o desenvolvimento e padrão fenotípico *W. cyathiformis*.

1.3.1 Ecofisiologia de Bromeliaceae

As folhas presentes na família Bromeliaceae têm uma função crucial no corpo vegetativo, assumindo atribuições que, em outras plantas, seriam normalmente reservadas exclusivamente às raízes, como a absorção de água e nutrientes. Nas bromélias epífitas e rupícolas, os tricomas peltados encontrados nas folhas são os principais responsáveis por esses processos de absorção (BENZING, 2000). Portanto, essas estruturas foram fundamentais na promoção da independência ao solo ao longo do tempo evolutivo (CACH-PÉREZ *et al.*, 2016). Além de sua capacidade de absorver nutrientes e água, os tricomas também desempenham outras funções, como proteção física, secreções e fotoproteção (BENZING, 2000; CRAYN; WINTER; SMITH, 2004).

Os tricomas peltados absorventes, também denominados de escamas, são uma apomorfia da família. Estruturalmente, são compostos por uma célula basal, um pedicelo com um número variável de células, célula domo, disco e ala, sendo que as células centrais do disco conectam a ala ao pedicelo (KRAUSS, 1949; TOMLINSON, 1969). Em Bromelioideae, subfamília na qual enquadra-se *W. cyathiformis*, a absorção de água e nutrientes é desempenhada pelas escamas que recobrem a porção da bainha foliar, tanto na superfície adaxial quanto abaxial, com raízes voltadas às funções condicionalmente absorptivas e à fixação no substrato, com via fotossintética do tipo CAM (BENZING, 2000).

Nas espécies de bromélias-tanque a densidade de tricomas é geralmente maior na área da bainha foliar, nesse sentido, a absorção de água e nutrientes pela folha é influenciada pela presença, forma e distribuição das escamas na superfície da bainha em contato com o fitotelmo (BENZING, 2000; STEFANO; PAPINI; BRIGHIGNA, 2008). De acordo com Oliveira (2004), as bromélias epífitas dependem de características morfológicas e fisiológicas, como as escamas e cisternas formadas pelas folhas que acumulam água, para sobreviver nos forófitos (árvores hospedeiras), já que não possuem conexão direta com os nutrientes do solo.

Wittrockia cyathiformis apresenta ampla ocorrência, tanto em termos geográficos quanto em suas diversas formas de vida. É possível que isso esteja relacionado às variações morfológicas, fisiológicas e anatômicas que a planta apresenta em cada ambiente em que está localizada. Desse modo, o primeiro capítulo da presente pesquisa visou investigar essa variação fenotípica. Esperamos encontrar padrões fenotípicos distintos entre suas formas de vida e tipologias florestais, uma vez

que a capacidade de uma planta sobreviver em um ambiente específico é resultado de pressões seletivas contínuas e fatores ambientais diversos (FAHN; CUTLER, 1992).

1.4 FITOTELMO BROMELÍCOLA

Como explicado nas seções anteriores, as bromélias formadoras de tanque, com suas folhas rosuladas, apresentam capacidade de coletar água da chuva e detritos, que resulta na criação de um habitat de água doce denominado fitotelmo (BENZING, 2000). Nessas bromélias pode-se encontrar uma ampla diversidade taxonômica, visto que esse pequeno meio aquático fornece abrigo, proteção, fonte de umidade e alimento para comunidades de organismos aquáticos, semi-aquáticos e terrestres, que incluem microrganismos (BROUARD *et al.*, 2012; CARRIAS *et al.*, 2020; GIONGO *et al.*, 2019), vertebrados (JORGE *et al.*, 2020), micro e macroinvertebrados (JÚNIOR *et al.*, 2017; ROSA *et al.*, 2021; MEDEIROS; MELO; JÚNIOR, 2022). Há táxons, como oligoquetas e ostracodes, que passam todo o ciclo de vida dentro das cisternas das bromélias (PINTO; JOCQUÉ, 2013), enquanto outros só são encontrados em tais habitats para oviposição e desenvolvimento das formas imaturas, como muitos Coleoptera e Diptera (CAMPOS; FERNÁNDES, 2011; MARTEIS *et al.*, 2017).

O habitat criado pelo fitotelmo bromelícola é considerado um micro ecossistema, devido à sua vasta diversidade de espécies e complexidade estrutural, que é composto por vários compartimentos e gradientes ecológicos (NAVARRO, 2015). Por consequência, as bromélias-tanque representam manchas de habitat que formam uma metacomunidade (LEIBOLD *et al.*, 2004). A definição de metacomunidade mais usada atualmente a define como “um conjunto de comunidades locais ligadas pela dispersão de múltiplas espécies potencialmente interativas” (HUBBELL, 2001; LEIBOLD *et al.*, 2004). Entender essa estruturação é relevante e um dos focos em Ecologia, pois permite identificar como determinados fatores modulam a distribuição dos organismos no espaço e nos habitats heterogêneos, em que as características ambientais são desigualmente distribuídas (MIECZAN; TARKOWSKA-KUKURYK; BIELANSKA-GRAJNER, 2012).

A formação e estabilidade das metacomunidades podem ser influenciadas pela seleção local, que envolve a diferenciação de nicho e a filtragem do ambiente, bem

como pelo processo espacial, que inclui a dispersão e a colonização (LEIBOLD *et al.*, 2004; THOMPSON *et al.*, 2020). Nesse sentido, a variação na riqueza e composição de espécies em regiões tropicais pode ser explicada por teorias como a teoria do Nicho, que se concentra nas condições ambientais que influenciam a distribuição das espécies (HUTCHINSON, 1957; KNEITEL; CHASE, 2004) e pela teoria da Neutralidade (HUBBELL, 2001), que enfatiza a dispersão geográfica.

A teoria do Nicho sugere que as espécies ocupam espaços específicos e funções em um ambiente, determinados pelos recursos disponíveis e pelas condições ambientais, como por exemplo, temperatura e alimento (HUTCHINSON, 1957). A teoria Neutra, derivada da teoria de Biogeografia de Ilhas (MACARTHUR; WILSON, 1967), sugere que todos os indivíduos de uma mesma guilda trófica competem igualmente, independentemente dos recursos e condições locais, levando a um crescimento contínuo em qualquer ambiente. De acordo com essa teoria, a diversidade da comunidade depende principalmente da imigração e da especiação local, sendo influenciada pela distância entre locais amostrados ou barreiras geográficas que dificultam a migração (HUBBELL, 2001). Essa perspectiva neutra também é considerada como um mecanismo (*Neutral perspective*) importante na estruturação das metacomunidades (LEIBOLD *et al.*, 2004), onde a capacidade de dispersão das espécies e as barreiras geográficas são os principais fatores que moldam a comunidade.

Em fitotelmos bromelícolas, diversos fatores bióticos e abióticos estão relacionados ao aumento no número de espécies, sua composição e abundância. Por exemplo, um maior número de folhas e volume de água, podem criar uma variedade de micro-habitats dentro de uma única bromélia, além de determinarem a quantidade de recursos disponíveis (ARAUJO *et al.* 2007; RAMOS; MOURA, 2019). Tais características promovem a coexistência de diferentes espécies de organismos aquáticos. Essa relação entre a área e a diversidade de espécies está diretamente ligada à teoria da biogeografia de ilhas pois quanto maior for a área, menores são as taxas de extinção e maior é a riqueza de espécies (MACARTHUR; WILSON, 1967).

Os detritos orgânicos, tanto de origem externa (alóctone) ao fitotelmo, quanto interna (autóctone), são a principal fonte de nutrientes para a comunidade aquática nesse micro-habitat (SANTOS *et al.*, 2009; MONTERO *et al.*, 2010). Os macroinvertebrados aquáticos são os principais contribuintes para a decomposição da serapilheira em todos os estágios, desde a matéria orgânica em partículas grossas

(CPOM; > 1000 µm de tamanho) até a matéria orgânica em partículas finas (FPOM; <1000 µm em tamanho) (LEROY *et al.*, 2015). A disponibilidade, origem, teor e composição desses recursos podem ter um impacto direto na biota associada, a partir da influência da qualidade desse micro-habitat (RANGEL *et al.*, 2017; BUSSE *et al.*, 2018).

A temperatura da água e o pH também podem determinar as taxas de colonização nesse ambiente (GUIMARÃES-SOUZA *et al.*, 2006; DOCILE *et al.*, 2017). O aumento da temperatura da água, devido à exposição solar, por exemplo, acelera a taxa de evaporação, especialmente nos períodos mais quentes, diminuindo o habitat disponível para a comunidade (LAESSLE, 1961; RAMOS; MOURA, 2019). Portanto, em florestas sazonalmente secas, onde as condições climáticas são adversas, a exposição dos reservatórios à luz solar e a quantidade de água armazenada podem ser fatores limitantes significativos (ISLAIR *et al.*, 2014; MARTEIS *et al.*, 2017).

Fatores externos ao fitotelmo também podem contribuir na estruturação da comunidade, as condições ambientais influenciam quais espécies podem habitar um local, dependendo de suas necessidades e das características do ambiente local, conforme explicado pela teoria do nicho (HUTCHINSON, 1957; TILMAN, 1988; NEKOLA; WHITE, 1999). Outro fator importante é a restrição de dispersão, que envolve a interação entre a configuração da paisagem, o tempo e as capacidades de dispersão das espécies, como discutido na teoria neutra (NEKOLA; WHITE, 1999; HUBBELL, 2001).

Dessa forma, o segundo capítulo da pesquisa tem como objetivo determinar a abundância, composição e riqueza da comunidade de macroinvertebrados aquáticos que habitam *W. cyathiformis* em FOM e FOD no Paraná. Além disso, pretende-se investigar os mecanismos subjacentes que explicam a estruturação da comunidade aquática nessas bromélias. A hipótese central desta pesquisa é que a estrutura da comunidade de macroinvertebrados aquáticos em *W. cyathiformis* é influenciada por quatro fatores interligados. Dentre eles estão as características de nicho ecológico, como as condições climáticas de cada local e variáveis morfométricas/físico-químicas do ambiente aquático. E pelas características relacionadas à neutralidade e estocasticidade como a distância geográfica entre as bromélias e conservação do habitat. Acredita-se que a combinação desses quatro conjuntos de fatores seja responsável pela maior parte da variação na estrutura da comunidade, evidenciando a complexa interação entre eles.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho objetivou investigar a plasticidade fenotípica de *Wittrockia cyathiformis* e avaliar possíveis fatores que influenciam na composição e diversidade da comunidade aquática de macroinvertebrados associados ao fitotelmo dessa espécie na Mata Atlântica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar a variação fenotípica e a distribuição dos tricomas peltados absorventes, bem como, encontrar um padrão fenotípico de *W. cyathiformis* entre seus hábitos de vida e entre ambientes de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa no Paraná;
2. Avaliar a alfa, beta e gama diversidade, bem como, a riqueza, abundância e composição de macroinvertebrados aquáticos associados a *W. cyathiformis* em fragmentos e tipologias florestais da Mata Atlântica;
3. Analisar as matrizes preditoras e identificar possíveis intercorrelações de nicho e neutralidade que explicam a riqueza e composição da comunidade de macroinvertebrados aquáticos de *W. cyathiformis* na Mata Atlântica do Paraná.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREAS DE ESTUDO PARA COLETA DE FITOTELMOS

A pesquisa foi realizada sob autorização de pesquisa do Instituto Água e Terra (IAT) nº 46.21, em cinco locais no Estado do Paraná (Quadro 3.1), três deles em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista dentro da região do Parque Nacional dos Campos Gerais (PARNA) no município de Ponta Grossa, e duas áreas em Floresta Ombrófila Densa na Serra do Mar nos municípios de Morretes e Quatro Barras.

Quadro 3.1 – Tipologias florestais dos locais de coleta, municípios e suas respectivas siglas.

Tipologia florestal	Local	Município	Sigla
Floresta Ombrófila Mista	Vale dos Tucanos	Ponta Grossa, PR	FM-VT
	Canyon São Jorge	Ponta Grossa, PR	FM-SJ
	Cachoeira da Mariquinha	Ponta Grossa, PR	FM-MQ
Floresta Ombrófila Densa	Parque Estadual Serra da Baitaca	Quatro Barras, PR	FD-ANG
	Parque Estadual Pico do Marumbi	Morretes, PR	FD-MRB

Fonte: a autora.

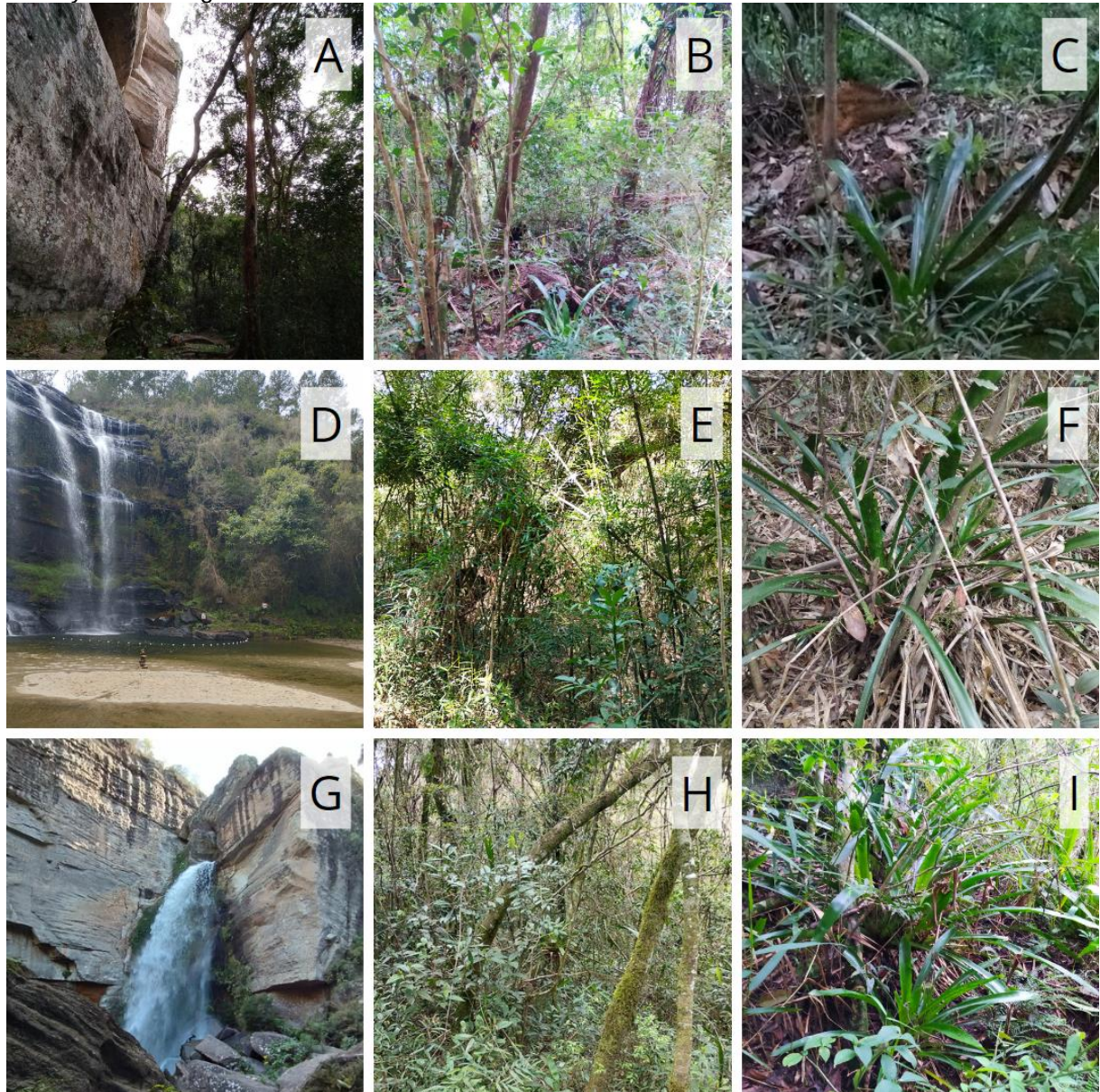
O PARNA dos Campos Gerais é uma Unidade de Conservação de domínio público que foi fundamentada em 2006, possui 21.298,91 hectares e abrange os municípios de Ponta Grossa, Carambeí e Castro (ICMBIO, 2012). A região é formada por ecótonos entre a Mata Atlântica e o Cerrado, e apresenta os últimos remanescentes de Cerrado do Sul do Brasil. Essas áreas exibem uma notável biodiversidade que requer cuidados especiais (ANTIQUERA; MORO, 2019). No entanto, apesar de sua criação, o Parque ainda não teve sua área totalmente desapropriada (RIBAS; MOREIRA, 2020). A região continua sendo impactada pelo agronegócio, por turismo não responsável e pela extensão de espécies invasoras como o *Pinus* sp. (observação pessoal).

O Canyon do Rio São Jorge (25°02'07.1"S 50°03'17.0"W), localizado 12 Km a leste da cidade de Ponta Grossa, situa-se na transição entre o alto curso e o baixo curso do Rio São Jorge. Nessa transição, há um desnível total da ordem de 80 m numa extensão de 600 m (MASSUQUETO *et al.*, 2009). Nessa localidade são identificados delineamentos singulares de relevo como cachoeiras, cascatas, lajeados, relevos ruiformes, escarpas, fendas, lapas e cavernas, que o constitui como patrimônio natural e importante ponto turístico, também científico e pedagógico

(FOLMANN; PINTO; GUIMARÃES, 2010). Além disso, são encontrados sítios arqueológicos com pinturas rupestres e observa-se uma vegetação diversificada desde campos nativos a Mata com Araucárias (MASSUQUETO *et al.*, 2009).

A Cachoeira da Mariquinha (25°11'51.1"S 49°57'00.6"W), localizada a aproximadamente 35 Km de Ponta Grossa, situa-se em um dos falhamentos da formação furnas, onde ocorre o encaixe do Rio Quebra-perna. Nesta localidade também são encontradas pinturas rupestres e há o domínio de campos nativos com esparsos capões de Mata com Araucária (BAPTISTA; REIS, 2021). Já a região do Vale dos Tucanos (25°02'15.2"S 50°02'11.6"W) é pouco conhecida, devido ao difícil acesso e apenas utilizada por escaladores por causa da presença de esparsos paredões rochosos presentes em algumas áreas do Vale (Figura 3.1). A localidade fica a 650 m de distância do Mirante do Alagados, estrada do Alagados - Itaiacoca, Ponta Grossa - PR. Devido a combinação de vários aspectos e por serem, os três fragmentos florestais, locais de ecótono entre Mata Atlântica e o Cerrado - dois *hotspots* de biodiversidade - essas regiões possuem potencial de abrigar uma variedade significativa de espécies (MYERS *et al.*, 2000; MELO; MORO; GUIMARÃES, 2014).

Figura 3.1 – Áreas de estudo, suas respectivas fitofisionomias de Floresta Ombrófila Mista na Unidade de Conservação Parque Nacional dos Campos Gerais (PR) e exemplares de *Wittrockia cyathiformis* de cada Fragmento Florestal. A, B e C – Vale dos Tucanos; D, E e F – Cachoeira da Mariquinha; G, H e I – Canyon São Jorge.



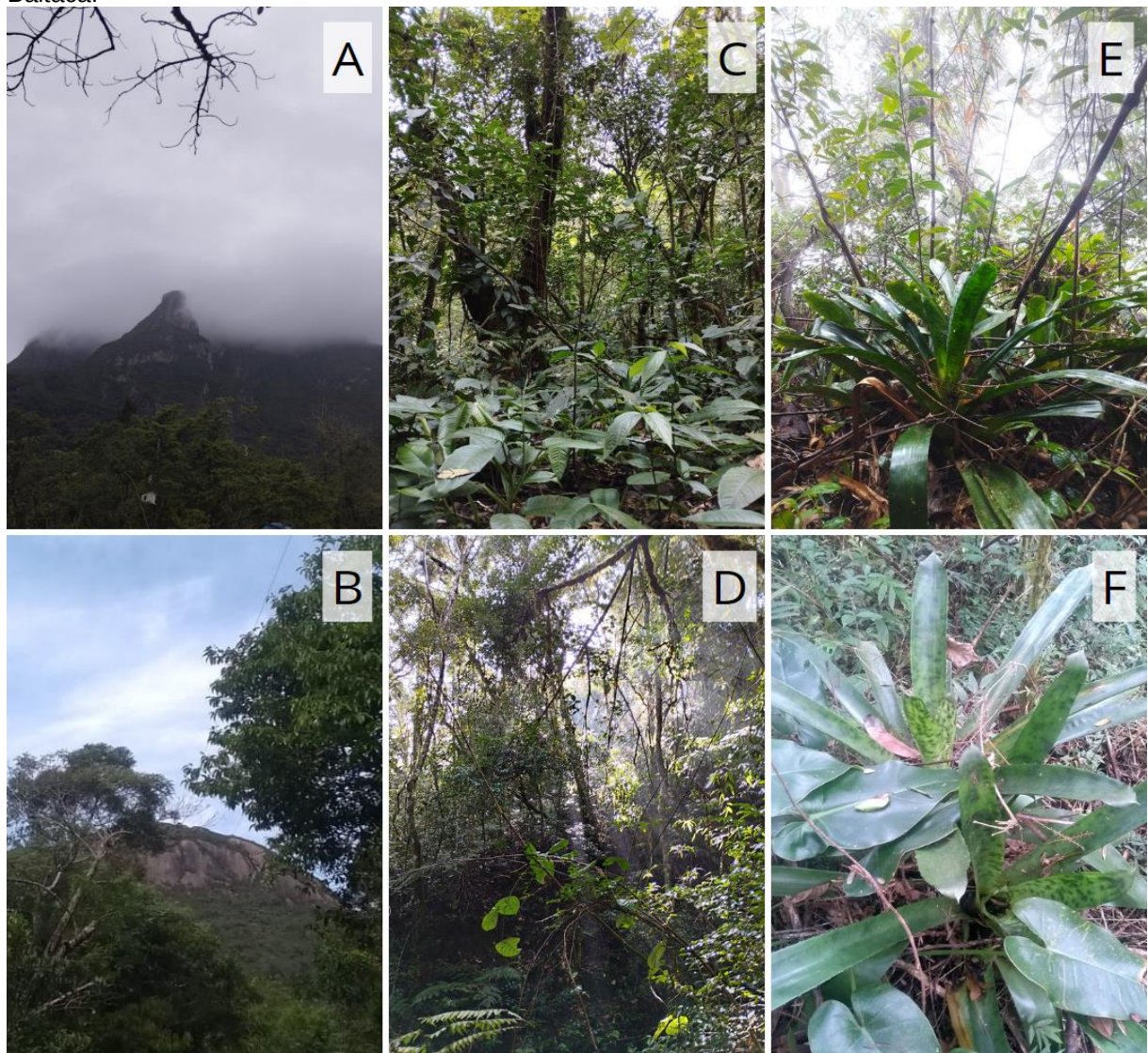
Fonte: a autora.

O clima é do tipo Cfb de acordo com a classificação de Köppen, porém, a escarpa devoniana atua como uma barreira orográfica, de modo que a precipitação média anual nessa área seja entre 100 mm e 300 mm maior em relação ao primeiro planalto, com médias entre 1.400 e 1.600 mm, os meses de janeiro e fevereiro são os mais chuvosos e agosto o mais seco (MAACK, 2012; IAPAR, 2019).

Os outros dois locais de pesquisa foram amostrados na Serra do Mar Paranaense, em FOD (Figura 3.2). Nessa área um dos pontos de estudo é o Parque Estadual Serra da Baitaca (FD-ANG) (25°23'15.0"S 49°00'08.3"W). Esse parque está

situado na região dos municípios de Quatro Barras e Piraquara, distante 30 km da capital do Estado do Paraná. O FD-ANG foi criado pelo decreto estadual nº. 5.765 de 5 de junho de 2002 e é classificado como uma unidade de proteção integral que engloba o conjunto denominado Serra da Baitaca (IAT, 2023).

Figura 3.2 – Áreas de estudo, suas respectivas fitofisionomias de Floresta Ombrófila Densa na região da Serra do Mar Paranaense e exemplares de *Wittrockia cyathiformis* de cada Fragmento Florestal. A, B e C – Parque Estadual Pico do Marumbi; D, E e F – Morro Anhangava do Parque Estadual Serra da Baitaca.



Fonte: a autora.

No FD-ANG a maior altitude se encontra nos 1.420 m, correspondendo ao cume Pico Anhangava (IAT, 2023) no Município de Quatro Barras. A FOD no parque, está presente nas altitudes de 850 m a 1.000 m em sua porção leste (STRUMINSKI, 2010; RODERJAN, 1994), onde deu-se preferência de coleta. Esse Parque apresenta um ecótono entre a Floresta com Araucária e a FOD, que de acordo com Struminski

(2010) apresenta uma das principais áreas florestais e uma das mais ricas em biodiversidade ainda existente na Região Metropolitana de Curitiba.

Apesar da grande biodiversidade, no passado a localidade sofreu muita degradação ambiental. Na década de 1950 um grande incêndio nessa região modificou a cobertura original do Morro e acabou por facilitar a intensificação da extração mineral do próprio Morro Anhangava (STRUMINSKI, 2010). O tombamento da Serra do Mar, a partir da década de 80 a 90, e a aquisição de áreas rurais aos pés do Morro por montanhistas e escaladores, gerou restrições para o uso minerário da montanha, sucedendo na recuperação das áreas que haviam sido degradadas pela mineração, e um maior manejo conservacionista na localidade (STRUMINSKI, 2010). No entanto, o PESB ainda continua a sofrer grande pressão antrópica, devido ao fato de ser um dos principais pontos turísticos do Estado do Paraná. Essa interferência é facilmente observada na falta de controle do fluxo de pessoas no local, na vegetação destruída próximo às trilhas, lixo acumulado e incêndios (observação pessoal).

O outro local de estudo, Parque Estadual Pico do Marumbi (FD-MRB) (25°26'42.9"S 48°54'59.3"W), está situado entre a vertente oriental da Serra do Mar, entre o litoral e o planalto de Curitiba, localizado entre os municípios de Morretes, Quatro Barras e Piraquara no Estado do Paraná. O FD-MRB é composto por três subformações: Submontana, Montana e Alta-Montanha, com altitudes que variam de 300 m a 1.539 m. No parque, encontra-se um conjunto montanhoso conhecido como "Marumbi", que possui nove cumes, sendo o mais alto denominado "Monte Olimpo" (1.539 m) (IAP, 1996).

De acordo com Struminski (2001) a FOD submontana no Parque é multiestratificada, com densa e uniforme cobertura vegetal que atinge 25-30 m, com interior úmido e mal ventilado. Já a FOD Montana surge à medida em que aumenta a altitude e declividade, tornando-se o ambiente mais úmido e frio, situa-se entre 600 m e 900-1.000 m. O porte desta floresta varia conforme as condições pedológicas, sendo mais desenvolvidas nos vales e nos planaltos, seu dossel pode chegar a 20 metros. Já a FOD Altomontana surge no Parque em diferentes altitudes, conforme sua localização, cobrindo totalmente alguns cumes. À medida que a altitude aumenta, o porte das árvores torna-se menos desenvolvido e mais tortuoso, apresentando uma maior densidade de indivíduos por área formando um dossel muito denso e compacto. Próximo aos cumes algumas espécies arbóreas, adaptadas a esse ambiente, passam a apresentar porte arbustivo (STRUMINSKI, 2001).

3.2 PROCEDIMENTO AMOSTRAL

3.2.1 Plasticidade fenotípica da Bromeliaceae

Realizamos coleta de dados em campo sob a autorização de pesquisa n° 46.21 do IAT, durante o ano de 2022 e 2023 em 10 fragmentos florestais no Paraná, sendo 6 em FOM e 4 fragmentos em FOD. Mensuramos os parâmetros morfométricos vegetativos de no mínimo 6 e máximo de 8 bromélias para cada hábito de vida das tipologias florestais, somando 43 bromélias analisadas. Devido à dificuldade de acesso para a coleta de dados das bromélias epífitas e rupícolas, coletamos apenas os exemplares acessíveis a 2 m de altura. Os exemplares encontrados em estado reprodutivo foram coletados, herborizados e tombados no Herbário da Universidade Estadual de Ponta Grossa (HUPG).

Realizamos o percurso de 80% das trilhas disponíveis em cada local de coleta, com o objetivo de encontrar populações de *W. cyathiformis*. A presença de exemplares em estado reprodutivo foi escassa, mesmo durante o período de floração. Portanto, adotamos o critério de selecionar as bromélias de maior tamanho em cada local, levando em consideração o maior número de folhas, diâmetro externo e altura. A fim de evitar a coleta de espécimes pertencentes à mesma população num mesmo fragmento florestal, não amostramos indivíduos próximos uns dos outros, levando em conta uma distância mínima de 20 m.

In situ os seguintes parâmetros morfométricos foram mensurados, utilizando uma trena métrica com precisão de 1 mm: a) altura em relação ao chão, para as formas de vida epífita e rupícola; b) contagem do número total de folhas; c) diâmetro externo da bromélia, considerado como a distância de uma extremidade à outra das folhas opostas; d) diâmetro interno, dado como a largura do início da roseta, medidas de uma bainha foliar à outra na extremidade oposta; e) altura da planta, considerada como a distância da base de seu substrato até o ápice da folha mais alta. Destacou-se uma folha da porção mediana da planta e com a folha totalmente expandida, utilizando paquímetro (precisão: 0,02 mm) mediu-se em laboratório: f) largura da bainha foliar totalmente estendida; g) comprimento da bainha foliar; h) comprimento da lâmina foliar; i) largura do ápice da lâmina foliar; j) largura do meio da lâmina foliar; k) comprimento do 4° espinho na base da lâmina foliar; l) comprimento do 4° espinho no ápice da folha (Adaptados de: COGLIATTI-CARVALHO; ALMEIDA; ROCHA, 1998;

LENZI, MATOS; ORTH, 2006; NEVES *et al.*, 2019; VOLTOLINE; SANTOS, 2011; URIBBE *et al.*, 2020).

Para avaliar a frequência de tricomas nas bromélias, utilizamos das mesmas folhas destacadas, de pelo menos 3 diferentes locais de estudo para cada fitofisionomia, sendo 1 bromélia epífita, 1 rupícola e 1 terrestre de cada população, o que corresponde a 18 bromélias ao todo. Para essa análise foram realizados cortes à mão livre na bainha foliar de aproximadamente 3 cm² utilizando lâmina de aço. De modo que os cortes fossem de uma mesma região da bainha foliar para todos os exemplares, dividimos ao meio as medidas da largura e comprimento da bainha.

Para o estudo dos tricomas peltados absorventes foram realizados cortes paradérmicos em ambas as faces da bainha foliar para a confecção de lâminas semipermanentes (STEFANO; PAPINI; BRIGHIGNA, 2008). Os tricomas foram fotografados em microscópio óptico, em vários aumentos. Para a contagem dos tricomas foi utilizado o Software Image J. Para o estudo em Microscopia Eletrônica de Varredura, partes da bainha foram fixadas em FAA; desidratadas em série alcoólico-etílica e metalizadas. O material foi fotografado no C-LABMU da UEPG.

3.2.2 Fitotelmo

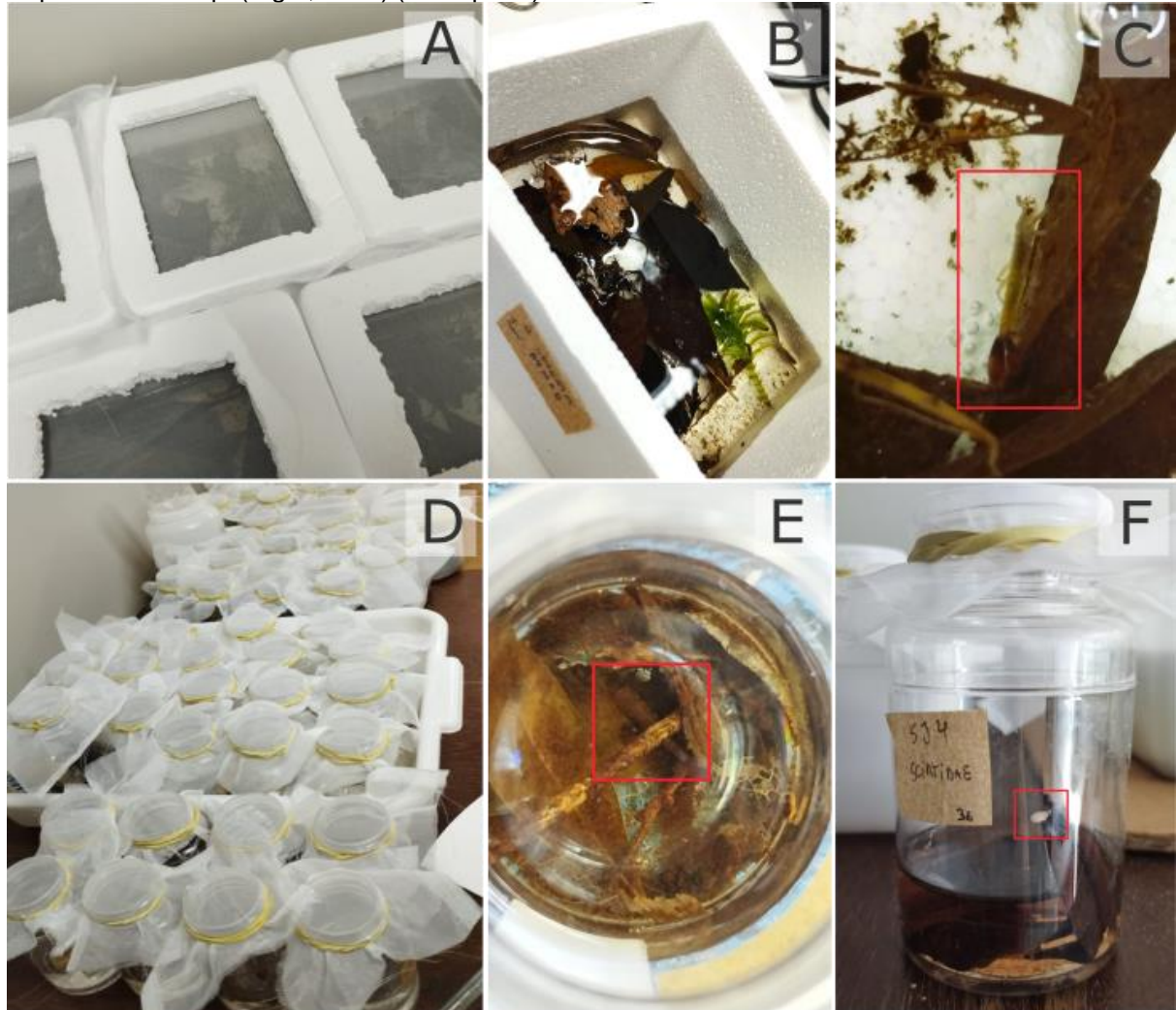
Foram realizadas expedições a campo para coletas de fitotelmo, sob licença do IAP n° 46.21, ao longo do ano de 2022, durante os meses de março a novembro (Apêndice A). Para cada local de estudo, amostrou-se 7 espécimes da espécie *W. cyathiformis*, intercalando entre terrestres, rupícolas e epífitas de estrato baixo (até 1 m do chão), com pelo menos 8 metros de distância entre elas. Em campo, para cada bromélia registou-se a altitude e latitude, dia e horário de coleta; em seguida, foram aferidos o pH (utilizando Tira Universal de pH 0-14 Macherey Nagel) e temperatura do fitotelmo com termômetro. Também foram avaliadas as medidas morfométricas das plantas como a altura, diâmetro interno e diâmetro externo utilizando fita métrica com precisão de 1 mm, e contados número total de folhas vivas.

O fitotelmo das bromélias foi coletado *in situ*, de forma não destrutiva, por razões éticas, com o objetivo de evitar maiores impactos ecológicos e ambientais, pois é um método que não necessita da retirada da planta do seu habitat e nem de seu desfolhamento (JABIOL *et al.*, 2009; SODRÉ; ROCHA; MESSIAS, 2010). Embora essa técnica de coleta seja menos eficiente em comparação à dissecação de plantas

(JOCQUE *et al.*, 2010), ela já foi utilizada com sucesso por outros pesquisadores da área (JABIOL *et al.*, 2009; CÉRÉGHINO *et al.*, 2010; JOCQUE *et al.*, 2010; SODRÉ; ROCHA; MESSIAS, 2010; BROUARD, 2012; JÚNIOR *et al.*, 2017; VANDROMME *et al.*, 2019).

Portanto, para a coleta do fitotelmo foram utilizadas pipetas e seringas de 100 mL, com orifícios de 2 a 5 mm de diâmetro acopladas a tubos de silicone (2-5 mm de diâmetro) para sugar toda a água retida nas cisternas foliares (SODRÉ; ROCHA; MESSIAS, 2010). A matéria orgânica presente dentro do fitotelmo, contida na base das bainhas foliares de cada planta, foi cuidadosamente coletada utilizando pinças, e acondicionadas em potes plásticos devidamente identificados e separados do fitotelmo. Em laboratório (M-41 da UEPG), todos os fitotelmos coletados foram aferidos em proveta graduada para determinar o volume total de água que havia em cada uma das bromélias amostradas. Em seguida, observamos as amostras em microscópio estereoscópio para separar e criar os organismos imaturos, ao encontrar larvas ou imaturos de iguais morfotipos, uma delas foi fixada em álcool 70% e a outra ou mais, foram criadas em potes de 100 ml e as larvas de Odonata em caixas de isopor 6x8cm (Figura 3.3), todas com um ambiente semelhante ao fitotelmo da Bromeliaceae. Em seguida, as amostras de fitotelmos foram filtradas (filtro de 0,03 mm) e fixadas em etanol 70% para realizarmos a triagem de todos os macroinvertebrados aquáticos restantes.

Figura 3.3 – Criação de macroinvertebrados aquáticos dos fitotelmos de *Wittrockia cyathiformis*. A – Criação de Odonata; B – Terrário de Odonata; C – Larva de *Homeoura chelifera* (Selys, 1876) (Odonata) no terrário; D – Diversos invertebrados aquáticos, principalmente larvas, criadas em potes de 100 ml; E – Larva de *Phylloicus* sp. (Müller, 1880) (Trichoptera) em seu casulo ao fundo do criadouro; F – Pupa de *Scirtes* sp. (Illiger, 1807) (Coleoptera).



Fonte: a autora.

A matéria orgânica que foi acondicionada em potes distintos do fitotelmo foi imersa em água para separar os invertebrados que ficaram retidos sobre elas. Após esse isolamento, também se fixou esses invertebrados em etanol 70%, assim como os detritos. Posteriormente, todas as amostras foram triadas e os invertebrados separados em morfotipos a partir da distinção da morfologia externa dos animais, com a utilização de estereomicroscópio no laboratório M-41 da UEPG.

O conteúdo restante pós-triagem do fitotelmata, que inclui a matéria orgânica acumulada presente na amostra e a matéria orgânica coletada, foi analisada para obtenção da quantidade de detritos totais, estes foram secos a 60°C por 72 horas e

posteriormente pesados em balança analítica (precisão de 0,001g) (ARMBRUSTER; HUTCHINSON; COTGREAVE, 2002).

3.2.2.1 Identificação de macroinvertebrados

Após a triagem, identificamos os macroinvertebrados até o menor nível taxonômico possível utilizando chaves de identificação disponíveis na literatura (BOUCHARD, 2004; BORKENT; SPINELLI, 2007; PINHO, 2008; THYSSEN, 2009; TRIVINHO-STRIXINO, 2011; HAMADA; NESSIMIAN; QUERINO, 2014; DAMBORENEA; THORP; ROGERS, 2020; SALLUM *et al.*, 2020). Em seguida, no Laboratório de Genética e Evolução (M-40) da UEPG, todos os morfotipos de macroinvertebrados aquáticos, imaturos e adultos, foram fotografados com a câmera MC170 HD (Leica®) acoplada ao estereomicroscópio Leica® M205 C, e por meio do software LAS 4.8.0 (Leica®) foram capturadas e geradas as imagens. Quando necessário, também utilizamos o microscópio de epifluorescência Olympus® BX 41 para visualização e captura de imagens, sendo necessário o software DP controller e o software Helicon Focus 7 para obter a imagem final em 3D. Em sequência, entramos em contato, por e-mail, com especialistas de cada táxon identificado (Apêndice B) para envio das fotografias e confirmação de identificação.

3.2.2.2 Procedimentos necessários para a identificação

Vários exemplares em estágios imaturos das famílias Ceratopogonidae e Chironomidae podem ser identificados até gênero a partir das peças bucais (TRIVINHO-STRIXINO, 2011; FUSARI; DANTAS; PINHO, 2018; RONDEROS *et al.*, 2018). Para a visualização das estruturas foram necessárias uma série de etapas. Inicialmente, as larvas foram submetidas à pré-desidratação em álcool 80% por 15 minutos. Em seguida, foram imersas em solução de hidróxido de potássio (KOH) 10% e colocadas sobre uma platina aquecida para dar início ao processo de diafanização. Após isso, as larvas foram neutralizadas mergulhando-as rapidamente em ácido acético 10% e imediatamente transferidas para desidratar em álcool absoluto 1 por 15 minutos, e em seguida, para o álcool absoluto 2 para finalizar a desidratação por mais 15 minutos. Após completar todas as etapas, a capsula cefálica das larvas foram

montadas em lâminas semipermanentes e fotografadas em vista ventral no microscópio de epifluorescência Olympus® BX 41 na objetiva de 40x.

Para identificar os machos adultos criados a partir das larvas das famílias Chironomidae, Culicidae, Psychodidae e Sciaridae, realizou-se o mesmo procedimento descrito anteriormente. Mas nesse caso, utilizamos da terminália dos machos e fotografamos em vista lateral, dorsal e ventral para a identificação e diferenciação de espécies a partir dessa estrutura. Além disso, para Psychodidae também foi necessária a dissecação do corpo do macho adulto, montando em lâmina semipermanente a cabeça em vista posterior, asas, tórax com as pernas em vista lateral e o abdome com a genitália em vista dorsal (BRAVO, 1996).

Para a diferenciação de espécie em Scirtidae (Coleoptera) as larvas permaneceram imersas em ácido láctico durante 5 dias para o clareamento do corpo. Posteriormente as larvas foram colocadas em uma lâmina escavada contendo glicerina para a dissecação e visualização das seguintes estruturas morfológicas internas e externas: clipeolabro, mandíbulas, maxilas e hipofaringe (quando necessário, os segmentos abdominais 8 e 9 também foram examinados para confirmar a determinação) (YOSHITOMI, 2005, WATTS, 2014; LIBONATTI; RUTA, 2018). Em seguida, foram montadas lâminas semipermanentes com glicerina para fotografar essas estruturas no microscópio de epifluorescência Olympus® BX 41 e enviadas as fotografias e os exemplares para a especialista (Apêndice B).

4 RESULTADOS

4.1 ARTIGO 1: DIFERENTES TIPOLOGIAS FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA REVELAM A PLASTICIDADE FENOTÍPICA EM UMA ESPÉCIE ENDÊMICA DE BROMÉLIA

Resumo: A pesquisa aborda a plasticidade fenotípica em *Wittrockia cyathiformis* (Bromeliaceae), espécie endêmica da Mata Atlântica objetivando avaliar sua variação morfológica em relação aos hábitos de vida e aos tipos de floresta, Floresta Ombrófila Densa (FOD) e a Floresta Ombrófila Mista (FOM). Realizamos coletas em campo em Unidades de Conservação Estaduais e no Parque Nacional dos Campos Gerais no Paraná, durante os anos de 2022 e 2023. Mensuramos os parâmetros morfométricos vegetativos de 6 a 8 bromélias para cada hábito de vida (epífita, rupícola e terrestre) das tipologias florestais, somando 43 exemplares, sendo 22 para a FOD e 21 para a FOM; também classificamos o *status* de conservação regional (Paraná) da espécie. Os resultados indicam que os hábitos de vida da planta não são fonte de variações fenotípicas significativas, exceto pelo comprimento da bainha foliar, que é maior em epífitas. Por outro lado, *W. cyathiformis* apresenta padrões fenotípicos distintos de acordo com as tipologias florestais, influenciadas pelas condições bioclimáticas e ambientais específicas. As bromélias em FOD exibem características comuns a espécies de ambientes quentes e úmidos, enquanto em FOM, as folhas são mais estreitas e de espinhos diminutos. Essa plasticidade fenotípica pode auxiliar na adaptação da espécie a condições ambientais variáveis. Embora *W. cyathiformis* seja considerada como pouco preocupante (LC) no *status* de conservação regional devido a sua ampla área de extensão, a contínua perda e fragmentação de seus habitats na Mata Atlântica demanda medidas de conservação para a contínua persistência de suas populações ao longo do tempo.

Palavras-chave: Adaptação bromelícola. Conservação da flora. Morfometria foliar.

Abstract: The research addresses the phenotypic plasticity in *Wittrockia cyathiformis* (Bromeliaceae), an endemic species of the Atlantic Forest, aiming to evaluate its morphological variation in relation to lifestyle habits and forest types, namely, Dense Ombrophilous Forest (DOF) and Mixed Ombrophilous Forest (MOF). Field collections were conducted in State Conservation Units and in the National Park of Campos Gerais in Paraná, during the years 2022 and 2023. We measured the vegetative morphometric parameters of 6 to 8 bromeliads for each lifestyle habit (epiphytic, rupicolous, and terrestrial) in the forest typologies, totaling 43 specimens, with 22 from DOF and 21 from MOF. Additionally, we classified the regional conservation status (Paraná) of the species. The results indicate that the plant's lifestyle habits are not a source of significant phenotypic variations, except for the length of the leaf sheath, which is greater in epiphytes. On the other hand, *W. cyathiformis* exhibits distinct phenotypic patterns according to forest typologies, influenced by specific bioclimatic and environmental conditions. Bromeliads in DOF show characteristics common to species in warm and humid environments, while in MOF, the leaves are narrower with smaller spines. This phenotypic plasticity may aid the species in adapting to variable environmental conditions. Although *W. cyathiformis* is considered of least concern (LC) in the regional conservation status due to its wide range, the ongoing loss and fragmentation of its habitats in the Atlantic Forest require conservation measures for the continued persistence of its populations over time.

Keywords: Bromeliad adaptation. Flora conservation. Leaf morphometrics.

4.1.1 Introdução

A presença de plasticidade fenotípica (PF) nas bromélias, bem como a grande variação da forma e tamanho das folhas das angiospermas, desempenha um papel

crucial como estratégia adaptativa. A PF permite que essas plantas explorem diferentes nichos ecológicos, sobrevivam em ambientes adversos e atendam às demandas fisiológicas impostas pelo ambiente (GIVNISH, 1979; NEVES *et al.*, 2019).

Essa ampla diversidade de formas tem sido analisada para compreender a influência da temperatura, precipitação pluviométrica e distâncias geográficas em padrões locais e globais, considerando diferentes espécies de plantas no mundo (ROYER *et al.*, 2009; PEPPE *et al.*, 2011; MOLES *et al.*, 2014; WRIGHT *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2021). No entanto, são escassos os estudos focados na plasticidade fenotípica de Bromeliaceae, principalmente aquelas que consideram as variações bioclimáticas e fitogeográficas (CHAVES; LEAL; LEMOS-FILHO, 2018; NEVES *et al.*, 2019). A maioria das pesquisas sobre variações fenotípicas nessa família se concentram na influência do ambiente luminoso e sombreado, bem como, na plasticidade entre suas formas de vida em um mesmo ambiente (FREITAS; SCARANO; BLESBOER *et al.*, 2003; REINERT *et al.*, 2013; BARBERIS *et al.*, 2017; ZORGER; ARRIVABERNER; MILANEZ, 2019).

A Mata Atlântica brasileira é reconhecida como uma região de elevada biodiversidade, configurando-se como um *hotspot*, com mais de 75% de suas áreas devastadas (MYERS *et al.*, 2000; RIBEIRO *et al.*, 2009). Dentro dessa riqueza biológica, a família Bromeliaceae desempenha um papel de significativa relevância, tanto em número de espécies endêmicas quanto como amplificadoras da biodiversidade (LADINO *et al.*, 2019; FORZZA *et al.*, 2023). Dentre as espécies endêmicas da Mata Atlântica, destaca-se *Wittrockia cyathiformis* (Vell.) Leme, uma bromélia-tanque que ocorre em diferentes hábitos de vida, como rupícola, terrestre e epífita, possui distribuição geográfica nas regiões sudeste e sul do país, e ocorre principalmente nas Florestas ombrófila densa (FOD) e mista (FOM) (TARDIVO, 2023; WANDERLEY; MARTINS, 2007). Essa é uma espécie que exhibe considerável variação fenotípica, porém, até o momento, essa diversidade ainda não foi objeto de investigação.

As diferentes tipologias florestais que compõe a Mata Atlântica, como a FOM e a FOD apresentam um contexto interessante de estudo sobre a PF de *W. cyathiformis*, pois cada tipologia florestal apresenta combinações singulares de condições fitoecológicas e climáticas. Na região Sul do Brasil, a FOM tem uma estação chuvosa de outubro a março e uma estação seca no restante do ano, ocorrem geadas severas e as temperaturas variam de menos de 10°C no inverno a mais de 20°C no verão

(IAPAR, 2019; MAACK, 2012). A FOD na mesma região é caracterizada pela influência marítima e pelo clima quente costeiro, há alta umidade e precipitação, com uma média anual de 3.700 mm (STRUMINSKI, 2001; MAACK, 2012).

Conforme observado por Peppe *et al.* (2011) em locais com temperaturas médias anuais mais elevadas, há uma tendência de as angiospermas apresentarem folhas com diâmetros menores e comprimentos maiores em relação à largura. Givnish (1984) destaca que plantas em climas mais quentes e com menor disponibilidade hídrica apresentam folhas adaptadas para reduzir a perda de água por evaporação, ou seja, são menores em comparação à climas úmidos. Outras observações, especificamente com Bromeliaceae, constataam a predominância de bromélias com folhas e bainhas estreitas em regiões caracterizadas por climas quentes em associação com elevados índices de precipitação pluviométrica (NEVES *et al.*, 2019). Portanto, ainda é incerta a influência do clima sob a determinação do tamanho foliar de bromélias, e se essas, correspondem ao padrão observado em outras angiospermas (GIVNISH, 1984; PEPPE *et al.*, 2011; WRIGHT *et al.*, 2017; NEVES *et al.*, 2019).

No contexto da Ecofisiologia, em Bromelioideae subfamília na qual enquadra-se *W. cyathiformis*, a absorção de água e nutrientes é desempenhada pelas escamas que recobrem a porção da bainha foliar em contato com o fitotelmo, tanto na superfície adaxial quanto abaxial, com raízes voltadas às funções condicionalmente absorptivas e à fixação no substrato (BENZING, 2000). As bromélias epifíticas dependem de características morfológicas e fisiológicas, como as escamas e cisternas formadas pelas folhas que acumulam água para sobreviver nos forófitos, já que não possuem conexão direta dos nutrientes e água do solo florestal (BENZING, 2000; OLIVEIRA, 2004). Nas espécies de bromélias-tanque a densidade de tricomas geralmente é maior na bainha foliar, nesse sentido, a absorção de água e nutrientes pela folha é influenciada pela presença, forma e distribuição das escamas na superfície da bainha em contato com o fitotelmo (BENZING, 2000; STEFANO; PAPINI; BRIGHIGNA, 2008).

Nesse sentido, hipotetizamos que a espécie *W. cyathiformis* apresenta distintos padrões de estruturação morfométrica de acordo com seu hábito de vida e ambiente florestal na Mata Atlântica. Predizemos (a) que bromélias de hábito terrestre apresentam bainhas foliares menores e menor densidade de tricomas peltados absorventes devido à possibilidade da utilização das raízes para a nutrição e

hidratação, e que o oposto ocorra nas epífitas e rupícolas. De acordo com o ambiente florestal, em FOD, predizemos (b) que as bromélias apresentarão lâminas foliares mais largas, devido a influência da maior disponibilidade hídrica e temperaturas elevadas ao longo do ano. Por outro lado, na FOM, esperamos que as lâminas foliares exibam um padrão fenotípico divergente, relacionado à escassez hídrica.

4.1.2 Material e métodos

4.1.2.1 Caracterização da espécie

Wittrockia cyathiformis pode ser encontrada sob diferentes formas de vida (epífitas, rupícolas e/ou terrestres), se diferenciando das demais espécies do gênero pela inflorescência com escapo róseo à vermelho-escuro, brácteas que configuram uma taça e sépalas estreitamente triangulares, levemente assimétricas e acuminadas (TARDIVO, 2023). As lâminas foliares são caracterizadas por serem marmorizadas, com manchas verde-escuras em toda a extensão, de margens serrilhadas com presença de espinhos (Figura 4.1). Essa espécie é uma bromélia-tanque, pois suas folhas estruturam uma roseta infundibuliforme e a sobreposição das bainhas foliares formam cisternas que acumulam água e detritos que dão origem ao fitotelmo (BENZING, 2000; TARDIVO, 2023).

Figura 4.1 – *Wittrockia cyathiformis*. A – Exemplar epífita em FOM de lâminas foliares estreitas, com inflorescência e brácteas que configuram um formato de taça; B – Exemplar epífita em FOD onde se observa lâminas foliares largas e marmorizadas com manchas verde-escuras em toda a extensão.

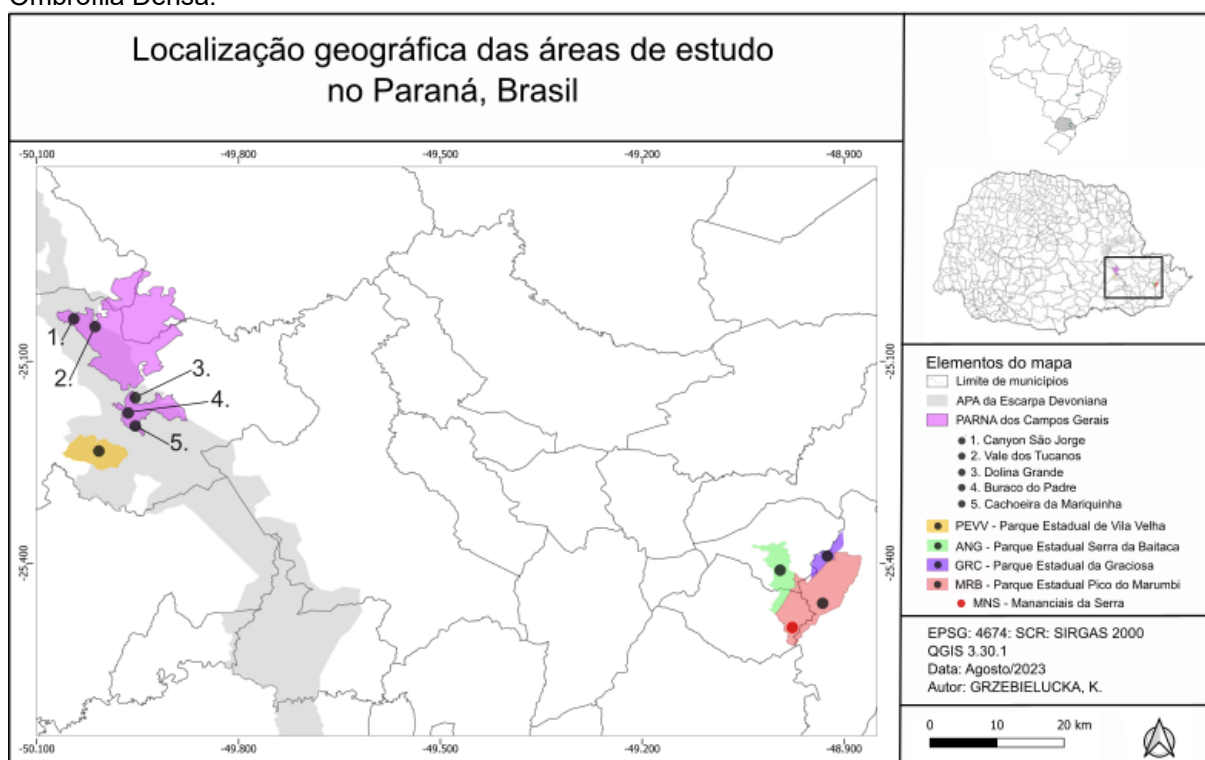


Fonte: a autora.

4.1.2.2 Áreas de estudo

Amostramos populações de *W. cyathiformis* em seis fragmentos florestais de FOM e quatro fragmentos florestais de FOD no Paraná (Figura 4.2) durante os anos de 2022 e 2023. As localidades foram selecionadas com base em coleções de herbários, cujos dados estão disponibilizados no *Species Link* (smlink.org.br).

Figura 4.2 – Áreas de estudo nos fragmentos florestais da Mata Atlântica do Paraná. À esquerda estão situados os pontos de coleta em Floresta Ombrófila Mista e à direita os locais amostrados em Floresta Ombrófila Densa.



Fonte: a autora.

A FOM no Sul do Brasil apresenta temperaturas inferiores a 10°C nos meses mais frios e superiores a 20°C nos mais quentes, ocorrem também, geadas severas e frequentes (LEITE, 2002; RODERJAN *et al.*, 2002; KERSNTEN; BORGIO; GALVÃO, 2015). A área original de FOM, era de aproximadamente 200.000 Km² no Brasil, e ocorria em maior área no Paraná (40%). Estima-se que hoje, seus remanescentes em estágios avançados de sucessão equivalem apenas a aproximadamente 0,7% de sua área original (CASTELLA; BRITZ, 2004).

A Floresta Ombrófila Densa (FOD) ocupa as planícies quaternárias do Pleistoceno e as encostas da Serra do Mar, está presente em toda a faixa litorânea

do Brasil (BLUM; RODERJAN; GALVÃO, 2011). No Paraná a FOD apresenta os maiores índices pluviométricos do Estado. Essa tipologia florestal é caracterizada por umidade elevada, verões frescos, geadas frequentes nos picos durante o inverno e precipitação média anual acumulada de 3.700 mm; as temperaturas médias estão entre 18°C nos meses mais frios e 22°C nos meses mais quentes (STRUMINSKI, 2001).

4.1.2.3 Delineamento amostral

O esforço amostral para o objetivo de encontrar as populações de *W. cyathiformis* totalizou 60 horas de busca em cada local de amostragem entre os anos de 2022 e 2023. A presença de exemplares em estado reprodutivo foi escassa, mesmo durante o período de floração. Portanto, adotamos o critério de selecionar as bromélias de maior tamanho em cada local, escolhendo os exemplares com maior número de folhas, diâmetro externo e altura. A fim de evitar a coleta de espécimes muito próximas, consideramos uma distância mínima de 20 m entre elas.

Mensuramos os parâmetros morfométricos vegetativos de 6 a 8 exemplares para cada hábito de vida das tipologias florestais, somando 43 bromélias, sendo 22 bromélias para FOD e 21 para FOM (Tabela 4.1). Para a coleta de dados relacionados às bromélias epífitas e rupícolas, fez-se necessário o acesso direto a elas nas árvores e rochas, coletando dados apenas das bromélias acessíveis até o nível de 2 m de altura. Os exemplares encontrados em estado reprodutivo foram coletados, herborizados e tombados no Herbário HUPG da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Locais, tipologias florestais, número de amostras (N) e número tombo das exsicatas depositadas no Herbário da Universidade Estadual de Ponta Grossa, para avaliação da plasticidade fenotípica de *Wittrockia cyathiformis*.

Local, município	Tipologia florestal	E	R	T	N	Nº tombo
Canyon São Jorge, Ponta Grossa	FOM	1	2	3	6	22.939
Cachoeira da Mariquinha, Ponta Grossa	FOM	1	-	1	2	22.938
Vale dos Tucanos, Ponta Grossa	FOM	-	1	3	4	-
Dolina Grande, Ponta Grossa	FOM	1	-	-	1	-
PE de Vila Velha, Ponta Grossa	FOM	2	2	1	5	22942; 22941
Parque de Natureza Buraco do Padre, Ponta Grossa	FOM	1	2	-	3	22.940
Mananciais da Serra (CEAM), Piraquara	FOD	-	2	-	2	-
PE Serra da Baitaca, Quatro Barras	FOD	1	4	3	8	22.936
PE Pico do Marumbi, Morretes	FOD	5	1	4	8	-
PE da Graciosa, Morretes	FOD	2	-	-	2	22.937; 22.935

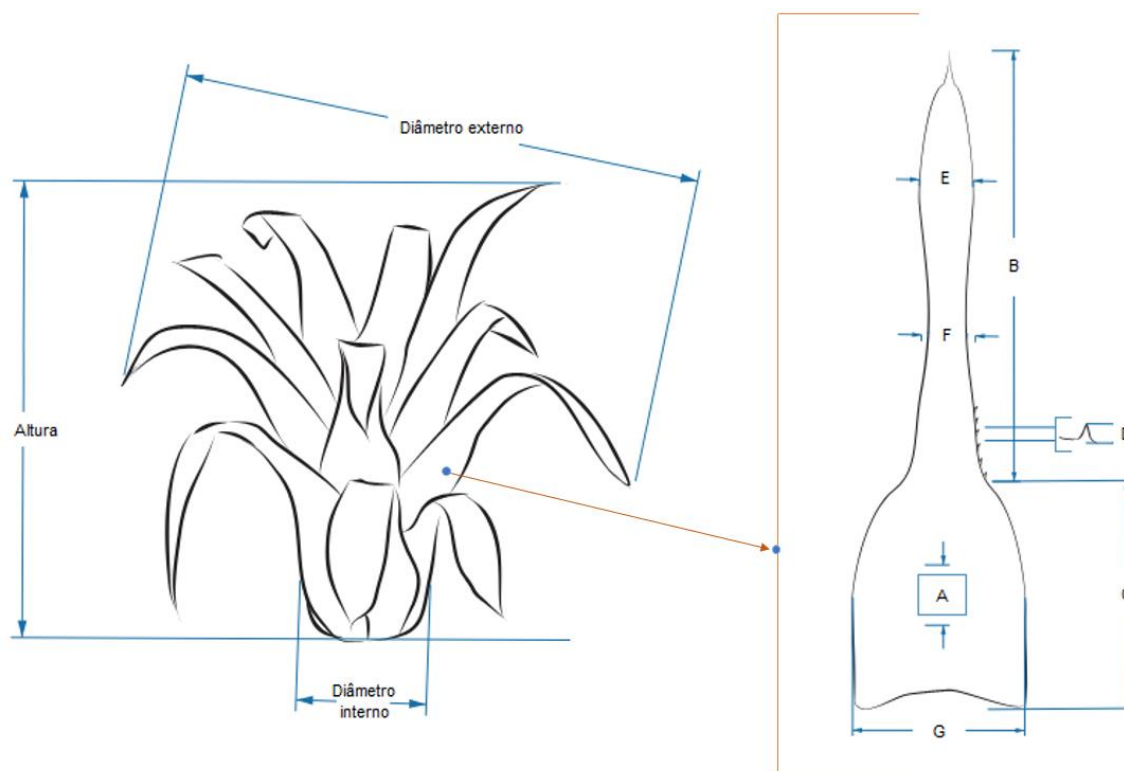
Fonte: a autora.

Legenda explicativa: E – epífita; R – rupícola; T – terrestre; N – número total de espécimes.

4.1.2.4 Características avaliadas

In situ os seguintes parâmetros morfométricos (Figura 4.3) foram mensurados em milímetros, utilizando uma trena métrica: a) altura em relação ao chão, para as formas de vida epífita e rupícola; b) contagem do número total de folhas; c) diâmetro externo da bromélia, considerado como a distância de uma extremidade à outra das folhas opostas; d) diâmetro interno, dado como a largura do início da roseta, medidas de uma bainha foliar à outra na extremidade oposta; e) altura da planta, considerada como a distância da base de seu substrato até o ápice da folha mais alta. Destacamos uma folha da porção mediana da planta e com a folha totalmente expandida, utilizando paquímetro (precisão: 0,02 mm) mediu-se, em laboratório: f) largura da bainha foliar totalmente estendida; g) comprimento da bainha foliar; h) comprimento da lâmina foliar; i) largura do ápice (porção distal) da lâmina foliar; j) largura do meio da lâmina foliar; k) comprimento do 4º espinho na base da lâmina foliar; l) comprimento do 4º espinho no ápice da folha (Adaptados de: COGLIATTI-CARVALHO; ALMEIDA; ROCHA, 1998; LENZI, MATOS; ORTH, 2006; NEVES *et al.*, 2019; VOLTOLINE; SANTOS, 2011; URIBBE *et al.*, 2020).

Figura 4.3 – Parâmetros morfométricos analisados em *Wittrockia cyathiformis*.



Fonte: a autora.

Legenda explicativa: A – Área da bainha foliar para a realização de cortes com 3 cm² para avaliação de tricomas peltados absorventes; B – Comprimento da lâmina foliar; C – Comprimento da bainha foliar; D – Comprimento do 4º espinho na base da lâmina foliar; E – Largura do ápice da lâmina foliar; F – Largura do meio da lâmina foliar; G – Largura da bainha foliar totalmente estendida.

Nota: A folha em destaque na figura, exemplifica de onde ela foi retirada da região mediana da roseta foliar, a qual foi destacada da bromélia para avaliação dos parâmetros morfométricos exemplificados à direita.

Avaliamos a frequência de tricomas nas bromélias utilizando das mesmas folhas destacadas, de pelo menos 3 diferentes locais de estudo para cada fitofisionomia, sendo 1 bromélia epífita, 1 rupícola e 1 terrestre de cada população, o que corresponde a 18 bromélias. Para essa análise foram realizados cortes à mão livre na bainha foliar de aproximadamente 3 cm² utilizando lâmina de aço. De modo que os cortes fossem de uma mesma região da bainha foliar para todos os exemplares, dividimos ao meio as medidas da largura e comprimento da bainha (Figura 4.3 – A).

Em seguida, foram feitos cortes paradérmicos nas faces abaxial e adaxial dessas amostras para a confecção de lâminas semipermanentes com gelatina-glicerina (STEFANO; PAPINI; BRIGHIGNA, 2008). Após, as escamas foram fotografadas em microscópio de epifluorescência Olympus® BX 41 nas objetivas de

4x, 10x e 40x, em seguida, para efetuar a contagem de tricomas peltados absorventes foi utilizado o Software *Image J*. Para o estudo em Microscopia Eletrônica de Varredura, partes da bainha foram fixadas em FAA, desidratadas em série alcoólico-etílica e metalizadas. O material foi fotografado no C-LABMU da UEPG.

4.1.2.5 *Status* de conservação

A classificação do *status* de conservação regional (Paraná) de *W. cyathiformis* foi conduzida conforme os critérios estabelecidos pela IUCN *Standards and Petitions Committee* (2022). Foi realizado um levantamento dos registros de coleta da espécie, utilizando de dados disponibilizados no herbário virtual *Species Link* (splink.org.br), além das coletas próprias. As coordenadas geográficas foram utilizadas para calcular a extensão da ocorrência (EOO) de acordo com o critério B1 da IUCN (2022), utilizando o *Google Earth*. Conforme os critérios estabelecidos, a espécie pode ser classificada como criticamente em perigo (CR) se a EOO for inferior a 100 km², em perigo (EN) se for inferior a 5.000 km² e vulnerável (VU) se for inferior a 20.000 km². No caso de *W. cyathiformis*, a extensão da ocorrência (EOO) foi calculada em 55.458,44 km², resultando em sua classificação como pouco preocupante (LC).

4.1.2.6 Análise estatística

Executamos uma análise exploratória do conjunto de dados a fim de avaliar sua adequação aos pressupostos da estatística paramétrica. Para isso, empregamos o Teste de Shapiro-Wilk para normalidade, cujos resultados foram $p > 0,05$, indicando a natureza paramétrica dos dados. Também testamos a homoscedasticidade a partir do teste de Fligner-Killeen, disponível no pacote “stats” (R CORE TEAM, 2023), resultando em $p > 0,05$ demonstrando ser homocedásticos.

Avaliamos as diferenças nas variáveis fenotípicas das bromélias entre os hábitos de vida, utilizando a ANOVA, seguida por Teste de Tukey (ao nível de significância de 5%), e entre as tipologias florestais aplicamos o Teste t. Para a visualização gráfica desses resultados foram gerados *violin plots* com base nos mesmos testes. Utilizamos a análise de componentes principais (PCA) para verificar o agrupamento da morfometria da bromélia para cada forma de vida e fitofisionomias estudadas por meio do pacote “stats” (R CORE TEAM, 2023).

Para a avaliação da influência do clima sobre o fenótipo das bromélias, os dados de 19 variáveis bioclimáticas foram obtidos considerando a coordenada geográfica de cada uma das bromélias ($N = 43$) por meio do banco de dados Worldclim (www.worldclim.org) com resolução espacial de 30 segundos de arco; esses dados foram extraídos utilizando o pacote “raster” (R CORE TEAM, 2023). Realizamos comparações das variáveis bioclimáticas entre as distintas tipologias florestais por meio da aplicação do Teste t, com o objetivo de investigar a existência de disparidades nas médias entre as variáveis bioclimáticas e avaliar sua significância estatística. Posteriormente, utilizamos a PCA para estabelecer correlações entre as variáveis bioclimáticas e morfométricas. Por meio do pacote “FactoMineR” (R CORE TEAM, 2023) ambas as variáveis mais explicativas foram selecionadas para cada eixo. Em seguida, com o pacote “corrplot” obtemos uma matriz de correlação entre as variáveis com valores de explicação que vão de positivo a negativo ($r < 0$ ou $r > 0$) também considerando $p < 0,05$ (R CORE TEAM, 2023).

4.1.3 Resultados

4.1.3.1 Variação fenotípica

A morfometria de *Wittrockia cyathiformis* quando comparada entre seus hábitos de vida, apresentou diferença significativa em um único parâmetro morfométrico, no comprimento da bainha foliar ($p = 0,03$; Tabela 4.2). A distinção desse parâmetro ocorreu entre as epífitas e terrestres ($p = 0,05$; Figura 4.4), sendo maior nas bromélias de hábito epífita. As demais variáveis entre as formas de vida não apresentam mudanças expressivas.

Diferentemente, entre as tipologias florestais, houve significativa PF, observadas pelas diferenças ($p < 0,02$) na altura da planta, diâmetro externo, número de folhas, largura da bainha foliar; comprimento, largura do ápice e meio da lâmina, e no comprimento do espinho na base e no ápice da lâmina foliar (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Comparação dos parâmetros morfométricos de *Wittrockia cyathiformis* entre Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Ombrófila Mista (FOM), e entre seus hábitos de vida epífita, rupícola e terrestre.

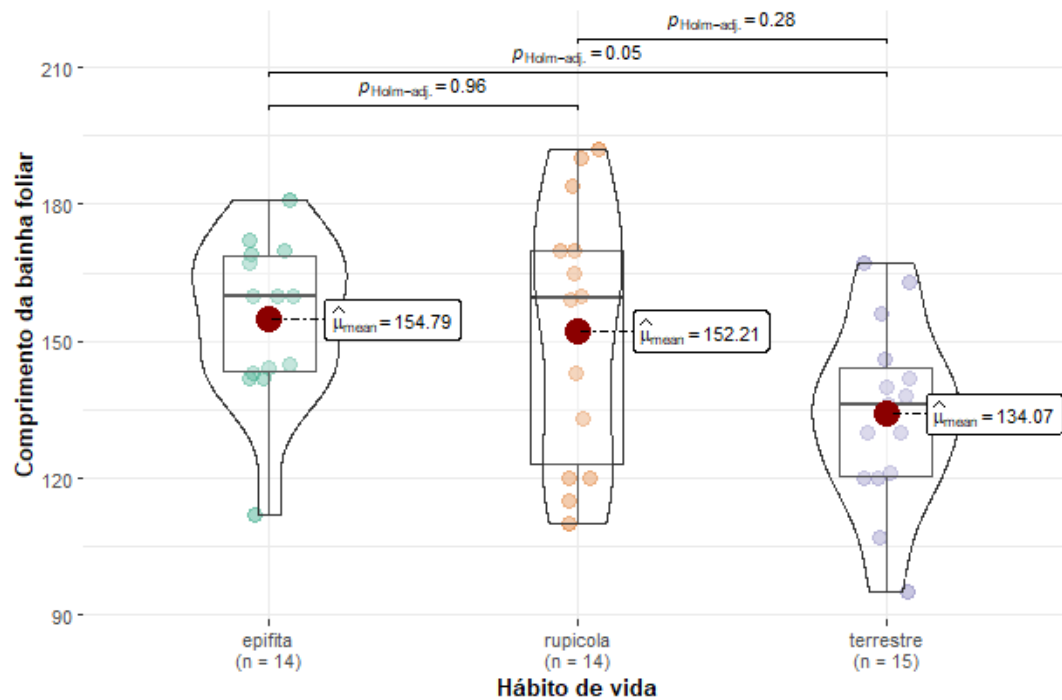
Parâmetros	FOD	FOM	t.test	p value	Hábito epífita	Hábito rupícola	Hábito terrestre	F value	p value
	Média ± SE	Média ± SE			Média ± SE	Média ± SE	Média ± SE		
ALT	479,09 ± 111,31	683,33 ± 119,72	-5,79	0***	543,57 ± 159,45	599,29 ± 170,86	592,67 ± 135,99	0,54	0,59
DE	744,55 ± 143,65	1008,43 ± 186,31	-5,18	0***	888 ± 195,97	882,5 ± 248,74	851,33 ± 200,21	0,14	0,89
DI	194,55 ± 39,49	195,95 ± 46,09	-0,11	0,92	195,36 ± 42,17	201,43 ± 48,97	189,33 ± 37,7	0,29	0,75
NF	19,82 ± 2,82	21,67 ± 2,29	-2,36	0,02*	20,36 ± 3,69	20,93 ± 2,5	20,87 ± 1,85	0,18	0,84
COMPBF	141,5 ± 26,03	152,19 ± 20,71	-1,49	0,14	154,79 ± 17,88 ^a	152,21 ± 28,58 ^{ab}	134,07 ± 19,86 ^b	3,68	0,03*
LARBF	110,36 ± 18,55	93,19 ± 15,28	3,32	0***	98,14 ± 20,38	110,36 ± 18,69	97,73 ± 16,18	2145,00	0,13
COMPLF	416,64 ± 113,53	665 ± 209,90	-4,68	0***	552,14 ± 249,40	552,71 ± 172,98	510,87 ± 194,05	0,18	0,83
LARAPL	58,77 ± 7,96	47,81 ± 8,27	4,42	0***	51,14 ± 17,88	56,36 ± 8,7	52,8 ± 9,78	1,05	0,36
LARML	63,77 ± 13,23	35,95 ± 7,37	8,57	0***	50,57 ± 18,94	50,86 ± 19,86	49,2 ± 15,27	0,04	0,97
CMPESPA	1,03 ± 0,49	0,69 ± 0,31	2,72	0,01*	0,7 ± 0,3	0,93 ± 0,5	0,95 ± 0,46	0,22	0,80
CMPESPB	3,95 ± 1,18	1,7 ± 0,53	8,13	0***	2,06 ± 1,26	2,89 ± 1,53	3 ± 1,62	1458,00	0,25
NTAB10	13 ± 4,39	13,5 ± 2,15	0,61	0,55	14,71 ± 4,95	14 ± 2,20	13,28 ± 2,71	0,25	0,78
NTAB4	74,18 ± 15,34	71,1 ± 14,25	0,82	0,43	73 ± 15,35	69,86 ± 20,22	61,14 ± 11,93	0,21	0,81
NTAD10	14,45 ± 3,27	13 ± 1,67	0,00	1,00	13,43 ± 2,06	13,84 ± 3,81	12,14 ± 0,98	0,50	0,61
NTAD4	76,64 ± 18,25	61,2 ± 12,21	1,84	0,08	73 ± 15,35	69,86 ± 20,22	61,14 ± 11,93	1,16	0,35

Fonte: A autora.

Legenda explicativa: ALT – Altura da bromélia; DE – Diâmetro externo; DI – Diâmetro interno; NF – Número de folhas; COMPBF – Comprimento da bainha foliar; LARBF – Largura da bainha foliar; COMPLF – Comprimento da lâmina foliar; LARAPL – Largura do ápice da lâmina foliar; LARML – Largura do meio da lâmina foliar; CMPESPA – Comprimento dos espinhos na base da lâmina foliar; CMPESPB – Comprimento dos espinhos no ápice da lâmina foliar; NTAB10 – Número de tricomas peltados absorventes da face abaxial da bainha foliar, objetiva de 10x em microscópio óptico; NTAB4 – Número de tricomas peltados absorventes da face abaxial da bainha foliar, objetiva de 4x em microscópio óptico; NTAD10 – Número de tricomas peltados absorventes da face adaxial da bainha foliar, objetiva de 10x em microscópio óptico; NTAD4 – Número de tricomas peltados absorventes da face adaxial da bainha foliar, objetiva de 4x em microscópio óptico.

Notas: Os valores dos parâmetros morfométricos estão em milímetros, exceto NTAB10, NTAB4, NTAD10 e NTAD4 em números decimais. Os fatores explicativos são marcados de acordo com o nível de significância (*0,05, **0,005, ***0).

Figura 4.4 – *Violin plot* do comprimento da bainha foliar de *Wittrockia cyathiformis* entre seus hábitos de vida epífita, rupícola e terrestre.

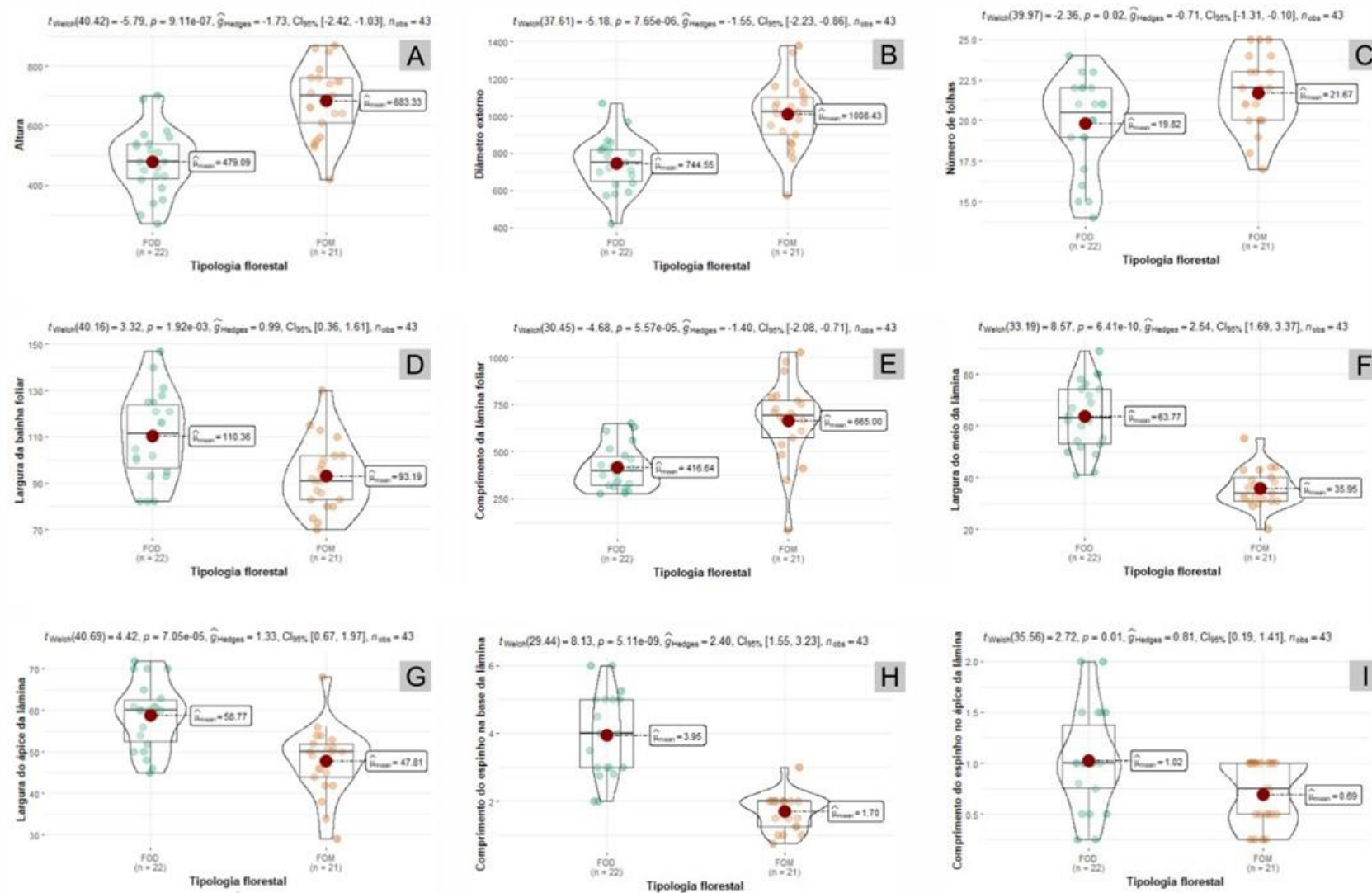


Fonte: A autora.

Legenda explicativa: Caixa central – intervalo interquartil; Ponto vermelho – média dos dados; Traço horizontal dentro da caixa central – mediana.

De modo geral, *W. cyathiformis* em ambiente de FOD são caracterizadas por possuírem bainhas e lâminas foliares largas e amplas, mas com diâmetro externo e altura menores, com grandes espinhos tanto na base quanto no ápice da lâmina foliar (Figura 4.5). Do contrário, em FOM os exemplares dessa espécie apresentam maior altura, maior diâmetro externo e elevado comprimento da lâmina foliar, com estas estreitadas e de espinhos diminutos (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Violin plots (A–I) dos parâmetros morfométricos de *Wittrockia cyathiformis* entre Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Ombrófila Mista (FOM).

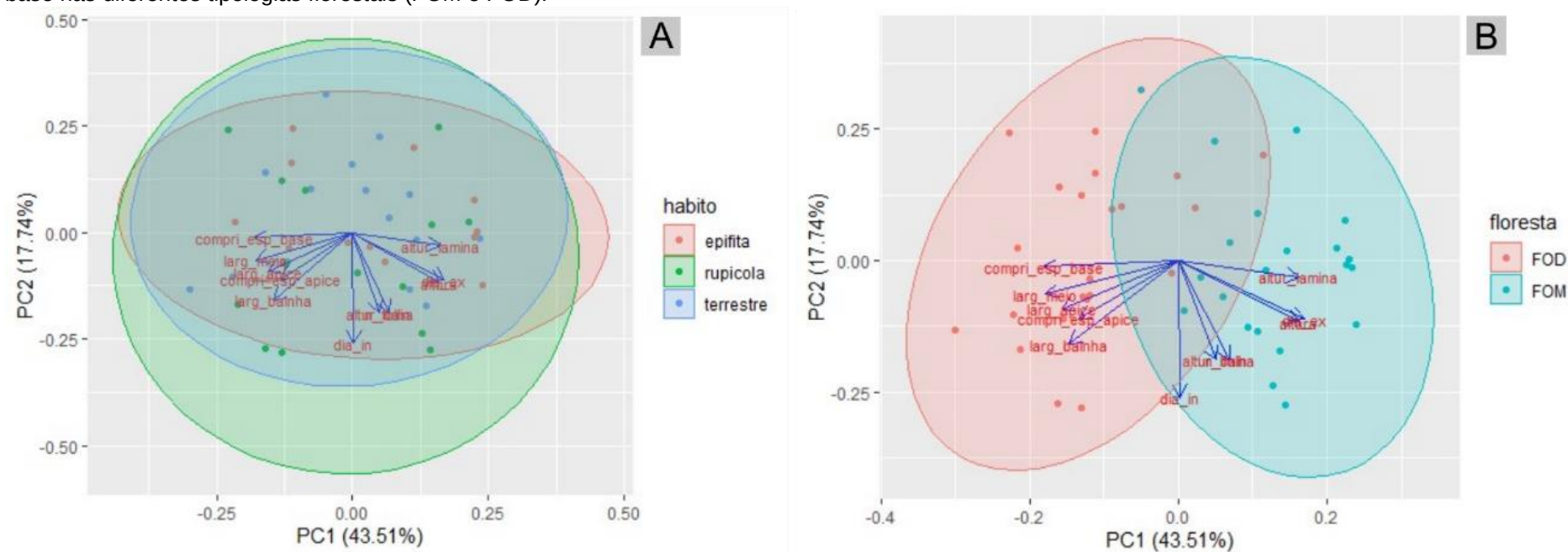


Fonte: A autora.

Legenda explicativa: Caixa central – intervalo interquartil; Ponto vermelho – média dos dados; Traço horizontal dentro da caixa central – mediana.

A análise de PCA reforça que o hábito de vida das bromélias tem pouco efeito na sua conformação morfométrica (Figura 4.6 - A), sendo impossível distinguir os três tipos com base nos dois primeiros componentes avaliados. Por outro lado, o ambiente florestal que a bromélia está inserida exerce maior influência em seu fenótipo, sendo possível observar uma clara separação e avaliar quais parâmetros estão mais relacionados a cada ambiente (Figura 4.6 - B). O diâmetro externo, a altura da bromélia e o número de folhas apresentaram maior relação com a FOM, enquanto na FOD há associação com o número de tricomas, largura da lâmina foliar e bainha, e comprimento dos espinhos.

Figura 4.6 – Análise de componentes principais (PCA) correspondente aos dados de parâmetros morfométricos de *Wittrockia cyathiformis* (n = 35). A – Ordenação das variáveis morfométricas com base nos diferentes hábitos de vida (epífita, rupícola e terrestre). B – Ordenação das variáveis morfométricas com base nas diferentes tipologias florestais (FOM e FOD).

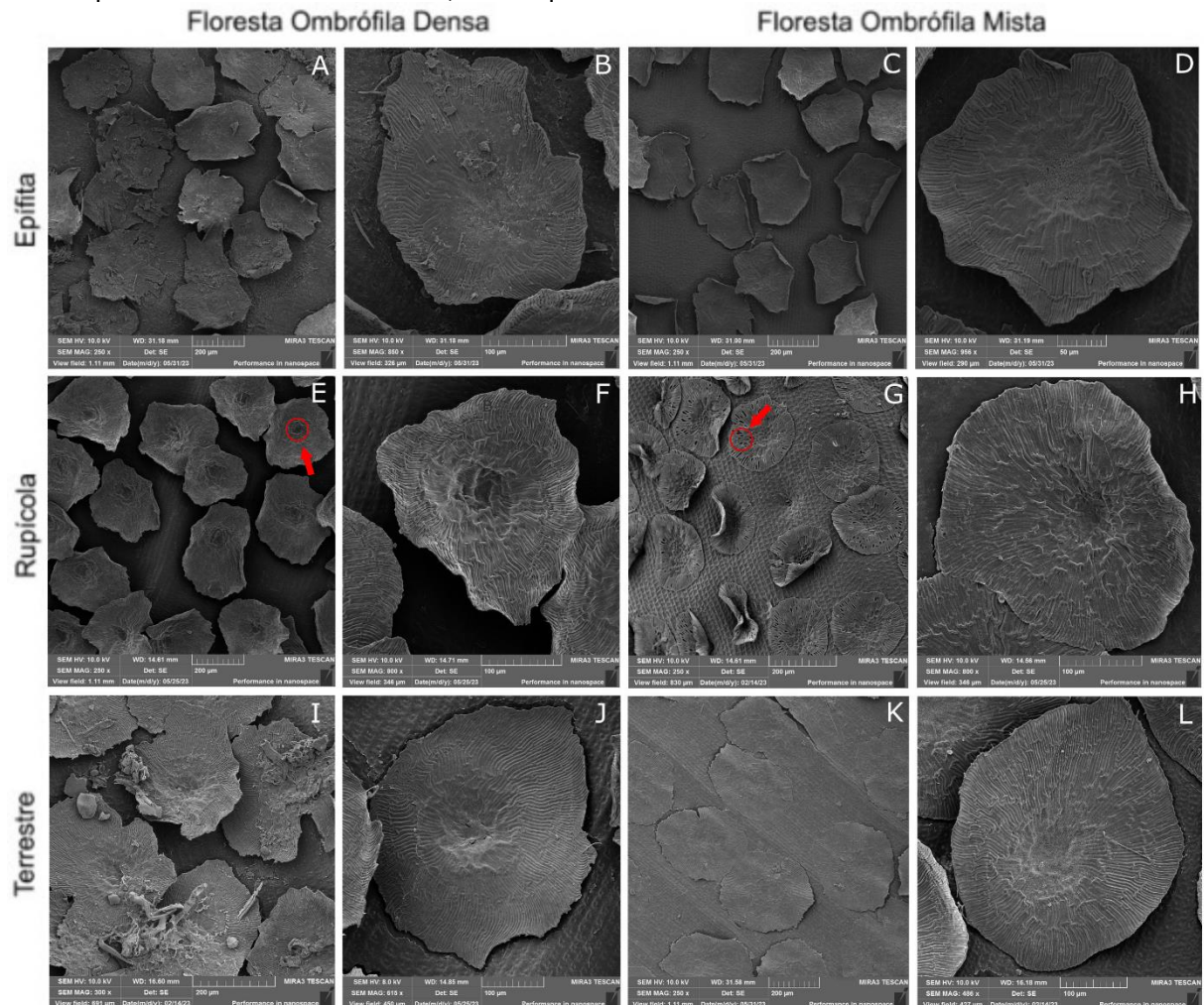


Fonte: A autora.

4.1.3.2 Tricomas peltados absorventes

As escamas são homogêneas, com uma organização concêntrica, formadas por um pequeno grupo de células na parte central e um escudo formado por células periféricas, denominadas Alas. Os tricomas peltados absorventes apresentam o padrão típico das Bromelioideae, cujos tricomas são multicelulares simples, ocorrendo frequentemente de forma desigual ao longo da folha, com uma ou duas séries mais externas de células de escudo, às vezes constituem uma ala discernível em relação às células do disco central (Figura 4.7 – E e F). Além disso, pode ser observado um maior espaçamento entre os tricomas em FOM, apresentando uma epiderme mais exposta (Figura 4.7 – C, G e K). O exemplar rupícola de FOM (Figura 4.7 – G) apresenta sinais de desidratação na Ala.

Figura 4.7 – Tricomas peltados absorventes das bainhas foliares em sua face adaxial, de *Wittrockia cyathiformis* sob as formas de vida epífita, rupícola e terrestre, entre Floresta ombrófila Densa e Mista no Paraná (BR) fotografados em microscópio eletrônico de varredura. A, B – Parque Estadual da Graciosa; C, D – Parque Estadual de Vila Velha; E, F – Parque Estadual Serra da Baitaca, destacado em vermelho estão as células centrais do disco discerníveis em relação a ala; G – Vale dos Tucanos (PARNA), em vermelho destaca-se os sinais de desidratação na ala; H – Canyon São Jorge (PARNA); I – Parque Estadual Pico do Marumbi; J - Parque Estadual Serra da Baitaca.



Fonte: A autora.

4.1.3.3 Influência da variação climática

As variáveis bioclimáticas das tipologias florestais apresentam diferenças significativas entre elas. No geral, a temperatura média anual (FOD: 20.01 ± 2.549 ; FOM: 17.40 ± 32.124 ; $t = 36.056$; $p < 0.001$) e a precipitação anual (FOD: $2.049,9 \pm 389.835$; FOM: $1.567,4 \pm 35.978$; $t = -6.244$; $p < 0.001$) apresentam as maiores médias em FOD. A maior temperatura registrada em FOD foi de $31,2^{\circ}\text{C}$ e em FOM foi de $26,7^{\circ}\text{C}$. A única variável que não diferiu entre as tipologias florestais foi a precipitação pluviométrica do trimestre mais seco (BIO17 – Apêndice C). No entanto, para o modelo

de correlação as variáveis bioclimáticas relacionadas apenas à temperatura tiveram o maior poder explicativo, com a FOD apresentando as maiores médias das variáveis bioclimáticas no modelo de correlação.

A análise entre as variáveis bioclimáticas e morfométricas de *W. cyathiformis* apresentaram algumas correlações significativas (Tabela 4.3). Os valores negativos sugerem que, à medida que a temperatura média anual e a temperatura média do quarto mês mais chuvoso aumentam, as características das bromélias (altura, comprimento da lâmina foliar e largura) tendem a diminuir (Tabela 4.3). Já conforme a temperatura máxima do mês mais quente e mais frio (BIO5 e BIO6), bem como, a temperatura mínima do mês mais frio aumentam, há uma correlação positiva, a bromélia também tende a apresentar maior altura, largura do meio da lâmina e largura da bainha foliar.

No entanto, a única característica morfométrica que demonstrou uma relação significativa e positiva sem apresentar resultados contraditórios – ou seja, resultados positivos e negativos para a mesmas variáveis – foi a largura da bainha foliar (Tabela 4.3; $r = 0,45$), que corresponde ao observado nas bainhas foliares de FOD (Figura 4.5 - D). Portanto, a maior sazonalidade da temperatura (BIO 4), que se refere à variação térmica anual, em FOD, pode influenciar no aumento da largura da bainha foliar.

Tabela 4.3 – Correlação entre as variáveis bioclimáticas e variáveis morfométricas de *Wittrockia cyathiformis* no Paraná. Na tabela são apresentados os valores de r , indicados em negrito aqueles com $p < 0,05$.

Variáveis bioclimáticas	Variáveis morfométricas			
	ALT	LARBF	COMPLF	LARML
Temperatura média anual (BIO1)	-0,59	-0,18	-0,27	-0,41
Sazonalidade da temperatura (BIO4)	-0,23	0,45	-0,14	-0,01
Temperatura máxima do mês mais quente (BIO5)	0,43	-0,17	0,15	0,02
Temperatura mínima do mês mais frio (BIO6)	0,58	0,18	0,21	0,43
Temperatura média do quarto mês mais chuvoso (BIO8)	0,17	0,06	0,31	0,7
Temperatura média do trimestre mais quente (BIO10)	-0,45	0,14	-0,14	-0,2

Fonte: A autora.

Legenda explicativa: ALT – Altura da bromélia; LARBF – Largura da bainha foliar; COMPLF – Comprimento da lâmina foliar; LARML – Largura do meio da lâmina foliar.

4.1.4 Discussão

Entre os hábitos de vida de *W. cyathiformis* não encontramos diferenças no número de tricomas e variações fenotípicas significativas, exceto no comprimento da bainha foliar. As bromélias epífitas apresentam maior comprimento da bainha e as terrestres a menor média desse parâmetro. Dessa forma, os resultados corroboram parcialmente com nossa predição inicial (a), as bromélias terrestres apresentaram bainhas foliares menores, provavelmente devido à ênfase no uso de suas raízes para a obtenção de nutrientes e água do solo (BENZING, 2000).

Diferentemente, a pesquisa conduzida por Zorger, Arrivabene e Milanez (2019) com *Billbergia euphemiae* E.Morren (Bromeliaceae), demonstrou diferenças marcantes na densidade de estômatos e escamas na face abaxial entre as fases epifítica (N = 5) e terrestre (N = 5). Neste caso, as bromélias epífitas exibiram a maior densidade de tricomas peltados absorventes. Considerando a escassa evidência de variação fenotípica entre as formas de vida e escamas de *W. cyathiformis*, enfatizamos a necessidade de estudos que abranjam em conjunto a fisiologia, morfometria e anatomia de Bromeliaceae. Essas investigações devem ser conduzidas envolvendo múltiplas espécies e analisando uma amostragem mais extensa de exemplares.

No contexto das diferentes tipologias florestais, nossos resultados sustentam a segunda predição (b). Constatamos um padrão fenotípico distinto na planta entre as tipologias florestais, em FOD as bromélias apresentam lâminas e bainhas foliares mais amplas e largas, com grandes espinhos. Em FOM, ocorre o oposto, as lâminas foliares são compridas, mas estas estreitas e de espinhos diminutos, com maior diâmetro externo e número de folhas. Os fragmentos florestais amostrados apresentam características climáticas diferentes e típicas de suas respectivas tipologias florestais. Conforme dados climáticos da FOD no Paraná (STRUMINSKI, 2001), as temperaturas tendem a se manter relativamente estáveis, variando de aproximadamente 18°C nos meses mais frios a 22°C nos meses mais quentes. Entretanto, observamos uma notável sazonalidade e aumento da temperatura nas áreas amostradas na FOD, e essa particularidade bioclimática é identificada como o fator principal responsável pela maior largura da bainha foliar nas bromélias.

Conforme observado, as áreas de FOD na Serra do Mar Paranaense exibem temperaturas elevadas e índices pluviométricos substanciais. De acordo com Wright

et al. (2017), é comum encontrarmos a predominância de espécies de angiospermas com folhas grandes em ambientes nos quais há uma combinação de altas temperaturas e umidade significativa. Essas características climáticas influenciam a composição da flora e a morfologia das plantas na região, destacando a adaptação das espécies ao clima local.

Todas as plantas fazem resfriamento evaporativo para reduzir a temperatura foliar, em consequência, esse mecanismo gera perda de água transpiracional, ou seja, a planta precisa de água disponível para causar o resfriamento sem ocorrer desidratação (GIVNISH, 1984; WRIGHT *et al.*, 2017). Desse modo, em condições de restrição hídrica, as plantas tendem a apresentar folhas menores devido à necessidade de minimizar a perda de água (GIVNISH, 1984; WRIGHT *et al.*, 2017). A falta de suprimento hídrico adequado pode levar ao aquecimento excessivo das folhas, especialmente nas folhas de maior tamanho e área foliar, pois estas transpiram a uma taxa mais alta por unidade de área do que as menores (GIVNISH, 1984). Em FOD, as bromélias estudadas exibem bainhas e lâminas foliares largas, uma vez que o custo associado à disponibilidade hídrica é menos crítico nessas condições em associação a altas temperaturas.

Nossos resultados concordam com Givnish (1984), o qual postula que angiospermas em climas quentes e com menor disponibilidade hídrica apresentam folhas adaptadas para reduzir a perda de água por evaporação, enquanto em climas mais úmidos é comum encontrar folhas maiores. No entanto, nossa hipótese difere daquela de Neves *et al.* (2019) os quais também coletaram informações sobre a morfometria de bromélias na Serra do Mar, mas do complexo de espécies do gênero *Vriesea* (Bromeliaceae). Os autores observaram o oposto, constataram que as bromélias com folhas e bainhas estreitas foram prevalentes nas regiões caracterizadas por clima quente e com altos níveis de precipitação pluviométrica. Isso indica que as diferentes espécies ou gênero de bromélias são afetadas de formas distintas pelas variáveis fitoecológicas e bioclimáticas.

A distribuição das escamas nas bainhas foliares é outra característica que evidencia que a variação fenotípica em *W. cyathiformis*, sendo influenciada pelas variáveis bioclimáticas de cada tipologia florestal. Tricomas menores e assimétricos não cobrem toda a superfície foliar em locais mais secos, pois tricomas estruturados dessa maneira, como observado nas bromélias em FOM, ajudam a promover a condensação de água nas folhas que permite uma melhor circulação das gotículas

(PIERCE, 2007). Outro ponto interessante sobre os tricomas, foi a presença de escamas com sinais de desidratação no exemplar rupícola em FOM, essa característica ocorre quando a epiderme não está úmida o suficiente em seu habitat (BENZING, 1976; STREHL, 1983), corroborando com as condições bioclimáticas em FOM.

Os espinhos de *W. cyathiformis* tiveram grande variação de tamanho conforme a tipologia florestal, tanto na base da lâmina foliar, quanto em seu ápice, com as bromélias da FOD apresentando espinhos mais robustos. De acordo com Benzing (2000), a presença de espinhos nas margens foliares é uma característica predominante na maioria das Bromelioideae e em muitas Pitcairnioideae. Especificamente, as plantas presentes ao nível do solo nessas subfamílias investem de forma mais acentuada em defesas mecânicas, como os espinhos, devido à significativa predação ao qual estão sujeitas. Inclusive, constatamos que as epífitas apresentaram a menor média no comprimento dos espinhos, apesar de não ocorrer diferença estatística significativa entre as formas de vida.

Essa estratégia de proteção é uma resposta adaptativa para lidar com o risco elevado de danos causados por herbívoros ou outros agentes que possam prejudicar sua sobrevivência e reprodução (BENZING, 2000). Um fator interessante, é que as bromélias com espinhos são frequentemente utilizadas por animais como abrigo ou refúgio contra predadores, uma vez que muitos evitam perseguir organismos no interior de bromélias devido às injúrias corporais que podem ser causadas pelos espinhos (ROCHA *et al.*, 2000; JORGE *et al.*, 2020; BENZING, 2000).

A grande plasticidade fenotípica encontrada em nossos resultados pode indicar que há um *pool* genético diversificado nessa espécie, o qual pode facilitar sua adaptação local a condições ambientais variáveis (WARD *et al.*, 2008; TOWNSEND *et al.*, 2010). No entanto, as mudanças climáticas e a conversão de habitats naturais em paisagens antrópicas são consideradas uma das principais ameaças à biodiversidade (LEMES, MELO, LOYOLA, 2013; FERRO *et al.*, 2014). As alterações nos habitats que são provocadas pelas atividades antrópicas ocorrem em uma velocidade incompatível com as adaptações evolutivas. Portanto, apesar da considerável plasticidade fenotípica, é provável que a espécie seja impactada de forma adversa por esses fatores de origem antrópica e mudanças climáticas acentuadas (SALA *et al.*, 2000; THOMAS *et al.*, 2004; DIRZO *et al.*, 2014).

Tais mudanças estão levando as espécies a migrarem progressivamente para áreas mais adequadas ecologicamente, e se os habitats são altamente fragmentados, isso torna mais desafiador a sobrevivência e reprodução dessas espécies (ELDREDGE *et al.*, 2005; CHEN *et al.*, 2011; SOBRAL-SOUZA *et al.*, 2018; LIAO *et al.*, 2019; VITASSE *et al.*, 2021). Apesar de *W. cyathiformis* estar inserida no *status* pouco preocupante, a constante perda e fragmentação da Mata Atlântica é uma ameaça à integridade dessas populações; o Paraná é o terceiro Estado que mais desmatou a Mata Atlântica entre os anos de 2018 e 2019 (VIEIRA; MENDONÇA, 2022). É possível que áreas anteriormente habitadas por populações dessa espécie possam ter desaparecido, e esse aspecto deve ser considerado como um foco de investigação em estudos subsequentes.

A preservação de áreas protegidas e fragmentos florestais remanescentes em conjunto com corredores ecológicos desempenham um papel fundamental na persistência das espécies e na manutenção de sua diversidade genética (ARAÚJO; BASTOS, 2019). Compreender as variações fenotípicas das espécies é essencial para entender sua ecologia e conservação, especialmente as endêmicas, como *W. cyathiformis*, as quais naturalmente suscitam interesse na conservação devido à sua frequente vulnerabilidade às ameaças de extinção (KUNIN; GASTON, 1997).

4.1.5 Conclusão

Identificamos padrões distintos na morfometria de *W. cyathiformis* relacionados às diferentes tipologias florestais da Mata Atlântica. Essas variações são influenciadas pelas condições bioclimáticas específicas de cada ecossistema. Notavelmente, as bromélias em FOD apresentam características morfológicas comuns a outras espécies de angiospermas em ambientes semelhantes, como folhas largas e amplas, típicas de ambientes com altas temperaturas e umidade elevada.

Por outro lado, nossas descobertas apontam poucas diferenças entre os hábitos de vida de *Wittrockia cyathiformis*, exceto pelo comprimento da bainha foliar, superior nas bromélias epífitas em comparação com as terrestres. Essa distinção pode estar relacionada à preferência das epífitas em utilizar o fitotelmo acumulado nas bainhas foliares para a absorção de nutrientes. No entanto, a hipótese de que o número de tricomas peltados absorventes varia de acordo com o hábito da espécie não foi confirmada. Isso indica a necessidade de estudos adicionais que combinem

análises morfométricas e anatômicas, em conjunto com investigações sobre a fisiologia da nutrição em Bromeliaceae, envolvendo diferentes espécies.

Nossos achados também destacam a importância da possível diversidade genética em *W. cyathiformis*, o que pode facilitar sua capacidade de adaptação a condições ambientais variáveis. No entanto, a ameaça contínua representada pela perda e fragmentação de habitats na Mata Atlântica, especialmente no Paraná, que é um dos Estados que mais desmatam, exige uma atenção especial. A conservação dessas espécies endêmicas e de seus habitats naturais é fundamental para garantir sua sobrevivência ao longo do tempo. Sugerimos que há a necessidade de estudos que investiguem o impacto dessas ameaças nas populações de *W. cyathiformis*, assim como em outras bromélias. As adaptações que constatamos podem colaborar no gerenciamento da conservação dessa espécie em estudos futuros.

4.2 ARTIGO 2: ENTRELAÇANDO NICHOS, DISTÂNCIA, CLIMA E CONSERVAÇÃO: ESTUDO DA METACOMUNIDADE FITOTÉLMICA DE BROMÉLIAS NA MATA ATLÂNTICA

Resumo: Realizamos análises comparativas da diversidade e composição da comunidade de macroinvertebrados aquáticos em fitotelmos de *Wittrockia cyathiformis* nas Florestas Ombrófilas Densa (FOD) e Mista (FOM) da Mata Atlântica no Paraná. Investigamos a influência de fatores na estrutura da comunidade, incluindo matrizes de nicho (características físico-químicas dos fitotelmos e variáveis bioclimáticas locais) e elementos em larga escala relacionada a teoria neutra: distância geográfica e a conservação dos fragmentos florestais. Amostramos sete bromélias em cinco fragmentos (três em FOM e dois em FOD) durante o ano de 2022. Comparamos a riqueza de espécies por meio do Test t, a composição de espécies pelo Escalonamento Multidimensional Não-Métrico e realizamos RDA parcial para avaliar a influência das matrizes preditoras. Encontramos 10.626 espécimes classificados em 105 morfotipos, a FOD revelou maior riqueza de táxons e ocorreram composições comunitárias distintas. Nossos resultados demonstram que há maior poder explicativo na diversidade e composição de espécies quando as quatro matrizes estão correlacionadas. E como segundo fator em conjunto, as matrizes de uso do solo, distância geográfica e clima desempenharam papéis mais significativos do que somente a morfometria da bromélia sobre a riqueza. Sugerimos que estudos futuros com fitotelmos bromelícolas considerem esses fatores para uma compreensão mais abrangente dessas comunidades. Também registramos novas espécies para cada tipologia e duas novas ocorrências para o Paraná. O aumento da degradação e fragmentação da Mata Atlântica representa uma ameaça para as bromélias e sua fauna associada, ainda pouco conhecida a nível específico. Portanto, enfatizamos a vital importância da preservação desses ecossistemas florestais e dos micro ecossistemas de bromélias.

Palavras-chave: Biodiversidade. Ecologia aquática. Formações florestais.

Abstract: We conducted comparative analyses of the diversity and composition of the aquatic macroinvertebrate community in phytotelmata of *Wittrockia cyathiformis* in the Dense Ombrophilous Forest (DOF) and Mixed Ombrophilous Forest (MOF) of the Atlantic Forest in Paraná, Brazil. We investigated the influence of factors on the community structure, including niche matrices (physical-chemical characteristics of phytotelmata and local bioclimatic variables) and large-scale elements related to neutral theory: geographic distance and conservation of forest fragments. We sampled seven

bromeliads in five fragments (three in MOF and two in DOF) during the year 2022. We compared species richness using the t-test, species composition using Non-Metric Multidimensional Scaling, and conducted partial RDA to assess the influence of predictor matrices. We found 10,626 specimens classified into 105 morphotypes; DOF showed higher taxon richness, and distinct community compositions were observed. Our results demonstrate that there is greater explanatory power in species diversity and composition when the four matrices are correlated. As a combined second factor, land-use matrices, geographic distance, and climate played more significant roles than bromeliad morphometry alone on species richness. We suggest that future studies on bromeliad phytotelmata consider these factors for a more comprehensive understanding of these communities. We also recorded new species for each typology and two new occurrences for Paraná. The increasing degradation and fragmentation of the Atlantic Forest pose a threat to bromeliads and their associated fauna, which is still poorly known at the species level. Therefore, we emphasize the vital importance of preserving these forest ecosystems and bromeliad microecosystems.

Keywords: Aquatic Ecology. Biodiversity. Forest Formations.

4.2.1 Introdução

As bromélias formadoras de tanque, com suas folhas rosuladas, apresentam capacidade de coletar água da chuva e detritos, que resulta na criação de um habitat de água doce denominado fitotelmo (BENZING, 2000). Este ambiente oferece um cenário propício para a existência de uma ampla diversidade de organismos altamente especializados. Estes compartimentos representam fragmentos de habitat que se unem para formar uma metacomunidade (LEIBOLD *et al.*, 2004). A definição mais amplamente aceita de metacomunidade é aquela proposta por Leibold *et al.* (2004) que a define como um conjunto de comunidades locais interligadas pela dispersão de múltiplas espécies que podem potencialmente, mas não necessariamente, interagir entre si.

Dessa maneira, as bromélias-tanque são particularmente apropriadas para investigar questões de pesquisas relacionadas aos padrões de composição comunitária ao longo de gradientes espaciais ou ambientais, abordando o conceito de metacomunidade (LEIBOLD *et al.*, 2004; BUSSE *et al.*, 2018). Nos fitotelmos bromelícolas, diversos fatores estão correlacionados com a composição, riqueza e abundância de espécies. Por exemplo, as bromélias de maior porte tendem a favorecer a presença de uma fauna mais diversificada e abundante, devido ao aumento dos recursos disponíveis, que inclui um maior volume de fitotelmo, quantidade de detritos e complexidade do habitat (ARMBRUSTER; HUTCHINSON; COTGREAVE, 2002; ARAUJO *et al.*, 2007; RAMOS; MOURA, 2019).

Fatores externos ao fitotelmo também podem contribuir na estruturação da comunidade. Por exemplo, o aumento da temperatura da água pela exposição solar, acelera a taxa de evaporação do fitotelmo, diminuindo o habitat disponível para a comunidade e selecionando espécies adaptadas à escassez hídrica, o que resulta em menor riqueza de espécies (LAESSLE, 1961; RAMOS; MOURA, 2019). O macro habitat – a paisagem onde a bromélia está inserida – pode influenciar na composição de espécies nesse microambiente, onde maior é dissimilaridade das comunidades quanto maior for a diferença entre os ambientes (NEKOLA; WHITE, 1999).

Há diversos fatores que podem explicar essa variação, incluindo o efeito restritivo das condições ambientais. Nesse contexto, a presença de uma determinada espécie em um local específico é condicionada pelas exigências de seu nicho e pelas particularidades do ambiente local, o que está alinhado com os princípios da teoria do nicho (HUTCHINSON, 1957; TILMAN, 1988). Outro fator, envolve as restrições de dispersão, que se referem à interação entre a configuração da paisagem, o tempo e as capacidades de dispersão das espécies, relacionadas à teoria neutra (HANSKI, 1999; NEKOLA; WHITE, 1999; HUBBELL, 2001; 2006). E por último, as interações entre as espécies podem aumentar a dissimilaridade da comunidade, isso de forma independente das condições ambientais ou barreiras de dispersão (MACARTHUR, 1972; CORNELL; LAWTON, 1992; GOTELLI *et al.*, 2010).

Aqui objetivamos comparar a riqueza, abundância e composição da comunidade de macroinvertebrados aquáticos entre tipologias florestais da Mata Atlântica. Também buscamos compreender a influência dos mecanismos que podem explicar a estruturação dessa comunidade. Nossa hipótese é que ocorre a influência de quatro fatores inter-relacionados, dentre eles as características de nicho ecológico, tais como as condições bioclimáticas de cada fragmento florestal (1) e variáveis morfométricas/físico-químicas do fitotelmo (2); e as outras duas características relacionadas à neutralidade e estocasticidade como a distância geográfica entre as bromélias (3) e conservação florestal (4). Acredita-se que a combinação desses quatro conjuntos de matrizes seja responsável pela maior parte da variação na estrutura da comunidade, evidenciando a complexa interação entre eles.

Destacamos que estudos abordando a fauna aquática bromelícola nesse contexto florestal são escassos (SILVA *et al.*, 2021), e nenhum até o momento considerou uma análise conjunta dessas variáveis preditoras do modo que propomos. Entender essa estruturação é relevante e um dos focos em Ecologia, como a atual

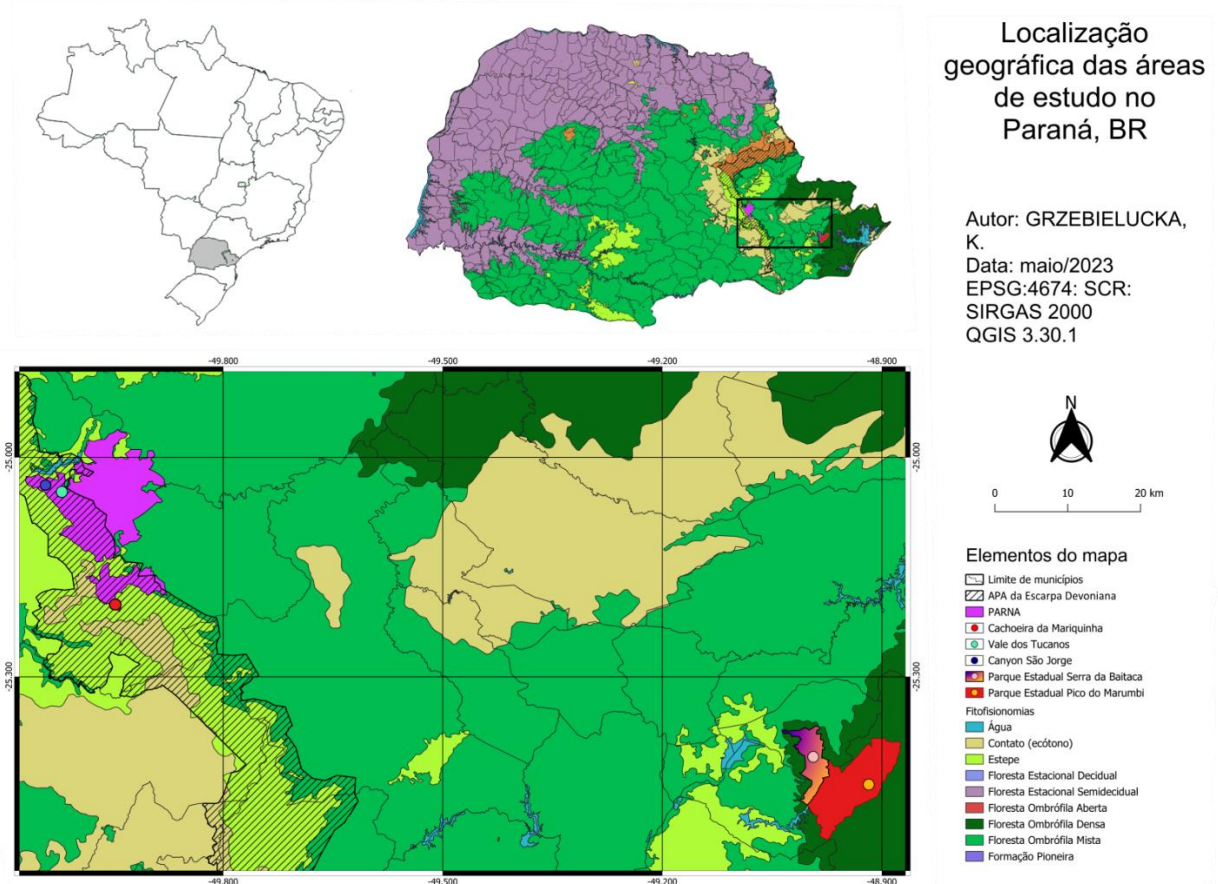
teoria de metacomunidades (LEIBOLD *et al.*, 2004), pois permite identificar como determinados fatores modulam a distribuição dos organismos no espaço e nos habitats heterogêneos, em que as características ambientais são desigualmente distribuídas (BIELANSKA-GRAJNER *et al.*, 2012).

4.2.2 Material e métodos

4.2.2.1 Áreas de estudo

A pesquisa foi desenvolvida em cinco fragmentos florestais de Mata Atlântica no Paraná, Brasil. Três deles em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista (FOM) inclusos no Parque Nacional dos Campos Gerais (PARNA) e na Área de Proteção Ambiental da Escarpa Devoniana no município de Ponta Grossa. Correspondentes à Cachoeira da Marquinha (FM-MQ) sob as coordenadas 25°11'51.1"S 49°57'00.6"W, Canyon São Jorge (FM-SJ) (25°02'07.1"S 50°03'17.0"W) e Vale dos Tucanos (FM-VT) (25°02'15.2"S 50°02'11.6"W). As outras duas áreas correspondem à fragmentos de Floresta Ombrófila Densa (FOD) na Serra do Mar Paranaense, sendo eles, o Parque Estadual Serra da Baitaca (FD-ANG) (25°23'15.0"S 49°00'08.3"W) no Município de Quatro Barras, e Parque Estadual Pico do Marumbi (FD-MRB) (25°26'42.9"S 48°54'59.3"W) localizado entre os municípios de Morretes, Quatro Barras (Figura 4.8).

Figura 4.8 – Regiões de coleta dos fitotelmos de *Wittrockia cyathiformis* no Estado do Paraná, Brasil.



Fonte: a autora.

Nas regiões estudadas de FOM, a precipitação pluviométrica média anual é de 1.400 e 1.600 mm, apresentando entre 100 mm e 300 mm a mais em relação ao primeiro planalto devido a escarpa devoniana, a qual atua como uma barreira orográfica (MAAK, 2012; IAPAR, 2019). A temperatura média anual na região é de 17,4°C com a temperatura média máxima do mês mais quente em 26,7°C e a temperatura média mínima do mês mais frio em 7,5°C (WORLDCLIM.org, 2023).

No Paraná, a FOD está situada à leste, com altitude máxima de 1.887 m (montanha Pico Paraná), delimitada em quase toda a sua extensão pela barreira geográfica Natural da Serra do Mar, onde são verificados os mais elevados índices pluviométricos do Estado (BLUM; RODERJAN; GALVÃO, 2011). Nas regiões estudadas de FOD a precipitação anual acumulada é de 3.700 mm, com temperatura média anual em 22,7°C e temperatura média máxima do mês mais quente em 28,7°C, já a temperatura média mínima do mês mais frio é de 10,8°C (WORLDCLIM.org, 2023).

4.2.2.2 Procedimento amostral

Amostramos fitotelmos de 7 espécimes da espécie *Wittrockia cyathiformis* (Vell.) Leme para cada fragmento florestal, de março a novembro de 2022, totalizando 35 bromélias. Para cada fragmento, a seleção das bromélias para a coleta variou de acordo com a extensão do fragmento florestal. Em FOM, o distanciamento mínimo entre as bromélias escolhidas para coleta foi de 10 metros, enquanto o máximo foi de 100 metros. Já em FOD, estabelecemos um distanciamento mínimo de 20 metros e um máximo de 200 metros entre as bromélias selecionadas para a coleta.

Em campo, para cada bromélia registou-se a altitude e latitude utilizando o GPS Garmin Etrex 30x. Em seguida, foram avaliadas as medidas morfométricas das plantas como a altura, diâmetro interno e diâmetro externo utilizando fita métrica com precisão de 1 mm, e contados número total de folhas vivas. Além disso, foram aferidos o pH (utilizando Tira Universal de pH 0-14 Macherey Nagel) e temperatura do fitotelmo com termômetro.

A matéria orgânica presente acima da roseta foi coletada em um frasco separado (frasco 1), em seguida, coletamos o fitotelmo das bromélias *in situ*. Priorizamos uma forma não destrutiva de coleta, por razões éticas, objetivamos evitar maiores impactos ecológicos e ambientais, pois é um método que não necessita da retirada da planta do seu habitat e nem de seu desfolhamento (JABIOL *et al.*, 2009; SODRÉ; ROCHA; MESSIAS, 2010). Para a coleta do fitotelmo utilizamos pipetas volumétricas de 50 mL e seringas de 100 mL acopladas a tubos de silicone (2-5 mm de diâmetro) para sugar toda a água retida nas cisternas foliares, guardadas em um frasco 2. A matéria orgânica dentro do fitotelmo, contida na base das bainhas foliares de cada planta, foi cuidadosamente coletada e acondicionada em um frasco 3. Repetimos o protocolo para cada uma das bromélias.

Em laboratório, a matéria orgânica do frasco 2 foi lavada com água para retirar os invertebrados retidos (filtro com abertura de malha de 0,03 mm) e fixá-los em etanol 70%. Em seguida, os fitotelmos coletados foram primeiro observados em microscópio estereoscópio para separar e criar os organismos imaturos, para a criação, utilizamos a matéria orgânica do frasco 1. Posteriormente, aferimos os fitotelmos em proveta graduada para determinar o volume total de água que havia em cada uma das bromélias amostradas. Em seguida, as amostras foram filtradas (malha 0,03 mm) e

fixadas em etanol 70% para realizarmos a triagem de todos os macroinvertebrados aquáticos.

4.2.2.3 Identificação de macroinvertebrados aquáticos

Após a triagem, identificamos os macroinvertebrados até o menor nível taxonômico possível utilizando chaves de identificação disponíveis na literatura (BOUCHARD, 2004; BORKENT; SPINELLI, 2007; PINHO, 2008; THYSSEN, 2009; TRIVINHO-STRIXINO, 2011; HAMADA; NESSIMIAN; QUERINO, 2014; DAMBORENEA; THORP; ROGERS, 2020; SALLUM *et al.*, 2020). Em seguida, todos os morfotipos de macroinvertebrados aquáticos, imaturos e adultos, foram fotografados com a câmera MC170 HD (Leica®) acoplada ao estereomicroscópio Leica® M205 C, e por meio do software LAS 4.8.0 (Leica®) foram capturadas e geradas as imagens. Quando necessário, também utilizamos o microscópio de epifluorescência Olympus® BX 41 para visualização e captura de imagens, sendo necessário o software DP controller e o software Helicon Focus 7 para obter a imagem final em 3D. Em sequência, entramos em contato com especialistas de cada táxon identificado (Apêndice B) para envio das fotografias, e quando possível, o envio de amostras para confirmação da identificação.

4.2.2.4 Clima, uso e ocupação do solo

Os dados de 19 variáveis bioclimáticas (Apêndice C) dos 5 fragmentos florestais estudados foram obtidos do banco de dados Worldclim (WORLDCLIM.org, 2023) com resolução espacial de 30 segundos de arco. Esses dados foram extraídos utilizando o pacote “raster” para a coordenada geográfica de cada bromélia (N = 35) (R CORE TEAM, 2023). Consideramos os dados de paisagem e uso do solo como a matriz de conservação florestal de cada local estudado, esses dados foram adquiridos a partir de mapeamentos matriciais consultando a Coleção 7 da plataforma do Projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do Solo no Brasil, com resolução espacial de 30 m (PROJETO MAPBIOMAS, 2023). Esses mapeamentos do uso do solo foram segmentados em *buffers* com raio de 5 km para os 5 locais de amostragem e processados no sistema de informação geográfica QuantumGIS (QGIS.org, 2020) para a análise quantitativa de áreas e percentuais de categorias de tipos de uso do

solo por localidade. A partir das categorias de uso do solo disponibilizadas pelo MapBiomos, as reunimos em oito categorias com as maiores taxas de ocupação dos locais de estudo, sendo elas: agricultura (incluindo soja e outras lavouras temporárias), campo, mosaico de usos, formação florestal, urbanização, silvicultura, pastagem e outros (outras formações não florestais, outras áreas não vegetadas, afloramentos rochosos e campo alagado).

4.2.2.5 Tratamento estatístico

Realizamos uma análise exploratória dos dados de riqueza e abundância para verificar se atendiam à estatística paramétrica por meio do Teste de Shapiro-Wilk, o que resultou em $p > 0,05$, portanto paramétricos. Também testamos a homoscedasticidade dos dados a partir do teste de Fligner-Killeen, disponível no pacote “stats” (R CORE TEAM, 2023), resultando em $p > 0,05$ demonstraram ser homocedásticos. Consideramos o número total de morfotipos registrados para cada fragmento florestal como diversidade alfa, e o número total de morfotipos somando todos os sítios amostrais como diversidade gama. A riqueza e abundância de espécies entre as tipologias florestais foram comparadas por meio do Test t com análise gráfica em *violin plots* fundamentadas no mesmo teste.

Realizamos uma análise de rarefação baseada no número de indivíduos para comparar a riqueza de espécies esperada para cada tipologia florestal. As curvas foram construídas utilizando os índices de Hill baseados na riqueza observada ($q = 0$), na entropia Shannon ($q = 1$) e diversidade de Simpson ($q = 2$), considerando que quanto maior o valor de q , menor o peso atribuído às espécies raras (CHAO *et al.*, 2014). Construímos as curvas de rarefação a partir de dados de abundância observada e abundância estimada de duas a três vezes a abundância total (COLWELL *et al.*, 2012). Consideramos o intervalo de confiança de 95%, caso não haja sobreposição gráfica das curvas significa que os números das espécies diferiram significativamente ($p < 0,05$) (COLWELL *et al.*, 2012), para essa análise utilizamos o pacote “vegan” (R CORE TEAM, 2023).

Para estimativas da diversidade beta seguimos Baselga (2010, 2016) por meio do pacote “betapart” (BASELGA, 2016; R CORE TEAM, 2023) utilizando as matrizes de presença e ausência de espécies nos fragmentos florestais e nas fitofisionomias florestais. O valor da diversidade beta varia de 0 a 1 indicando o grau de

dissimilaridade entre duas comunidades; 0 sendo semelhança total e 1 totalmente distinto. Para determinar diferenças significativas na composição de espécies entre cada tipologia florestal utilizamos o Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) baseado nos coeficientes de dissimilaridade de Bray-Curtis (abundância) e Jaccard (presença/ausência), usando a análise de variância multivariada de permutação (permutações PERMANOVA 999 repetições), para isso utilizamos o pacote “vegan” (ANDERSON, 2006; ANDERSON; ELLINGSEN; MCARDLE, 2006; OKSANEN *et al.*, 2018; R CORE TEAM, 2023). Por meio do mesmo pacote, aplicamos a função “beta.disper” para comparar se existe heterogeneidade nas variâncias entre os grupos.

A análise de espécies indicadoras foi empregada para determinar se algum táxon era característico de cada formação florestal. Utilizamos os pacotes “stats” e “Indicspecies” que resultam nos valores de significância (valores-*p*) e *stat*, sendo esse último, o produto de dois componentes A e B: o componente A representa a probabilidade amostral de que o local pesquisado pertença ao grupo de locais-alvo, dado que a espécie foi encontrada. Isso é conhecido como especificidade ou valor preditivo positivo da espécie como indicadora do grupo de locais-alvo. O componente B representa a probabilidade amostral de encontrar a espécie em locais pertencentes ao grupo de locais-alvo, sendo chamado de fidelidade ou sensibilidade da espécie como indicadora do grupo de locais-alvo (CÁCERES *et al.*, 2012).

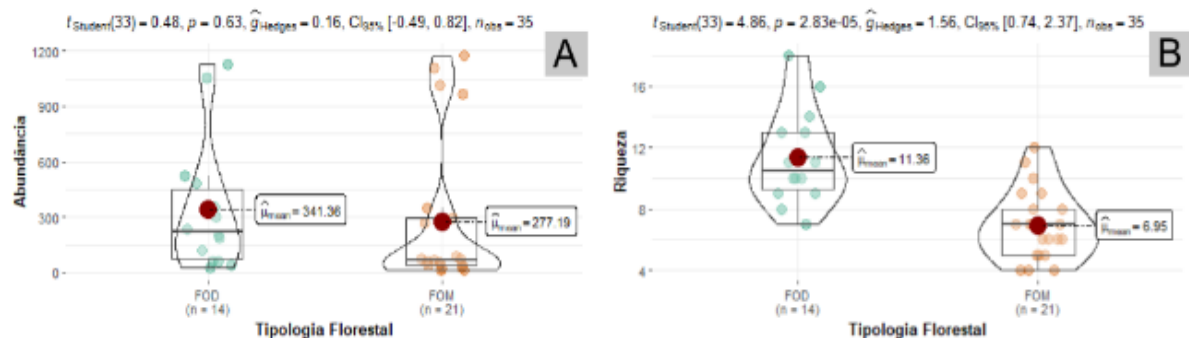
Para a verificar a influência das diferentes matrizes preditoras padronizamos os conjuntos de dados (uso do solo, variáveis bioclimáticas, distância geográfica e variáveis morfométricas/físico-químicas) com as funções “standardize” e “hellinger”, em seguida, selecionamos as categorias significantes ($p < 0,05$) de cada conjunto de matrizes por meio de análises de componentes principais (PCA) e análise de correlação. Posteriormente, verificamos a influência das matrizes preditoras “Uso do solo, variáveis bioclimáticas, distância geográfica e variáveis morfométricas/físico-químicas” (Apêndice D) sobre a riqueza e composição de espécies utilizando a análise de redundância parcial (RDAP) pelas funções “rda” e “anova” do pacote “vegan” (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998; OKSANEN *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2022). Utilizando a função “res.lm” do pacote “MASS” foi possível observar o efeito negativo e positivo das variáveis preditoras significativas sobre a riqueza de espécies. Todas as análises citadas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2023).

4.2.3 Resultados

4.2.3.1 Composição, riqueza e abundância de macroinvertebrados

Encontramos um total de 10.626 espécimes de macroinvertebrados aquáticos categorizados em 105 morfotipos das 35 bromélias analisadas. Para a FOM foram registrados 5.850 espécimes distribuídos em 42 morfotipos, e na FOD 65 morfotipos com uma abundância total de 4.776. A abundância de táxons não apresentou diferença estatística significativa ($p = 0,63$; Figura 4.9 - A) entre as tipologias florestais, no entanto, a riqueza de espécies entre as formações florestais foi distinta ($p < 0,001$; Figura 4.9 - B) sendo superior em FOD.

Figura 4.9 – Violin plots da abundância (A) e riqueza (B) de espécies de macroinvertebrados aquáticos do fitotelmo de *Wittrockia cyathiformis* entre tipologias florestais da Mata Atlântica no Paraná.



Fonte: A autora.

Legenda explicativa: FOM – Floresta Ombrófila Mista; FOD – Floresta Ombrófila Densa. Caixa central – intervalo interquartil; Ponto vermelho – média dos dados; Traço horizontal dentro da caixa central – mediana.

A fauna de macroinvertebrados aquáticos foi representada principalmente por Insecta (Diptera, Coleoptera, Trichoptera, Odonata, Lepidoptera) sendo Diptera a mais expressiva em riqueza de espécies (64,7%). Também registramos a presença de outros táxons como Chelicerata (Acari), Nematoda, Annelida (Oligochaeta, Hirudinea), Tardigrada, Mollusca (Gastropoda) e Crustacea (Copepoda, Ostracoda) com Ostracoda o mais abundante entre todos os táxons (40,2%) (Tabela 4.4). Além disso, identificamos duas novas espécies de *Elpidium* Müller, 1880 (Ostracoda), uma para cada tipologia florestal e dois novos registros de ocorrências de espécies de Gastropoda para o Paraná, sendo eles *Bahiensis* cf. *ribeirensis* Salvador Cavallari & Simone, 2016 e *Radiodiscus* cf. *sanchicoensis* Miguel, Ramírez & Thomé, 2007.

Tabela 4.4 – Lista de macroinvertebrados aquáticos associados ao fitotelmo de *Wittrockia cyathiformis* em fragmentos florestais no Paraná e suas respectivas abundâncias.

Táxons			Fragmentos florestais				
			FOM	FOM	FOM	FOD	FOD
			VT	MQ	SJ	PESB	MRB
Crustacea							
	Ostracoda	<i>Elpidium</i> Müller, 1880 sp. nov.1 *		4102			
		<i>Elpidium</i> sp. nov.2 *					24
		<i>Elpidium</i> sp.1			234		
		<i>Elpidium</i> sp.2				2992	
		<i>Elpidium</i> sp.3					225
	Cyclopoida	sp1			260		
	Cyclopoida	sp2					551
	Harpacticoida	sp1					110
Nematoda							
		sp1	1	1	1		
		sp2					9
Oligochaeta							
		sp1	8	185	132		
		sp2		7			
		sp3				1	
		sp4				23	19
		sp5					16
Hirudinea							
		sp1	1				
		sp2				2	
		sp3					6
Tardigrada							
		sp1			1		
Gastropoda							

		sp1					3	
	Eucolunidae	sp1						1
	Odontostomidae	<i>Bahiensis</i> cf. <i>ribeirensis</i> Salvador Cavallari & Simone, 2016 **					1	
	Charopidae	<i>Radiodiscus</i> cf. <i>sanchicoensis</i> Miguel, Ramírez & Thomé, 2007 **					6	
Coleoptera								
	Cassidinae	sp1					2	
	Scirtidae	gen. nov.***	10				9	
		<i>Scirtes</i> Illiger, 1807 sp1	22	35	68		14	4
		<i>Scirtes</i> sp2						10
		<i>Scirtes</i> sp3	3					8
	Dytiscidae	<i>Copelatus</i> cf. <i>bimaculatus</i> Resende & Vanin, 1991	2		1			
Zygoptera								
	Coenagrionidae	<i>Leptagrion</i> Selys, 1876 sp1					6	
		<i>Leptagrion</i> sp2					1	8
	Coenagrionidae	<i>Homeoura chelifera</i> Selys, 1876						2
Lepidoptera								
		sp1					1	
	Castniidae	sp1	1					
	Castniidae	sp2					1	
Acari								
	Hydrachnidia	sp1						2
Trichoptera								
	Calamoceratidae	<i>Phylloiucus</i> Mueller, 1880						1
Diptera								
	Brachycera	sp1	1					
	Ceratopogonidae	<i>Forcipomyia</i> Meigen, 1818 sp1	1	6	4			
		<i>Forcipomyia</i> sp2		1	1			
		<i>Forcipomyia</i> sp3					9	
		<i>Forcipomyia</i> sp4					6	
	Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon</i> Kieffer, 1906						1

Ceratopogonidae	<i>Palpomyia</i> Meigen, 1818	139	2	54		
Ceratopogonidae	<i>Stilobezzia</i> Kieffer, 1911					1
Sciomyzidae	sp1	1				
Stratiomyidae	sp1				7	
	sp2					2
Tipulidae	sp1	8				
	sp2			14		
	sp3				76	
	sp4				13	
	sp5				15	
Corethrellidae	<i>Corethrella</i> Coquillett, 1902		1	2		
Syrphidae	Eristalinae sp1			1		
	Eristalinae sp2					1
Periscelididae	sp1			1		
	sp2					1
Empididae	sp1				1	
	sp2					1
Culicidae	<i>Toxorhynchites</i> Lutz, 1904		1			
Culicidae	<i>Culex</i> Lutz, 1904 sp1			112		
Culicidae	<i>Culex</i> sp2					90
Culicidae	<i>Culex</i> sp3					4
Culicidae	<i>Anopheles</i> Meigen, 1818 sp1					12
Culicidae	<i>Culex</i> sp4					4
Culicidae	<i>Anopheles</i> sp2	6				
Culicidae	Culicinae sp1				1	
Culicidae	Culicinae sp2				26	
Culicidae	Culicinae sp3				7	
Psychodidae	sp1	17	1			
	sp2				1	
	sp3				14	2

	sp4		1			
	sp5			6		
	<i>Psychoda</i> Latreille, 1796					7
	sp6				1	5
Tabanidae	sp1	1				
	sp2					1
Sciaridae	sp1		3	14		
	sp2				1	
	<i>Pseudolycoriella</i> Menzel & Mohrig, 1998					7
Ephydriidae	sp1			2		
	sp2					1
	sp3					5
	sp4				1	
Cecidomyiidae	sp1	1	3	8		
	sp2				17	
Chironomidae	sp1				1	
	sp2		63			
	sp3			48		
	<i>Polypedilum</i> Kieffer, 1912					36
	<i>Endotribelos</i> Grodhaus, 1987			54		
	sp6			11		
	sp7				10	
	sp8				1	
	sp9		70			
	sp10	1				
	sp11	15				
	<i>Corynoneura</i> sp1			90		
	<i>Corynoneura</i> sp2					6
	<i>Chironomus</i> Meigen, 1803					113

	Tanypodinae sp1					85
	Tanypodinae sp2	6				
	Tanypodinae sp3				97	
Total		247	4481	1122	3386	1390

Fonte: A autora.

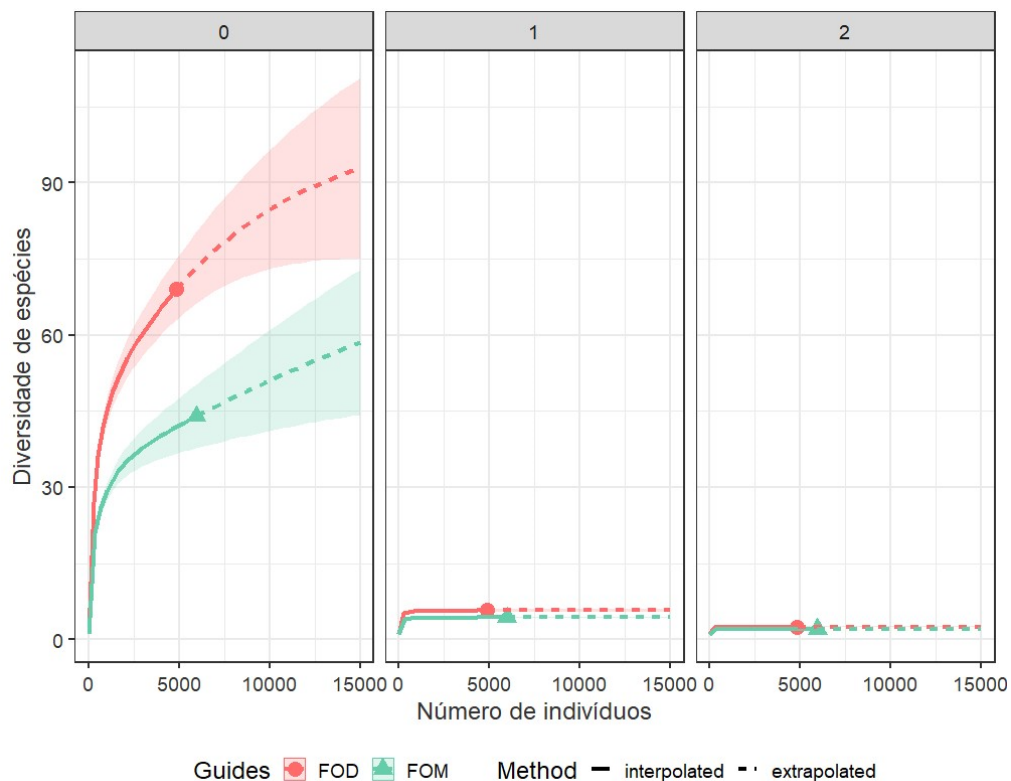
Legenda explicativa: FOM – Floresta Ombrófila Mista; FOD – Floresta Ombrófila Densa; VT – Vale dos Tucanos; MQ – Cachoeira da Mariquinha; SJ – Canyon São Jorge; PESB – Morro AnhpESBava (PESB: Parque Estadual Serra da Baitaca); MRB – Parque Estadual Pico do Marumbi.

Notas: (*) Novas espécies de Ostracoda em processo de descrição; (**) Nova ocorrência para o Paraná; (***) Espécie pertencente a um novo gênero de Scirtidae, está em processo formal de descrição no doutorado de Gabrielle Jorge de Melo.

4.2.3.2 Variação espacial da metacomunidade

A partir da análise de rarefação baseada na abundância total de espécies foi possível indicar, mais uma vez, a maior diversidade em FOD (Figura 4.10). Em contraste, as comunidades estudadas são formadas substancialmente por espécies raras, desse modo, ao aplicar menor peso às espécies raras e muito raras na análise ocorre a total sobreposição das curvas (Figura 4.10) e ausência de distinção na diversidade de espécies entre as formações florestais.

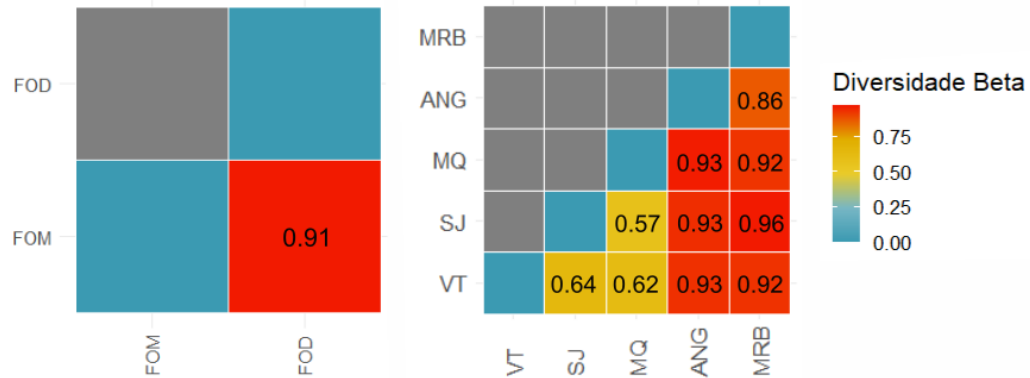
Figura 4.10 – Análise de rarefação com base no tamanho da amostra (linhas sólidas) e extrapolação (linhas tracejadas) com intervalos de confiança de 95% para $q = 0$; $q = 1$; e $q = 2$ para as tipologias Florestais estudadas.



Fonte: a autora.

É possível constatar na diversidade beta (DB) uma alta dissimilaridade das comunidades de macroinvertebrados aquáticos entre as tipologias florestais ($DB = 0,91$; Figura 4.11). A maior DB ocorreu entre os fragmentos florestais SJ e MRB ($DB = 0,96$; Figura 4.11), já os fragmentos de FOM (VT, SJ e MQ) apresentaram as menores DB totais, indicando maior compartilhamento de espécies entre essas regiões, no entanto, ainda apresentam altos valores de DB.

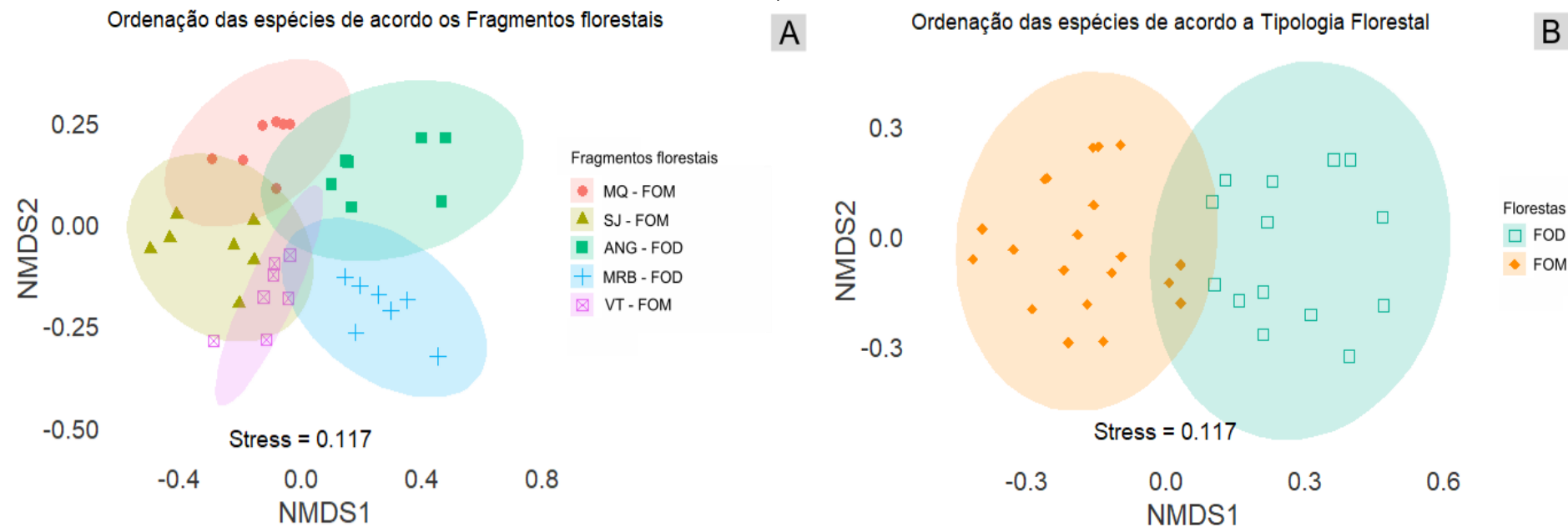
Figura 4.11 – Beta diversidade de macroinvertebrados aquáticos do fitotelmo de *Wittrockia cyathiformis* entre tipologias e fragmentos florestais da Mata Atlântica no Paraná.



Fonte: a autora.

A partir da análise de composição de espécies (PERMANOVA baseada no índice de *Bray-Curtis*) é possível observar que as espécies de macroinvertebrados aquáticos que ocorre FOM é distinta da comunidade encontrada em FOD ($R^2 = 0,141$; $F = 5,454$; $p < 0,001$). Na Figura 4.12 - A, pode ser observada separação entre os fragmentos florestais ($R^2 = 0,474$; $F = 6,773$; $p < 0,001$), no entanto, com maior sobreposição das comunidades em FOM (Figura 4.12 - A). Nota-se também (Figura 4.12 - B) pouca sobreposição das comunidades entre as duas tipologias florestais, indicando que há poucas espécies compartilhadas entre ambas. Apesar dos distintos tamanhos das nuvens de dispersão entre os fragmentos florestais, a *beta.disper* demonstrou que não existem diferenças na dispersão entre grupos ($F = 0,2334$; $p = 0,909$), inclusive, entre tipologias florestais ($F = 0,0846$; $p = 0,771$).

Figura 4.12 – Análise de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) para visualizar a dissimilaridade da composição da comunidade aquática de *Wittrockia cyathiformis* entre fragmentos florestais (A) e tipologias florestais (B).

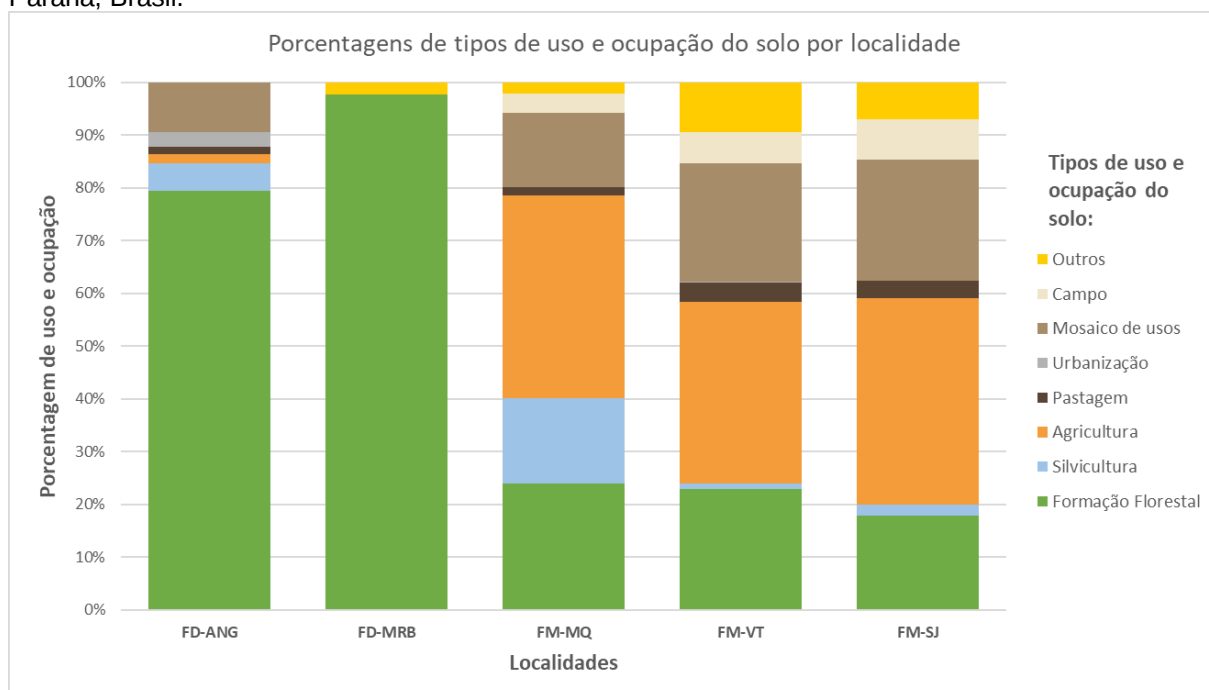


Fonte: a autora.

4.2.3.3 Uso do solo e espécies indicadoras

Os locais com a mais alta proporção de cobertura florestal incluem MRB e PESB, que estão situados na FOD. É notório que, entre os fragmentos florestais avaliados, MRB exibe o mais significativo grau de preservação, no que diz respeito ao uso da terra e à presença de cobertura florestal. Nesse local, não são observadas atividades de silvicultura, agricultura, pastagem, urbanização, nem um mosaico de usos (Figura 4.13). No entanto, nos fragmentos florestais em FOM, pode-se identificar um mosaico de usos do solo, incluindo agricultura e silvicultura nos três fragmentos examinados, resultando em porcentagens menores de cobertura florestal.

Figura 4.13 – Categorias com as maiores taxas de ocupação e uso do solo nos locais amostrados no Paraná, Brasil.



Fonte: A autora.

Legenda explicativa: FD-ANG – Parque Estadual Serra da Baitaca em FOD; FD-MRB – Parque Estadual Pico do Marumbi, em FOD; FM-MQ – Cachoeira da Mariquinha, em FOM; FM-VT – Vale dos Tucanos, FOM; FM-SJ – Canyon São Jorge, FOM.

Dentre as espécies que compõe as comunidades para cada formação florestal nos fitotelmo analisados de *W. cyathiformis*, identificamos um total de 16 espécies indicadoras, sendo 11 delas representativas da FOD e 5 para a FOM (Tabela 4.5), as quais correspondem às espécies exclusivas de cada tipologia. Para a FOD, *Oligochaeta* sp4, *Copepoda* sp2, *Elpidium* sp. nov.2 e *Microculex* sp2 são as mais

significantes ($stat > 0,655$; $p < 0,001$). E em FOM, *Palpomyia* sp. e *Oligochaeta* sp1 apresentaram os maiores níveis de significância ($stat = 0,787$; $p < 0,001$).

Tabela 4.5 – Lista de espécies indicadoras nas comunidades de macroinvertebrados aquáticos em fitotelmos de *Wittrockia cyathiformis* em Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa no Paraná de acordo com o teste *Indicspecies* (*stat*: valor do *indicspecies* que descreve o grau de indicador de cada espécie).

Espécies e tipologia florestal	<i>stat</i>	<i>p</i>
FOD		
<i>Oligochaeta</i> sp4	0,802	0,000
Copepoda sp2	0,707	0,000
<i>Elpidium</i> sp. nov.2	0,707	0,001
<i>Microculex</i> sp2	0,655	0,001
<i>Tanypodinae</i> sp1	0,655	0,002
<i>Tanypodinae</i> sp3	0,655	0,002
Tipulidae sp3	0,655	0,003
<i>Chironomus</i> sp.	0,535	0,018
Culicinae sp2	0,535	0,021
Copepoda sp3	0,535	0,020
<i>Oligochaeta</i> sp5	0,535	0,018
FOM		
<i>Palpomyia</i> sp.	0,787	0,000
<i>Oligochaeta</i> sp1	0,787	0,000
<i>Forcipomyia</i> sp1	0,617	0,010
<i>Corynoneura</i> sp1	0,577	0,026
<i>Elpidium</i> sp. nov.1	0,535	0,046

Fonte: A autora.

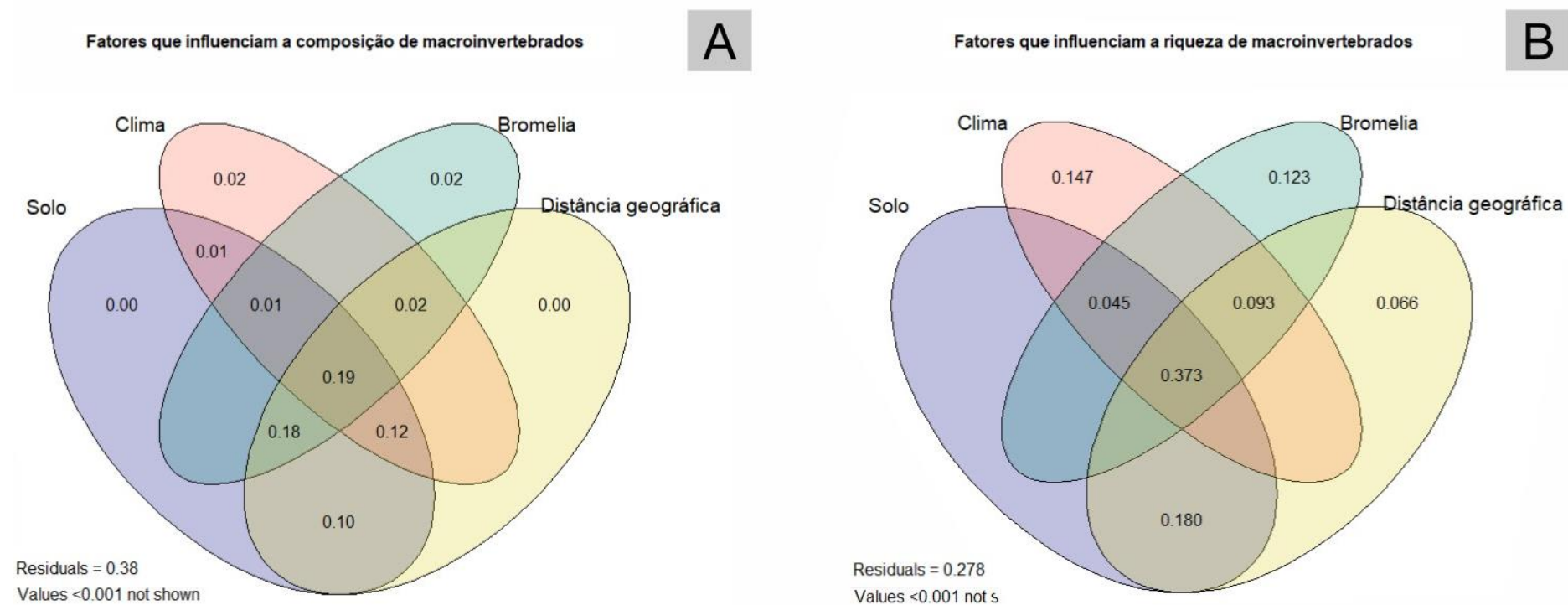
4.2.3.4 Variáveis que influenciam na estrutura da metacomunidade

Nosso modelo composto a partir das quatro matrizes (uso do solo, clima, morfometria da bromélia e distância geográfica) é significativo ($F = 1.760$; $R^2 = 0,04$; $p = 0,001$) e explica 62% da composição de espécies nos fitotelmos analisados. A intercorrelação dos quatro fatores foi o mais relevante (19%). No entanto, próximo a esse valor, foi a combinação do uso e ocupação do solo, com a distância geográfica e morfometria da planta representando 18% da explicação. Já a distância geográfica com o clima foi de 12% e a combinação do uso do solo com a distância geográfica apresentou 10% da explicação (Figura 4.14 – A).

Da mesma maneira, 65% da riqueza de espécies foi explicada pelo modelo ($F = 11.28$; $R^2 = 0.09$; $p < 0,001$), com uma variável não explicada de 32%. A RDA revelou que a associação dos quatro fatores analisados representou a maior taxa explicativa

37,3%, seguida da combinação do uso do solo com a distância geográfica (18%) que foi superior ao clima (14,7%) e morfometria da bromélia (13%) (Figura 4.14 – B).

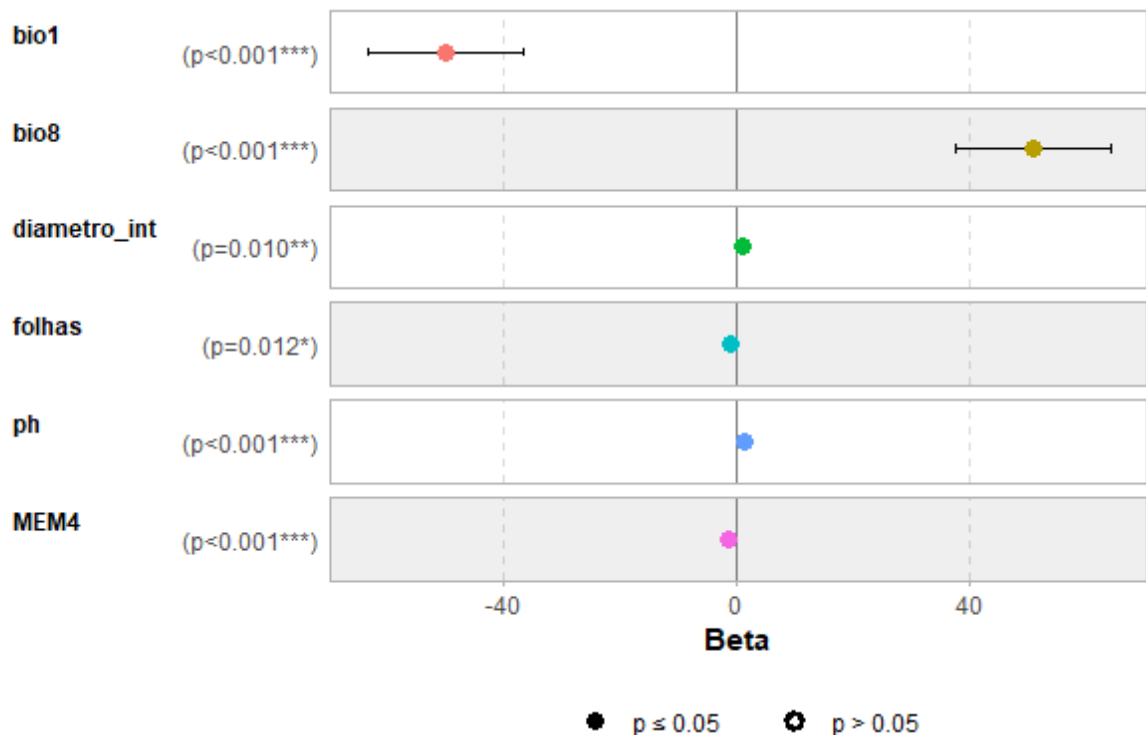
Figura 4.14 – Diagrama de Venn ilustrando a explicação exclusiva e compartilhada ($p < 0,05$) dos fatores que influenciam na composição (A) e riqueza (B) de macroinvertebrados aquáticos em *Wittrockia cyathiformis* no Paraná.



Fonte: A autora.

As variáveis mais relevantes selecionadas no modelo explicam de que modo ocorre a influência dessas preditoras, sendo elas, as variáveis bioclimáticas Bio1 e Bio8, diâmetro interno, número de folhas, pH e distância entre os pontos de coleta (Figura 4.15). A temperatura média anual (Bio1; $t = -7.691$; $p < 0,001$) influencia de modo negativo, já a Bio 8, relaciona-se ao índice trimestral que se aproxima da média de temperaturas que prevalecem durante a estação mais chuvosa ($t = 7.896$; $p < 0,001$) e exerce influência positiva. O diâmetro interno da bromélia ($t = 2.772$; $p = 0,010$) e o pH ($t = 3.761$; $p < 0,001$) influenciam de modo positivo na riqueza de espécies, e quanto maior for a distância geográfica, menor a riqueza de espécies (MEM4; $t = 26.2168$; $p < 0,001$).

Figura 4.15 – Efeito das variáveis preditoras mais significativas sobre a riqueza de espécies.



Fonte: a autora.

4.2.4 Discussão

Nossos resultados demonstraram que a riqueza e a abundância de táxons nos fitotelmos de *W. cyathiformis* na Mata Atlântica são altas, com as bromélias da FOD apresentam a maior diversidade; além disso, as diferentes tipologias florestais abrigam comunidades distintas de macroinvertebrados aquáticos. Nossas análises revelaram que a interação dos quatro fatores foi a explicação mais significativa para a

riqueza e composição de espécies, confirmando nossa hipótese inicial. Como segundo fator preponderante, para a riqueza, as matrizes de uso e ocupação do solo, distância geográfica e clima foram mais relevantes que a morfometria da bromélia. E para a composição de espécies, a teoria neutra, representada pela distância geográfica e o uso e ocupação do solo foram essenciais, visto que apresentaram influência nas quatro combinações mais explicativas do modelo.

Encontramos um total de 10.626 espécimes de macroinvertebrados aquáticos categorizados em 105 morfotipos das 35 bromélias analisadas, evidenciando uma significativa diversidade e abundância de espécies. Estudos anteriores utilizando técnicas semelhantes de coleta, na Mata Atlântica, divergiram em abundância e número de táxons quando comparado com nossos resultados. Por exemplo, Júnior *et al.* (2017) caracterizaram comunidades de macroinvertebrados em quatro espécies de bromélias (N = 147), encontrando 35 táxons e 12.918 espécimes. Silva *et al.* (2021) examinaram duas espécies de bromélias (N = 24) em diferentes tipologias florestais, registrando 19 táxons e 656 espécimes. E Laviski *et al.* (2021) examinaram 32 bromélias em uma ilha, identificando 1.125 indivíduos e 88 morfoespécies.

Destacamos que a falta de especialistas taxonômicos que trabalham com grupos altamente diversos (RAMIREZ *et al.*, 2020), o tempo necessário para a identificação, diferenciação das espécies, e a complexidade da criação dos organismos imaturos, podem levar a uma subestimação da verdadeira diversidade de espécies em estudos de ecossistemas aquáticos em pequena escala, como os fitotelmos (JOCQUE *et al.*, 2013; PEREIRA *et al.*, 2022). Esses podem ser alguns dos fatores que contribuíram para o maior registro de abundância e riqueza de espécies em nossa pesquisa, em comparação com estudos anteriores na Mata Atlântica, considerando o número de bromélias amostradas (JÚNIOR *et al.*, 2017; LAVISKI *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2021; ROSA *et al.*, 2021).

Observamos pouca similaridade na composição da comunidade entre os fragmentos florestais estudados, cada um deles apresentando espécies únicas e em sua maioria, comunidades distintas de macroinvertebrados. Nos remanescentes menores encontramos espécies que não foram observadas nos fragmentos maiores. A crescente perda e fragmentação da Mata Atlântica coloca em risco a fauna associada às bromélias, que ainda é pouco conhecida a nível específico, sendo um micro-habitat com grande potencial para se descobrir novas espécies e registro de ocorrência de espécies de invertebrados (REID; JANETZKY, 1996; SIRI; CAMPOS;

DONATO, 2011; BRAVO; CORDEIRO; JOCQUE, 2014; PINTO; JÓCQUE, 2013; PEŠIĆ *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2022). Portanto, uma abordagem para preservar a biodiversidade associada às bromélias e aos fragmentos florestais, bem como, para preservar os processos evolutivos nas paisagens e em todo o bioma, é a adoção de uma estratégia de conservação que sejam independentes do tamanho dos fragmentos, interconectando-os por meio de corredores ecológicos de modo a ampliar a conectividade (ARAÚJO; BASTOS, 2019; FREITAS; GARAY, 2021). Considerando que o microcosmo bromelícola é um modelo que pode representar a biodiversidade do remanescente florestal em microescala, ressalta-se a importância de conservação destes ecossistemas florestais, visto que, encontramos dentro de áreas de preservação ambientais duas novas espécies e dois novos registros de ocorrência de espécies para o Paraná.

A FOD foi a tipologia florestal que apresentou a maior riqueza, a partir da análise de rarefação foi possível observar que essa diferença ocorre na riqueza real e não na equitabilidade das espécies. É possível que em FOD haja a presença de uma maior diversidade de invertebrados, no entanto, nossos resultados são inéditos sendo escassos outros estudos nesse sentido. Até o momento, apenas Silva *et al.* (2021) conduziram uma comparação da comunidade de invertebrados aquáticos entre as áreas de FOM e FOD. Segundo os autores, a FOM apresentou três espécies a mais, no entanto, eles não utilizaram índices de diversidade para fazer essa comparação e consideraram diferentes espécies de bromélias para cada tipo de floresta, o que pode influenciar no resultado.

Os fragmentos florestais da FOD apresentam a maior porcentagem de formação florestal e menor interferência antrópica. À medida que a fragmentação e a perda de habitats aumentam, os efeitos negativos sobre a riqueza e a composição de espécies também se intensificam, muitas vezes associados a efeitos induzidos pela borda (PÜTTKER *et al.*, 2020). O aumento da distância entre os fragmentos florestais e a redução do tamanho das áreas de formações florestais limitam a capacidade de dispersão das espécies na paisagem, o que, por sua vez, aumenta o risco de extinção local (MACARTHUR; WILSON, 1967). Nesse sentido, esse processo contribui para a diminuição da biodiversidade na região, como observado em FOM. Conforme a RDAP revelou, a combinação do uso do solo com a distância geográfica apresentou a segunda maior explicação sobre a riqueza, sendo mais relevantes que a morfometria da bromélia e físico-química do fitotelmo, os quais representam o nicho local.

Esses resultados se encaixam na Teoria neutra, onde o componente espacial (distância entre os locais amostrados) ou barreiras geográficas (obstáculos físicos que dificultam ou impedem a migração entre locais) são os mecanismos responsáveis pela estruturação da comunidade (HUBBELL, 2001). Outro fator que se relaciona a essa teoria, foi o efeito negativo da distância geográfica na riqueza de espécies, o que significa que, à medida que a distância entre as áreas geográficas aumenta, há uma tendência de diminuição na diversidade de espécies. Como visto em nosso modelo, a composição de espécies foi muito influenciada pela distância, uso e ocupação do solo, com grande dissimilaridade nas comunidades entre as tipologias florestais, o que pode ser resultado das limitações de dispersão das espécies, barreiras geográficas, bem como, isolamento entre os fragmentos florestais (MACARTHUR; WILSON, 1967).

Nesse quesito, entra a atual fragmentação da Mata Atlântica. A capacidade de uma espécie em se dispersar por áreas abertas está intimamente ligada à sua habilidade de manter populações viáveis nessas atuais condições do bioma (RIBEIRO *et al.*, 2011; PIMM *et al.*, 2014; NIEBUHR *et al.*, 2015). Por exemplo, espécies que não conseguem atravessar áreas abertas, ou seja, espécies florestais obrigatórias, têm uma área média funcionalmente conectada de apenas 64 ha (RIBEIRO *et al.*, 2011). Na Mata Atlântica mais de 80% dos fragmentos florestais são menores que 50 ha, com grande distância média (1.440 m) entre as manchas (NIEBUHR *et al.*, 2015).

A Serra do Mar Paranaense, local onde desenvolvemos o trabalho em FOD, apresenta os maiores remanescentes florestais do Estado, são áreas de difícil acesso humano, onde atividades econômicas predatórias ainda não foram amplamente estabelecidas (SILVEIRA; OKA-FIORI, 2007; FORZZA *et al.*, 2023). Dessa maneira, a conservação desses ambientes impacta diretamente na riqueza e composição de espécies. Grandes áreas com menor interferência antrópica oferecem uma maior diversidade de condições ambientais, recursos disponíveis e espaço para a colonização (MACARTHUR; WILSON, 1967; JABIOL 2009). O que, por sua vez, permite que uma maior diversidade de espécies estejam disponíveis para habitar essas bromélias.

Apenas aspectos relacionados a teoria neutra não são suficientes para explicar a complexidade das comunidades, visto que nosso modelo considerou a intercorrelação das 4 matrizes, obtendo a maior porcentagem de explicação. A teoria de nicho, prediz que os recursos e as condições de determinado ambiente ditam a distribuição das espécies ao longo do espaço e do tempo, onde uma determinada

espécie consegue atingir adequabilidade ótima e crescimento populacional positivo quando condições (temperatura da água, oxigênio dissolvido, tipo de substrato) e recursos (locais de refúgio, alimento) são adequados à espécie (HUTCHINSON, 1957).

Dentre esses fatores, observamos que mudanças no clima e morfometria da planta modificam a estrutura física desse micro ecossistema, inclusive, o clima tem maior explicação que o nicho proporcionado pela bromélia. Os fitotelmos são habitats sensíveis ao volume de água e, devido ao seu tamanho limitado, dependem muito da precipitação, ocorrendo dependência direta do clima (BENAVIDES-GORDILLO *et al.*, 2019; FÉLIX *et al.*, 2022). Constatamos que a temperatura média anual afeta negativamente esse meio aquático, temperaturas mais altas podem levar à evaporação do fitotelmo e a uma maior efemeridade desse meio aquático. Bem como, redução da riqueza de espécies, mas aumento em abundância das mais tolerantes (REZENDE *et al.*, 2020), como observamos, Ostracoda foi o mais abundante e são invertebrados extremamente tolerantes a fatores ambientais estressantes, incluindo a desidratação, podendo sobreviver em dormência por anos sem água (ROSSI *et al.*, 2011). Além disso, de acordo com Dallas e Rivers-Moore (2014) mudanças na qualidade da água, incluindo a temperatura, afetam a solubilidade de gases como o oxigênio, o que pode ser prejudicial para espécies aquáticas menos tolerantes.

Por outro lado, o índice trimestral relacionado à média de temperaturas durante a estação chuvosa teve um efeito positivo, gerando um equilíbrio na situação desestabilizadora quando apenas presente altas temperaturas. Essa influência da precipitação nos fitotelmos já foi testada, e estudos anteriores, como o de Montero *et al.* (2010), demonstram que a riqueza de espécies é maior durante a estação chuvosa. Em nossos resultados, a FOD apresentou as maiores taxas de precipitação, o que também explica a maior riqueza de táxons nesse ambiente em conjunto com a maior presença de formação florestal nos locais amostrados dessa tipologia. A positiva associação de altas temperaturas com precipitação pluviométrica, é provavelmente causada pela atividade de acasalamento e postura de ovos em temperaturas mais altas, principalmente para Diptera (FORATTINI, 2002) que foram os mais diversos nos fitotelmos analisados.

A dimensão das plantas também pode afetar a quantidade de água retida nos tanques e o tempo necessário para que esses tanques sequem, como demonstrado em estudos anteriores, quanto maior o volume de água que a planta pode armazenar,

menor é a efemeridade desse micro-habitat (ARMBRUSTER; HUTCHINSON; COTGREAVE, 2002; CAVALLERO; LÓPEZ; BARBERIS, 2009; ZOTZ; THOMAS, 1999). Inclusive, tal como observamos, o diâmetro interno teve relação positiva com a riqueza de espécies. Além do volume, plantas de maior tamanho tendem a ser mais facilmente colonizadas, uma vez que são alvos mais atrativos para colonizadores e proporcionam um habitat mais amplo e com maior volume de fitotelmo (DODSON, 1992; JOCQUE; FIELD, 2014). O que resulta em maior área e elevadas taxas de colonização (MACARTHUR; WILSON, 1967; ARMBRUSTER; HUTCHINSON; COTGREAVE, 2002).

Assim, a diversidade e a composição da comunidade aquática estudada em *W. cyathiformis* são influenciadas por fatores interligados, incluindo características locais, representadas pela bromélia e condições climáticas. Bem como, elementos neutros: distância geográfica e a extensão da preservação de áreas florestais. A parcela não explicada restante em nosso modelo, tanto em termos de riqueza quanto de composição de espécies, pode estar, em parte, associada à variabilidade estocástica e a variáveis ambientais críticas que não foram incorporadas no modelo. Isso engloba possíveis interações bióticas, como competição, predação, sequência de chegada durante a colonização na bromélia, e a história evolutiva e gráfica das espécies com cada localidade (SRIVASTAVA *et al.*, 2008; NABOUT *et al.*, 2009).

Os ruídos resultantes de efeitos de escala e o período considerado em nosso estudo, ou mesmo, combinações de todos esses fatores também podem ser fonte de interferência. O modelo ótimo de amostragem de fitotelmos implicaria na coleta simultânea em um único dia. No entanto, essa abordagem é impraticável devido à utilização de cinco fragmentos florestais geograficamente dispersos, o que acarretaria a inviabilidade da criação dos macroinvertebrados aquáticos e por consequência, na identificação dos organismos.

Portanto, é evidente que nenhuma teoria isolada é suficientemente ampla para explicar toda a gama de padrões observados em comunidades naturais (TURNBULL *et al.*, 2005, VOLKOV *et al.*, 2007; STOKES; ARCHER, 2010). Existe um crescente consenso sobre a necessidade de superar dicotomias, como entre a teoria neutra e de nicho, e ir em direção a teorias mais abrangentes da estrutura de comunidades, que seja capaz de incorporar de forma simultânea processos tanto neutros de estruturação estocástica quanto biológicos (GRAVEL *et al.*, 2006, LEIBOLD;

MCPEEK, 2006, CHU *et al.*, 2007; STOKES; ARCHER, 2010) inclusive em fitotelmos bromelícolas.

4.2.5 Conclusão

Neste estudo, destacamos a notável diversidade e abundância de espécies encontradas nos fitotelmos de *W. cyathiformis* na Mata Atlântica, com ênfase nas bromélias da FOD. Observamos a presença de comunidades distintas de macroinvertebrados aquáticos em diferentes paisagens florestais, incluindo a descoberta de uma nova espécie de *Elpidium* sp. (Ostracoda) para a FOM e a FOD e o registro de duas novas ocorrências de espécies de Gastropoda para o Paraná.

É importante ressaltar que, apesar de termos amostrado apenas uma espécie de bromélia-tanque, o Brasil abriga 1.390 espécies de bromélias, 1.190 delas endêmicas, se destacando a Mata Atlântica como um centro de diversidade dessa família. Nesse sentido, a crescente perda e fragmentação desse bioma representam uma ameaça para as bromélias e sua fauna associada, que ainda carece de estudos específicos. Portanto, enfatizamos a importância da conservação desses ecossistemas florestais.

Constatamos que a diversidade e a composição da comunidade aquática bromelícola são influenciadas por fatores interligados, incluindo as matrizes de nicho representados pela morfometria da bromélia, físico-química do fitotelmo e variáveis bioclimáticas locais, além de fatores em larga escala, como a distância geográfica e a conservação dos fragmentos florestais. Como segundo fator preponderante, para a riqueza, as matrizes de uso e ocupação do solo, distância geográfica e clima foram mais relevantes que a morfometria da planta e físico-química do fitotelmo. Para a composição de espécies, a teoria neutra, representada pela distância geográfica e a conservação dos fragmentos foram essenciais, visto que houve a influência dessas preditoras nas quatro combinações mais explicativas do modelo. Portanto, sugerimos que pesquisas futuras sobre estrutura de comunidades bromelícolas incluam como variáveis não apenas a morfometria da bromélia e física-química do fitotelmo, mas também fatores climáticos, distância geográfica e uso e ocupação do solo para uma compreensão mais abrangente desse micro ecossistema.

REFERÊNCIAS

- ANDAM, K. S.; FERRARO, P. J.; PFAFF, A.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; ROBALINO, J. A. Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 42, p. 16089-16094, 2008.
- ANDERSON, M. J. Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions. **Biometrics**, v. 62, n. 1, p. 245-253, 2006.
- ANDERSON, M. J.; ELLINGSEN, K. E.; MCARDLE, B. H. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. **Ecology Letters**, v. 9, n. 6, p. 683-693, 2006.
- ANTIQUERA, L. M. O. R.; MORO, R. S. **Biodiversidade Brasileira: Aspectos do Estado Atual 2: Remanescentes de Cerrado no Parque Nacional dos Campos Gerais – PR**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.
- ARAUJO, M. M.; CHAMI, L.; LONGHI, S. J.; AVILA, A. L.; BRENA, D. A. Análise de agrupamento em remanescente de Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 1-18, 2010.
- ARAÚJO, T. M. S.; BASTOS, F. H. Corredores Ecológicos e Conservação da Biodiversidade: Aportes Teóricos e Conceituais. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 21, n. 2, p. 716-729, 2019.
- ARAUJO, V. A.; MELO, S. K.; ARAUJO, A. P. A.; GOMES, M. L. M.; CARNEIRO, M. A. A. Relationship between invertebrate fauna and bromeliad size. **Brazilian Journal of Biology**, v. 4, n. 67, p. 611 -617, 2007.
- ARMBRUSTER, P.; HUTCHINSON, R. A.; COTGREAVE, P. Factors influencing community structure in a South American tank bromeliad fauna. **OIKOS**, v. 96, p. 225-234, 2002.
- BAPTISTA, L.; REIS, D. G. Análisis geosistémica de impactos biofísicos en el camino de la cascada de Mariquinha: Parque Nacional Campos Gerais - PR, Brasil. **Turydes: Turismo y Desarrollo**, v. 14, n. 30, p. 36-54, 2021.
- BARBERIS, I. M.; CÁRCAMO, J. M.; CÁRCAMO, J. I.; ALBERTENGO, J. Phenotypic plasticity in *Bromelia serra* Griseb.: morphological variations due to plant size and habitats with contrasting light availability. **Brazilian Journal of Biosciences**, v. 15, n. 3, p. 143-150, 2017.
- BASELGA, A. Partitioning the *turnover* and nestedness components of beta diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 1, p. 134–143, 2010.

BASELGA, A. The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 12, p. 1223-1232, 2012.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology: from individuals to ecosystems**. 4. ed. UK, Oxford: Blackwell Publishing, 2006. p. 759.

BENZING, D. H. **Bromeliaceae: Profile of an adaptive radiation**. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2000. p. 708.

BENZING, D. H. Bromeliad trichomes: structure, function, and ecological significance. **Selbyana**, v.1, p. 331-348, 1976.

BENZING, D. H.; SEEMAN, J.; RENFROW, A. The foliar epidermis in Tillandsioideae (Bromeliaceae) and its role in habitat selection. **American Journal of Botany**, v. 65, p. 359-365, 1978.

BINCKLEY, C. A.; RESETARITS, W. J. Habitat selection determines abundance, richness and species composition of beetles in aquatic communities. **Biology Letters**, v. 1, p. 370–374, 2005.

BLUM, C. T.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Composição florística e distribuição altitudinal de epífitas vasculares da Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Morretes, Paraná, Brasil. **Biota Neotrop.**, v. 11, n. 4, 2011.

BORKENT, A.; SPINELLI, G. R. Ceratopogonidae neotropicais (Diptera: Insecta). In: ADIS, J.; ARIAS, J. R.; RUEDA-DELGADO, G.; WATTZEN, K. M. **Biodiversidade Aquática na América Latina (ABLA)**. Ed. 4. Sôfia-Moscovo: Pensoft Publishers, 2007. 198 pp.

BOUCHARD, R. W. Jr. **Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest**. USA: University of Minnesota, 2004. 208 p.

BOULINIER, T.; NICHOLS, J. D.; SAUER, J. R.; HINES, J. E.; POLLOCK, K. H. Estimating species richness: the importance of heterogeneity in species detectability. **Ecology**, v. 79, n. 3, p. 1018–1028, 1998.

BRADSHAW, A. D. Unravelling phenotypic plasticity - why should we bother? **New Phytologist**, v. 170, n. 4, p. 644–648, 2006.

BRAVO, F. **Análise Filogenética dos Psychodidae (Diptera, Psychodomorpha), com ênfase nos Psychodinae e Trichomyiinae**. 1996, 118p. Tese (Doutorado em Biologia) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 1996.

- BRAVO, F.; CORDEIRO, D.; JOCQUE, M. A new genus of Psychodinae (Diptera, Psychodidae) from phytotelmata in a Honduran cloud forest. **Zootaxa**, v. 3841, n. 3, p. 418-428, 2014.
- BROUARD, O.; CÉRÉGHINO, R.; CORBARA, B.; LEROY, C.; PELOZUELO, L.; DEJEAN, A.; CARRIAS, J. F. Understorey environments influence functional diversity in tank-bromeliad ecosystems. **Freshwater Biology**, v. 57, p. 815-823, 2012.
- BÜCHI, L.; VUILLEUMIER, S. Dispersal strategies, few dominating or many coexisting: the effect of environmental spatial structure and multiple sources of mortality. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, p. e34733–e34733, 2012.
- BUSSE, A.; ANTIQUEIRA, P. A. P.; NEUTZLING, A. S.; WOLF, A. M.; ROMERO, G. Q.; PETERMANN, J. S. Different in the dark: The effect of habitat characteristics on community composition and beta diversity in bromeliad microfauna. **PLOS ONE**, v. 13, n. 2, p. 1-20, 2018.
- CÁCERES, M.; LEGENDRE, P.; WISER, S. K.; BROTONS, L. Using species combinations in indicator analyses. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 6, p. 973-982, 2012.
- CACH-PÉREZ, M. J.; ANDRADE, J. L.; CETZAL-IX, W.; REYES-GARCÍA, C. Environmental influence on inter- and intraspecific variation in density and morphology of stomata and trichomes of epiphytic bromeliads of the Yucatan Peninsula. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 3, p. 441–458, 2016.
- CALLAWAY, R. M.; PENNINGS, S. C.; RICHARDS, C. L. Phenotypic plasticity and interactions among plants. **Ecology: Ecological Society of America**, v. 84, n. 5, p. 1115-1128, 2003.
- CAMPANILI, M.; PROCHNOW, M. **Mata Atlântica – uma rede pela floresta**. Brasília: RMA, 2006. p.36.
- CAMPOS, R. E.; FERNÁNDEZ, L. A. Coleopterans associated with plants that form phytotelmata in subtropical and temperate Argentina, South America. **Journal of Insect Science**, v. 11, p. 1-18, 2011.
- CARLUCCI, M. B.; JARENKOW, J. A.; DUARTE, L. S.; PILLAR, V. P. Conservação da Floresta com Araucária no Extremo Sul do Brasil. **Natureza & Conservação**, v. 9, p. 111-114, 2011.
- CARRIAS, J. F.; GERPHAGNON, M.; PÉREZ, H. R.; BORREL, G.; LOISEAU, C.; CORBARA, B.; CÉRÉGHINO, R.; MARY, I.; LEROY, C. Resource availability drives

bacterial succession during leaf-litter decomposition in a bromeliad ecosystem. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 96, n. 4, p. 1-31, 2020.

CARVALHO, J. C.; CARDOSO, P.; GOMES, P. Determining the relative roles of species replacement and species richness differences in generating beta-diversity patterns. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, p. 760-761, 2012.

CASTELLA, P. R.; BRITZ, R. M. **A Floresta com Araucária no Estado do Paraná**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 236 p.

CAVALLERO, L.; LÓPEZ, D.; BARBERIS, I. M. Morphological variation of *Aechmea distichantha* (Bromeliaceae) in a Chaco forest: habitat and size-related effects. **Plant Biology**, v. 11, p. 379– 391, 2009

CÉRÉGHINO, R.; LEROY, C.; DEJEAN, A.; CORBARA, B. Ants mediate the structure of phytotelm communities in an ant-garden bromeliad. **Ecology**, v. 91, n. 5, p. 1549-1556, 2010.

CHALCOFF, V. R.; EZCURRA, C.; AIZEN, M. A. Uncoupled Geographical Variation between Leaves and Flowers in a South-Andean Proteaceae. **Annals of Botany**, v. 102, p. 79-91, 2008.

CHAVES, C. J. N.; LEAL, B. S. S.; LEMOS-FILHO, J. P. How are endemic and widely distributed bromeliads responding to warming temperatures? A case study in a Brazilian hotspot. **Flora**, v. 238, p. 110-118, 2018.

CHAVES, T. P.; COUTO, E. C. G.; MORANTE-FILHO, J. C.; BENCHIMOL, M. Environmental predictors affect α - and β -diversity of tropical bromeliad macroinvertebrates. **Acta Oecologica**, v. 119, p. 1-10, 2023.

CHEN, I. C.; HILL, J. K.; OHLEMULLER, R.; ROY, D. B.; THOMAS, C. D. Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 1024-1026, 2011.

CHU, C. J.; WANG, Y. S.; DU, G. Z.; MAESTRE, F. T.; LUO, Y. J.; WANG, G. On the balance between niche and neutral processes as drivers of community structure along a successional gradient: insights from alpine and sub-alpine meadow communities. **Annals of Botany**, v. 100, p. 807-812, 2007.

COGLIATTI-CARVALHO, L.; ALMEIDA, D. R.; ROCHA, C. F. D. Phenotypic response of neoregelia johannis (Bromeliaceae) dependent on light intensity reaching the plant microhabitat. **Selbyana**, v. 19, n. 2, p. 240-244, 1998.

CONSERVATION.ORG. **Hotspots Revisitados**. Disponível em: <<https://www.conservation.org/docs/default->

source/brasil/hotspotsrevisitados.pdf?sfvrsn=f883efb6_2>. Acesso em: 05 de out. 2023.

CRAYN, D. M.; WINTER, K.; SMITH, J. A. C. Multiple origins of crassulacean acid metabolism and the epiphytic habit in the Neotropical family Bromeliaceae. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 101, p. 3703-3708, 2004.

DALLAS, H. F.; RIVERS-MOORE, N. Ecological consequences of global climate change for freshwater ecosystems in South Africa. **South African Journal of Science**, v. 110, n.5/6, p. 1-11, 2014.

DAMBORENEA, C.; THORP, J. H.; ROGERS, D. C. **Keys to Neotropical and Antarctic Fauna: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates**. 4. ed. London: Academic Press, 2020. 1046p.

DÉZERALD, O.; STANISLAS, T.; LEROY, C.; CARRIAS, J. F.; CORBARA, B.; DEJEAN, A.; CÉRÉGHINO, R. Environmental determinants of macroinvertebrate diversity in small water bodies: insights from tank-bromeliads. **Hydrobiologia**, v. 723, p. 77–86, 2014.

DÉZERALD, O.; LEROY, C.; CORBARA, B.; DEJEAN, A.; TALAGA, S.; CÉRÉGHINO, R. 2017. Environmental drivers of invertebrate population dynamics in Neotropical tank bromeliads. **Freshwater Biology**, v. 62, n. 2, p. 229–242, 2017.

DICKINSON, W. C. **Integrative plant anatomy**. San Diego: Harcourt Academic Press, 2000. 533p.

DIRZO, R. *et al.* Defaunation in the Anthropocene. **Science**, v. 345, n. 6195, p. 401-406, 2014.

DOCILE, T. N.; FIGUEIRÓ, R.; HONÓRIO, N. A.; BAPTISTA, D. F.; PEREIRA, G.; SANTOS, J. A. A.; CODEÇO, C. T. Frequency of *Aedes* sp. Linnaeus (Diptera: culicidae) and associated entomofauna in bromeliads from a forest patch within a densely urbanized area. **Neotrop Entomol.**, v. 46, n. 6, p. 613-621, 2017.

DODSON, S. Predicting crustacean zooplankton species richness. **Limnology and Oceanography**, v. 37, p. 848-856, 1992.

ELDREDGE, N. *et al.* The dynamics of evolutionary stasis. **Paleobiology**, v. 31, p. 133-154, 2005.

EPLER, J. H. 2001. **Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina**. Disponível em: <
<https://files.nc.gov/ncdeq/Water%20Quality/Environmental%20Sciences/BAU/Benthos%20Reference/intro.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

FAHN, A.; CUTLER, D. **Xerophytes**. Berlin: Gebruder Borntraeger, 1992. 176 p.

FARJALLA, V. F.; SRIVASTAVA, D. S.; MARINO, N. A. C.; AZEVEDO, F. D.; DIB, V.; LOPES, P. M.; ROSADO, A. S.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A. Ecological determinism increases with organism size. **Ecology**, v. 93, n. 7, p. 1752-1759, 2012.

FERRO, V. G.; LEMES, P.; MELO, A. S.; LOYOLA, R. The Reduced Effectiveness of Protected Areas under Climate Change Threatens Atlantic Forest Tiger Moths. **PLOS ONE**, v. 9, n. 9, p. 1-10, 2014.

FILHO, A. F.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **FLORESTA**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

FORATTINI, O. P. **Culicidologia Médica. Identificação, Biologia, Epidemiologia, vol 2**. Editora Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. p. 860.

FORZZA, R. C. *et al.* **Bromeliaceae in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB66>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

FREITAS, C. A., SCARANO, F. R., & BLESBOER, D. D. Morphological Variation in Two Facultative Epiphytic Bromeliads Growing on the Floor of a Swamp Forest. **BIOTROPICA**, v. 35, n. 4, p. 546-550, 2003.

FREITAS, L. E.; GARAY, I. E. G. Corredores Ecológicos como Ferramentas de Gestão. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 47042-47063, 2021.

FUSARI, L. M.; DANTAS, G. P. S.; PINHO, L. C. Order Diptera. in: HAMADA, N.; THORP, J. H.; ROGERS, D. C. **Keys to Neotropical Hexapoda**. 4.ed. London: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2018. Cap. 16, p. 607-623.

GBIF. 2023. ***Wittrockia cyathiformis* (Vell.) Leme no Secretariado do Conjunto de dados da lista de verificação acessado via GBIF.org**. Disponível em: <<https://www.gbif.org/species/2694306>>. Acesso em: 05 abr. 2023.

GILBERT, B.; SRIVASTAVA, D. S.; KIRBY, K. R. Niche partitioning at multiple scales facilitates coexistence among mosquito larvae. **Oikos**, v. 117, p. 944-950, 2008.

GIONGO, A.; MEDINA-SILVA, R.; ASTARITA, L. V.; BORGES, L. G. D. A.; OLIVEIRA, R. L. R.; SIMÃO, T. L. L.; GANO, K. A.; DAVIS-RICHARDSON, A. G.; BROWN, C. T.; FAGEN, J. E. R.; ARZIVENCO, P. M.; NETO, C. P.; ABICHEQUER, A. D.; LINDHOLZ, C. G.; BAPTISTA-SILVA, A.; MONDIN, C. A.; UTZ, L. R. P.; TRIPLETT, E. W.; EIZIRIK, E. Seasonal Physiological Parameters and Phytotelmata

Bacterial Diversity of Two Bromeliad Species (*Aechmea gamosepala* and *Vriesea platynema*) from the Atlantic Forest of Southern Brazil. **Diversity**, v. 11, n 7, p. 111, 2019.

GIVNISH, T. J. Leaf and canopy adaptations in tropical forests. In: MEDINA, E.; MOONEY, H. A.; VASQUEZ-YANES, C. eds. **Physiological ecology of plants of the wet tropics**. The Hague, the Netherlands: Dr. W. Junk Publishers, p. 51–84, 1984.

GIVNISH, T. J.; BARFUSS, M. H. J.; VAN, E. E. B.; RIINA, R.; SCHULTE, K.; HORRES, R.; GONSISKA, P. A.; JABAILY, R. S.; CRAYN, D. M.; SMITH, J. A. C.; WINTER, K.; BROWN, G. K.; EVANS, T. M.; HOLST, B. K.; LUTHER, H.; TILL, W.; ZIZKA, G.; BERRY, P. E.; SYSTMA, K. J. Adaptive radiation, correlated and contingent evolution, and net species diversification in Bromeliaceae. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 71, p. 55-78, 2014.

GIVNISH, T. J.; BARFUSS, M. H. J.; VAN, E. E. B.; RIINA, R.; SCHULTE, K.; HORRES, R.; GONSISKA, P. A.; JABAILY, R. S.; CRAYN, D. M.; SMITH, A. C.; WINTER, K.; BROWN, G. K.; EVANS, M. T.; HOLST, K. B.; LUTHER, H. E.; TILL, W.; ZIZKA, G.; BERRY, P. E.; SYTSMA, K. J. Phylogeny, adaptive radiation, and historical biogeography in Bromeliaceae: insights from an eight-locus plastid phylogeny. **American Journal of Botany**, v. 98, p. 872–895, 2011.

GIVNISH, T. J.; MILLAN, K. C.; BERRY, SYTSMA, K. J. Phylogeny, adaptative radiation, and historical biogeography of Bromeliaceae inferred from *ndhF* sequence data. **Aliso**, v. 23, p. 3–26, 2007.

GIVNISH, T. On the Adaptive Significance of Leaf Form. In: SOLBRIG, O. T.; JAIN, S.; JOHNSON, G. B.; RAVEN, P. H. **Topics in Plant Population Biology**. London: Palgrave, 1979. p. 375–407.

GIVNISH, T. On the Adaptive Significance of Leaf Form. In: SOLBRIG, O. T.; JAIN, S.; JOHNSON, G. B.; RAVEN, P. H. **Topics in Plant Population Biology**. London: Palgrave, 1979. p. 375–407.

GOUDA, E. J.; BUTCHER, D.; GOUDA, C. S. **(cont.updated) Encyclopaedia of Bromeliads, Version 4**. <http://bromeliad.nl/encyclopedia/> Utrecht University Botanic Gardens. Disponível em: < <http://bromeliad.nl/encyclopedia/> Utrecht University Botanic Gardens >. Acesso em: 6 jan. 2023.

GRAVEL, D.; CANHAM, C. D.; BEAUDET, M.; MESSIER, C. 2006. Reconciling niche and neutrality: the continuum hypothesis. **Ecology Letters**, v. 9, p. 399–409, 2006.

GRELLE, C. E.; BAYMA, A. P.; PAIXÃO, L. R. L.; EGLER, M.; SENTA, M. M. D.; JENKINS, C. N.; UEZU, A.; PELLIN, A.; MARTENSEN, A. C.; SHIRAI, H.; SOARES,

N.; LIMA, F.; MARTINEZ, E.; POUGY, N.; MARTINELLI, G.; MESQUITA, C. A.; MANTONAVI, M.; FERNANDEZ, F. A. S.; RHEINGANTZ, M. L.; VIEIRA, M. V. **Conservation initiatives in the Brazilian Atlantic forest**. In: The Atlantic Forest. Cham: Springer; 2021. p. 421-449.

GUIMARÃES-SOUZA, B. A.; MENDES, G. B.; BENTO, L.; MAROTTA, H.; SANTORO, A. L.; ESTEVES, F. D. A.; PINHO, L.; FARJALLA, V. F. Limnological parameters in the water accumulated in tropical bromeliads. **Acta Limnol Bras.**, v. 18, p. 47–53, 2006.

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora do INPA, 2014. 728 p.

HEINO, J.; ALAHUHTA, J.; FATTORINI, S.; SCHMERA, D. Predicting beta diversity of terrestrial and aquatic beetles using ecogeographical variables: insights from the replacement and richness difference components. **Journal of Biogeography**, v. 46, p. 304–315, 2018.

HUBBELL, S. P. **The unified neutral theory of biodiversity and biogeography**. Princeton University Press: New Jersey, 2001. 369p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: Série Manuais Técnicos em Geociências, 2012. 271 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2020-2021**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2022. 72 p.

ISLAIR, P.; CARVALHO, K. S.; FERREIRA, F. C.; ZINA, J. 2014. Bromeliads in Caatinga: an oasis for invertebrates. **Biotemas**, v. 28, p. 67-77, 2014.

IUCN, 2022. **The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2**. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org>>. Acesso em: 01 de out. 2023.

JABIOL, J.; CORBARA, B.; DEJEAN, A.; CÉRÉGHINO, R. Structure of aquatic insect communities in tank-bromeliads in an East-Amazonian rainforest in French Guiana. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 351-360, 2009.

JOCQUE, M. *et al.* How effective are non-destructive sampling methods to assess aquatic invertebrate diversity in bromeliads? **Hydrobiologia**, v. 649, p. 293–300, 2010.

JOCQUE, M.; FIELD, R. Aquatic invertebrate communities in tank bromeliads: how well do classic ecological patterns apply? **Hydrobiologia**, v. 730, p. 153–166, 2014.

JOCQUE, M.; FIERS, F.; ROMERO, M.; MARTENS, K. Crustacea in Phytotelmata: A Global Overview. **Journal of Crustacean Biology**, v. 33, n. 4, p. 451-460, 2013.

JORGE, J. S.; SALES, R. F. D.; SANTOS, R. L.; FREIRE, E. M. X. Living among thorns: herpetofaunal community (Anura and Squamata) associated to the rupicolous bromeliad *Encholirium spectabile* (Pitcairnioideae) in the Brazilian semi-arid Caatinga. **Zoologia**, v. 37, p. 1-12, 2020.

JUNCÁ, F. A.; BORGES, C. L. D. S. Fauna associada a bromélias terrícolas da Serra da Jibóia, Bahia. **Sitientibus Série Ciências Biológicas**, v. 2, p. 73–81, 2002.

JÚNIOR, A. T. P.; ROSA, B. F. J. V.; ALVES, R. G.; DIVINO, A. C. Aquatic invertebrates associated with bromeliads in Atlantic Forest fragments. **Biota Neotropica**, v. 17, p. 1-7, 2017.

KERSTEN, R. A.; BORGO, M.; GALVÃO, F. Floresta Ombrófila Mista: aspectos fitogeográficos, ecológicos e métodos de estudo. In: EISENLOHR, P. V. *et al.* (Ed.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. v. 2. p. 156-182.

KLEIN, R. M. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. **Sellowia**, v. 36, p. 5-54, 1984.

KNEITEL, J.; CHASE, J. M. Trade-offs in community ecology: Linking spatial scales and species coexistence. **Ecology Letters**, v. 7, n. 1, p. 69-80, 2004.

KRAUSS, B. H. Anatomy of the vegetative organs of the pineapple *Ananas comosus* (L.) Merr.: II the leaf. **Botanical Gazette**, v. 110, n. 3, p. 333-404, 1949.

KUNIN, W. E.; GASTON, K. J. **THE BIOLOGY OF RARITY Causes and consequences of rare-common differences**. 1. ed. London: Chapman & Hall, 1997. p. 291.

LADINO, G.; OSPINA-BAUTISTA, F.; ESTÉVEZ, V. J.; JERABKOVA, L.; KRATINA, P. Ecosystem services provided by bromeliad plants: a systematic review. **Ecol Evol**, v. 9, p. 7360–7372, 2019.

LAESSLE, A. M. A Micro-Limnological Study of Jamaican Bromeliads. **Ecology**, v. 42, n. 3, p. 499–517, 1961.

LAVISKI, B. F. S.; MONTEIRO, Í. M.; PINHO, L. C.; BAPTISTA, R. L. C.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; RACCA-FILHO, F.; NUNES-FREITAS, A. F. Bromeliad habitat

regulates the richness of associated terrestrial and aquatic fauna. **Austral Ecology**, v. 46, n. 5, p. 860-870, 2021.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. 2nd English ed. Elsevier. 1998. p. 870.

LEIBOLD, M. A. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. **Ecology Letters**, v. 7, n. 7, 2004.

LEIBOLD, M. A.; MCPHEE, M. A. Coexistence of the niche and neutral perspectives in community ecology. **Ecology**, v. 87, p.1399–1410, 2006.

LEITE, P. F. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil. **Ciência & Ambiente**, v. 24, p. 51-73, 2002.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. **Vegetação. Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 113–147.

LEME, E. M. C.; MARIGO, L. C. **Bromélias na natureza**. Rio de Janeiro: Marigo Comunicação Visual Ltda, 1993. 183 p.

LEMES, P.; MELO, A. S.; LOYOLA, R. D. Climate change threatens protected areas of the Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 23, p. 357–368, 2013.

LENZI, M.; MATOS, J. Z.; ORTH, A. I. Variação morfológica e reprodutiva de *Aechmea lindenii* (E. Morren) Baker var. *lindenii* (Bromeliaceae). **Acta bot. Bras.**, v. 20, n. 2, p. 487-500, 2006.

LEROY, C. *et al.* The contribution of microorganisms and metazoans to mineral nutrition in bromeliads. **Journal of Plant Ecology**, v. 9, n. 3, p. 241-255, 2015.

LIAO, Z. *et al.* Climate change jointly with migration ability affect future range shifts of dominant fir species in Southwest China. **BIODIVERSITY RESEARCH**, v. 26, n. 3, p. 352-367, 2019.

LIBONATTI, M. L.; RUTA, R. Family Scirtidae. In: HAMADA, N.; THORP, J. H.; ROGERS, D. C. 4 ed. **Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates**. Cambridge: Academic Press, p. 599–603, 2018.

LIMA, R. A. F.; OLIVEIRA, A. A.; PITTA, G. R.; GASPER, A. L.; VIBRANS, A. C.; CHAVE, J.; STEEGE, H.; PRADO, P. I. The erosion of biodiversity and biomass in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Nature Communications**, v. 11, p. 1–16, 2020.

LIU, L.; JIANG, Y.; SONG, X.; TANG, J.; KOU, J.; FAN, Y.; SHAO, X. Temperature, not precipitation, drives the morphological traits of *Didymodon rigidulus* in Tibet. **Ecological Indicators**, v. 133, p. 1-10, 2021.

LOPEZ, L. C. S.; RIOS, R. I. Phytotelmata faunal communities in sun-exposed versus shaded terrestrial bromeliads from Southeastern Brazil. **Selbyana**, v. 22, p. 219-224, 2001.

LUTHER, H. E. **An alphabetical list of bromeliad binomials**. 11^a ed. The Marie Selby Botanical Gardens and Bromeliad Society International, 2012.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: BADEP, UFPR, 1968. 450 p.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The theory of island biogeography**. Princeton University Press: Princeton, N.J., 1967. 203 p.

MALUF, A. M. Plasticidade fenotípica em *Amaranthus hybridus* L. (Amaranthaceae). **Acta Bot. Bras.**, v. 8, n. 2, p. 213-218, 1994.

MARTEIS, L. S.; NATAL, D.; SALLUM, M. A. M.; MEDEIROS-SOUSA, A. R.; LA CORTE, R. 2017. Mosquitoes of the Caatinga: 2. Species from periodic sampling of bromeliads and tree holes in a dry Brazilian forest. **Acta Trop.**, v. 171, p. 114–123, 2017.

MASSUQUETO, L. P.; MELO, M. S.; GUIMARÃES, G. B.; LOPES, M. C. Cachoeira de Santa Bárbara no Rio São Jorge, PR. In: WINGE, M. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, p. 163-174, 2009.

MEDEIROS, I. L. U.; MELO, A. L.; JÚNIOR, M. M. Aquatic invertebrate diversity in tank bromeliads in an enclaved wet forest in Brazil's semiarid region. **Studies on Neotropical fauna and environment**, p. 1-15, 2022.

MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1. ed. Ponta Grossa: UEPG, 2014. p. 93-105.

MIDOLO, G.; WELLSTEIN, C. Plant performance and survival across transplant experiments depend upon temperature and precipitation change along elevation. **Journal of Ecology**, v. 108, n. 5, p. 1-14, 2020.

MIECZAN, T.; TARKOWSKA-KUKURYK, M.; BIELÁŃSKA-GRAJNER, I. Hydrochemical and microbiological distinction and function of ombrotrophic peatland lagg as ecotone between Sphagnum peatland and forest catchment (Poleski National Park, eastern Poland). **Ann. Limnol. - Int. J. Lim.**, v. 48, p. 323-336, 2012

MITTERMEIER, R. *et al.* Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. CEMEX, 2005.

MOLES, A. T. *et al.* Which is a better predictor of plant traits: temperature or precipitation? **Journal of vegetation science**, v. 5, n. 5, p. 1167-1180, 2014.

MONTANARI, R. M.; SOUZA, L. A.; LEITE, M. N.; COELHO, A. D. F.; VICCINI, L. F.; STEFANINI, M.B. Plasticidade fenotípica da morfologia externa de *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britt. e Wilson (Verbenaceae) em resposta a níveis de luminosidade e adubação. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.6, n.3, p.96-101, 2004.

MONTERO, G.; FERUGLIO, C.; BARBERIS, I. M. The phytotelmata and foliage macrofauna assemblages of a bromeliad species in different habitats and seasons. **Insect Conservation and Diversity**, v. 3, p. 92-102, 2010.

MOTTA, J. T. W. Floresta Atlântica – Vegetação. In: RAVAZZANI, C.; FAGNANI, J.P.; KOCH, Z. **Mata Atlântica**. Curitiba: EDIBRAN, p. 53-67. 1995.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. da.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NABOUT, J. C.; SIQUEIRA, T.; BINI, L. M.; NOGUEIRA, I. S. No evidence for environmental and spatial processes in structuring phytoplankton communities. **Acta Oecol**, v. 35, p. 720–726, 2009.

NAVARRO, M. E. The Effects of Environmental Factors on Bromeliad Invertebrate Biodiversity. **DePaul Discoveries**, v. 4, p.1-10, 2015.

NEVES, B.; ZANELLA, C. M.; KESSOUS, I. M.; FERNANDO P. URIBBE, F. P.; SALGUEIRO, F.; BERED, F.; ANTONELLI, A.; BACON, C. D.; COSTA, A. F. Drivers of bromeliad leaf and floral bract variation across a latitudinal gradient in the Atlantic Forest. **Journal of biogeography**, v. 47, p. 261-274, 2019.

NICOTRA, A. B.; ATKIN, O. K.; BONSER, S. P.; DAVIDSON, A. M.; FINNEGAN, E. J.; MATHESIU, U.; POOT, P.; PURUGGANAN, M. D.; RICHARDS, C. L.; VALLADARES, F.; VAN KLEUNEN, M. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 12, p. 684–692, 2010.

NIEBUHR, B. B. S. *et al.* Survival in patchy landscapes: the interplay between dispersal, habitat loss and fragmentation. **Nature: Scientific Reports**, v. 5, p. 1-10, 2015.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOECS, E.; WAGNER, E. 'Vegan': community ecology package. R package version 2. p. 4-6, 2018.

OLIVEIRA, R. R. Importância das bromélias epífitas na ciclagem de nutrientes da Floresta Atlântica. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, p. 793-799, 2004.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; ZHANG, X.; LLORENS, L.; OGAYA, R.; LLORET, F.; COMAS, P.; ESTIARTE, M.; TERRADAS, J. Complex spatiotemporal phenological shifts as a response to rainfall changes. **New Phytologist**, v. 161, n. 3, p. 837-846, 2004.

PEPPE, D. J. *et al.* Sensitivity of leaf size and shape to climate: Global patterns and paleoclimatic applications. **New Phytologist**, v. 190, 724–739, 2011.

PEREIRA, J. S.; ROCHA, C. E. F.; PINTO, R. L.; SILVA, M. B. A New Species of *Elpidium* (Crustacea: Ostracoda: Limnocytheridae) from Brazil and a Morphological Phylogenetic Proposal for the Genus. **Zool Stud.**, v. 61, 2022.

PEŠIĆ, V.; PICCOLI, G. C. D. O.; ARAÚJO, M. S. D.; REZENDE, J. M.; GONÇALVES, A. Z. A new species of *Xystonotus* Wolcott, 1900 (Acari, Hydrachnidia, Mideopsidae) from bromeliad phytotelmata in Brazilian Atlantic rainforest. **Zootaxa**, v. 3981, p. 147-150, 2015.

PETERMANN, J. S. *et al.* Dominant predators mediate the impact of habitat size on trophic structure in bromeliad invertebrate communities. **Ecology**, v. 96, p. 428–439, 2015.

PIERCE, S. The jeweled armor of *Tillandsia*—multifaceted or elongated trichomes provide photoprotection. **Aliso**, v. 23, p. 44-52, 2007.

PIMM, S. L. *et al.* The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. **Science**, v. 344, n. 6187, p. 1246752-1 - 1246752-10, 2014.

PINHO, L. C. 2008. **Diptera. In: Guia on-line: Identificação de larvas de Insetos Aquáticos do Estado de São Paulo.** Froehlich, C.G. (org.). Disponível em: <<http://sites.ffclrp.usp.br/aguadoce/guiaonline>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

PINTO, L. P.; SILVA, J. M. C.; HIROTA, M. M.; BEDÊ, L. The challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Brazilian Atlantic Forest. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 695- 700, 2005.

PINTO, R. L.; JOCQUÉ, M. A new species of *Elpidium* (Crustacea, Ostracoda) from bromeliads in Cusuco National Park, Honduras. **ZooKeys**, v. 313, p. 45-59, 2013.

PITTENDRIGH, C. S. The bromeliad-Anopheles-malaria complex in Trinidad. I - the bromeliad flora. **Evolution**, v. 2, p. 58-89, 1948.

PROJETO MAPBIOMAS, 2023. **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 20 julho 2023.

PÜTTKER, T. *et al.* Indirect effects of habitat loss via habitat fragmentation: A cross-taxa analysis of forest-dependent species. **Biological Conservation**, v. 241, p. 1-10, 2020.

R Core Team (2023). **R: A language and environment for statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria**. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

RAMIREZ, J. L. DNA barcoding in the Southeast Pacific marine realm: Low coverage and geographic representation despite high diversity. **PLOS ONE**, v. 15, n. 12, p. 1-13, 2020.

RAMOS, G. J. P.; MOURA, C. W. D. N. Algae and cyanobacteria in phytotelmata: diversity, ecological aspects, and conservation. **Biodivers Conserv.**, v.28, n. 7, p. 1667–1697, 2019.

RANGEL, J. V.; ARAÚJO, R. E. S.; CASOTTI, C. G.; COSTA, L. C.; KIFFER, J. W. P.; MORETTI, M. S. Assessing the role of canopy cover on the colonization of phytotelmata by aquatic invertebrates: an experiment with the tank-bromeliad *Aechmea lingulata*. **J. Limnol.**, v. 76, n. 2, p. 230-239, 2017.

RAPNOUIL, L. T. *et al.* Effect of substrate fertility on tank-bromeliad performances. **Plant Soil**, v. 484, p. 517–532, 2023.

REGINATO, M.; GOLDENBERG, R. Análise florística, estrutural e fitogeográfica da vegetação em região de transição entre as Florestas Ombrófilas Mista e Densa Montana, Piraquara, Paraná, Brasil. **Hoehnea**, v. 34, n. 3, p. 349-364, 2007.

REID, J. W.; JANETZKY, W. Colonization of Jamaican bromeliads by *Tropocyclops jamaicensis* n. sp. (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida). **Invertebrate Biology**, v. 115, n. 4, p. 305-320, 1996.

REINERT, F.; LEAL-COSTA, M. V.; JUNQUEIRA, N. E.; TAVARES, E. S. Are sun- and shade-type anatomy required for the acclimation of *Neoregelia cruenta*? **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 85, n. 2, p. 561-573, 2013.

REZENDE, R. S.; KROTH, N.; CAPITANIO, B. M.; LIMA-REZENDE, C. A.; CASSOL, A. S.; COZZER, G. D.; BALDISSERA, R.; BREAUX, J. A.; ALBENY-SIMÕES, D. Abiotic factors and trophic interactions affect the macroinvertebrate community of bromeliad tanks in a Neotropical Restinga. **Limnology**, v. 21, p. 275–285, 2020.

RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. In: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. **Biodiversity Hotspots**. 2011. p. 405-434.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

ROCHA, C. F. D.; COGLIATTI-CARVALHO, L.; ALMEIDA, D. R.; FREITAS, A. F. N. Bromeliads: Biodiversity amplifiers. **Journal of Bromeliad Society**, v. 50, p. 81-83, 2000.

RODERJAN, C. V. **O gradiente da Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro Anhangava, Quatro-Barras, PR**. 1994, 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 1984.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI F. Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, v. 24, p. 75-92, 2002.

RONDEROS, M. M.; DÍAZ, F.; MARINO, P. I.; FERREIRA-KEPLER, R. L. Family Ceratopogonidae. in: HAMADA, N.; THORP, J. H.; ROGERS, D. C. **Keys to Neotropical Hexapoda**. 4.ed. London: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2018. Cap. 16.1, p. 625-659.

ROSA, C. D.; ANTUNES, T. J.; PEREIRA, I. K.; TARDIVO, R. C.; NUVOLONI, F. M. Habitat size and anthropic threatens: the role of conservation areas on macroinvertebrates from tank bromeliads. **Acta Brasiliensis**, v. 5, n. 2, p. 76-82, 2021.

ROSSI, V.; BENASSI, G.; BELLETTI, F.; MENOZZI, P. Colonization, population dynamics, predatory behaviour and cannibalism in *Heterocypris incongruens* (Crustacea: Ostracoda). **J. Limnol.**, v. 70, p. 102-108, 2011.

ROYER, D. L.; MEYERSON, L. A.; ROBERTSON, K. M.; ADAMS, J. M. Phenotypic Plasticity of Leaf Shape along a Temperature Gradient in *Acer rubrum*. **PLoS ONE**, v. 4, n. 10, p. 1-7, 2009.

SALA, O. E. *et al.* Global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, 2000.

SALLUM, M. A. M.; OBANDO, R. G.; CARREJO, N.; WILKERSON, R. C. Identification keys to the Anopheles mosquitoes of South America (Diptera: Culicidae). II. Fourth-instar larvae. **Parasites Vectors**, v. 13, n. 582, p. 1-25, 2020.

SANTANA, L. D.; RIBEIRO, J. H. C.; IVANAUSKAS, N. M.; CARVALHO, F. A. Estrutura, diversidade e heterogeneidade de uma Floresta Ombrófila Mista Altomontana em seu extremo norte de distribuição (Minas Gerais). **Revista Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 567-579, 2018.

SANTOS, R. L.; ALMEIDA, M. G.; ALMEIDA, E. A.; BARCA, R. R. B. Survey of Invertebrates Associated with Bromeliads in a Conservation Unit of the Brazilian Atlantic Rainforest, and its Relevance for Environmental Risk Studies. **JBS**, v. 59, n. 6, 2009.

SAVI, M. **Análise ecossistêmica da Serra do Mar Paranaense: Área de Especial Interesse Turístico do Marumbi**. 2008, 100 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2008.

SCARANO, F. R. Structure, function, and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rain in forest. **Ann. Bot.**, v. 90, p. 517-524, 2002.

SILVA, F. R. *et al.* **Análises ecológicas no R. Recife: Nupeea; Bauru, SP: Canal 6, 2022**. Disponível em: <<https://canal6.com.br/livreacesso/livro/analises-ecologicas-no-r/>>. Acesso em: 17 julho 2023.

SILVA, Y. K.; MOSER, A. S. M.; CENEVIVA-BASTOS, M.; AFFONSO, A. L. S. Record of aquatic invertebrates associated with the bromeliads *Aechmea ornata* (Baker) and *Aechmea recurvata* (Klotzsch) L. B. Sm in two Atlantic Rainforest fragments of south Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 33, p. 1-6, 2021

SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C. Influências antrópicas no remanescente da Floresta Atlântica na área de proteção ambiental de Guaratuba, Paraná. **Revista Eletrônica Geografar**, v.2, n.1, p. 60-76, 2007.

SIRI, A.; CAMPOS, R. E.; DONATO, M. A new species of *Larsia* Fittkau, 1962 (Diptera: Chironomidae: Tanypodinae) from phytotelmata of *Aechmea distichantha* Lemaire, 1853 (Bromeliaceae) in Argentina. **Aquatic Insects**, v. 36, n. 2, 125–134, 2014.

SMITH, L. B; DOWNS, R. J. Bromeliaceae (Bromelioideae). **Flora Neotropica Monograph**, v. 14, n. 3, p. 1493-2142, 1979.

SOBRAL-SOUZA, T.; VANCINE, M. H.; RIBEIRO, M. C.; LIMA-RIBEIRO, M. S. Efficiency of protected areas in Amazon and Atlantic Forest conservation: A spatio-temporal view. **Acta Oecologica**, v. 87, p. 1-7, 2018.

SODRÉ, V. M.; ROCHA, O.; MESSIAS, M. C. Chironomid larvae inhabiting bromeliad phytotelmata in a fragment of the Atlantic Rainforest in Rio de Janeiro State. **Braz. J. Biol.**, v. 70, n. 3, p. 587-592, 2010.

SRIVASTAVA D. S.; TRZCINSKI, M. K.; RICHARDSON, B. A.; GILBERT, B. Why are predators more sensitive to habitat size than their prey? Insights from bromeliad insect food webs. **The American Naturalist**, v. 172, p. 761-771, 2008.

STEFANO, M.; PAPINI, A.; BRIGHIGNA, L. A new quantitative classification of ecological types in the bromeliad genus *Tillandsia* (Bromeliaceae) based on trichomes. **Revista de Biología Tropical**, v. 56, n. 1, p. 191-203, 2008.

STOKES, C. J.; ARCHER, S. R. Niche differentiation and neutral theory: an integrated perspective on shrub assemblages in a parkland savanna. **Ecology**, v. 91, n. 4, pp. 1152–1162, 2010.

STREHL, T. Forma, distribuição e flexibilidade dos tricomas foliares usados na filogenia de Bromeliáceas. **Iheringia, Série Botânica**, v. 31, p. 105-119, 1983.

STRUMINSKI, E. **Mapeamento da trilha frontal do morro Anhangava**. Consultoria prestada ao Instituto Ambiental do Paraná, outubro 2010. Disponível em: <<https://docs.google.com/file/d/0B1cydfxjF6KZN2M3Njg3MjQtNzA3Mi00MDhILWEyZDUtZjlxNTAxMzg4MDIx/edit?hl=en&pli=1>> Acesso em: 25 dez. 2023.

STRUMINSKI, E. **Parque Estadual do Pico do Marumbi**. Curitiba: Revista UFPR, 2001. 179 p.

TARDIVO, R. C. 2023. **Wittrockia in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB6580>>. Acesso em: 05 abr. 2023

TARDIVO, R. C.; CERVI, A. C. O gênero *Canistrum* E. Morren (Bromeliaceae) no Estado do Paraná, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**. v. 11, n. 2, p. 259-271, 1997.

TEIXEIRA, A. P.; SILVA, P. F. R. S.; SOUZA, J. P. F.; ALVES, N. L.; GUIMARÃES, A.; CARNEIRO, F. M. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 40, p. 1-9, 2018.

THOMAS, C. D. *et al.* Extinction risk from climate change. *Nature*, v. 427, n. 6970, p. 145-148, 2004.

THYSSEN, P. J. **Keys for Identification of Immature Insects**. Current Concepts in Forensic Entomology, 2010. p. 25–42.

TOMLINSON, P. B. 1969. Anatomy of the monocotyledons. III. Commelinales-Zingiberales. UK, Oxford: Clarendon Press, 1969. p. 193-294.

TOWNSEND, C. R. *et al.* **Fundamentos em ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. P. 576.

TRIVINHO-STRIXINO, S. **Larvas de Chironomidae: guia de identificação**. São Carlos, SP: gráfica da Universidade Federal de São Carlos, 2011. 371p.

TURNBULL, L. A., MANLEY, L.; REES, M. M. Niches, rather than neutrality, structure a grassland pioneer guild. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 272, p. 1357–1364, 2005.

URIBBE, F. P.; NEVES, B.; JACQUES, S. S. A.; COSTA, A. F. Morphological Variation in the *Vriesea procera* complex (Bromeliaceae, Tillandsioideae) in the Brazilian Atlantic Rainforest, with Recognition of New Taxa. **Systematic Botany**, v. 45, p. 53–68, 2020.

VALENTE-NETO, F.; DUR, L.; FABIO, S. Metacommunity detectives: confronting models based on niche and stochastic assembly scenarios with empirical data from a tropical stream network. **Freshw Biol**, v. 63, p. 86–99, 2017.

VALLADARES, F.; ARRIETA, S.; ARANDA, I.; LORENZO, D.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; TENA, D.; SUÁREZ, F.; PARDOS, J. A. Shade tolerance, photoinhibition sensitivity and phenotypic plasticity of *Ilex aquifolium* in continental Mediterranean sites. **Tree Physiology**, v. 25, n. 8, p. 1041–1052, 2005.

VALLADARES, F.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; ZAVALA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 1103–1116, 2006.

VANDROMME, M.; TREKELS, H.; SEPÚLVEDA RUIZ, N.; SOMARRIBA, E.; VANSCHOENWINKEL, B. Exploring the suitability of bromeliads as aquatic breeding habitats for cacao pollinators. **Hydrobiologia**, v. 828, p. 327–337, 2019.

VIEIRA, M.; MENDONÇA, Y. C. M. Desmatamento da Mata Atlântica paranaense: análise espacial para o período 2014 e 2019. **Revista Catarinense de Economia**, v. 5, n. 1, 2021.

VITASSE, Y. *et al.* Phenological and elevational shifts of plants, animals and fungi under climate change in the European Alps. **Biological Reviews**, v. 96, n. 5, p. 1816-1835, 2021.

VOLKOV, I., J. R.; BANAVAR, S. P.; HUBBELL, A. M. Patterns of relative species abundance in rainforests and coralreefs. **Nature**, v. 450, p. 45-49, 2007.

VOLTOLINI, C. H.; SANTOS, M. Variações na morfoanatomia foliar de *Aechmea lindenii* (E. Morren) Baker var. *lindenii* (Bromeliaceae) sob distintas condições ambientais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 1, p. 2-10, 2011.

WANDERLEY, M. G. L.; MARTINS, S.E. 2007. Bromeliaceae. In: WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G. J.; MELHEM, T. S.; GIULIETTI, A. M. **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, v. 5, 2007. p. 39-163.

WARD, S. M.; GASKIN, J. F.; WILSON, L. M. Ecological genetics of plant invasion: what do we know? **Invasive Plant Science and Management**, v. 1, p. 98-109, 2008.

WATTS, C. H. S. The larvae of some Australian Scirtidae (Coleoptera) with a key to known genera. **Transactions of the Royal Society of South Australia**, v. 138, p. 1-91, 2014.

WHITTAKER, R. H. Evolution and Measurement of Species Diversity. **Taxon**, v. 21, n. 2/3, p. 213-251, 1972.

WORLDCLIM.org, 2023. **Global climate and weather data**. Disponível em: <<https://www.worldclim.org/data/index.html>>. Acesso em 12 julho 2023.

WRIGHT, I. J. *et al.* Global climatic drivers of leaf size. **Science**, v. 357, n. 6354, p. 917–921, 2017.

WWF. **World Wildlife Found**. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br/index.cfm>>. Acesso em: 17 out. 2023.

YOSHITOMI, H. Systematic revision of the family Scirtidae of Japan, with morphology and bionomics (Insecta: Coleoptera, Scirtoidea). **Japanese Journal of Systematic Entomology Monographic Series**, v. 3, p. 1-212, 2005.

ZORGER, B. B.; ARRIVABENE, H. P.; MILANEZ, C. R. D. Adaptive morphoanatomy and ecophysiology of *Billbergia euphemiae*, a hemiepiphyte Bromeliaceae. **Rodriguésia**, v. 70, p. 1-10, 2019.

ZOTZ, G.; THOMAS, V. How much water in in the tank? Model calculations for two epiphytic bromeliads. **Annals of Botany**, v. 83, p. 183– 192, 1999.

APÊNDICE A - LOCAIS E MESES DE COLETA DE FITOTELMOS EM *Wittrockia cyathiformis* DURANTE O ANO DE 2022.

Meses	Locais de coleta				
	PESB	MRB	VT	SJ	MQ
Março			x		
Abril	x		x		
Maio	x			x	
Junho	x				
Julho					
Agosto		X			x
Setembro		X			
Outubro				x	x
Novembro				x	

Fonte: a autora.

APÊNDICE B - ESPECIALISTAS CONTATADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE EXEMPLARES DE MACROINVERTEBRADOS AQUÁTICOS.

Táxon	Especialista(s)	Instituição
Diptera (Syrphidae)	Mírian Morales	Japan Tobacco International, em Trier, Alemanha
Diptera (Tabanidae)	Augusto Henriques	INPA
Diptera (Chironomidae)	Lívia Fusari	UFSCar
Diptera (Culicidae)	Maycon Neves	FIOCRUZ
*Diptera (Psychodidae)	Danilo Cordeiro	INMA
Diptera (Ceratopogonidae)	Maria Santarém	FIOCRUZ
Diptera (Corethrellidae)	Luiz Carlos de Pinho	UFSC
Diptera (Corethrellidae)	Caio César Dias Corrêa	UFRJ
Diptera (Sciaridae)	Dalton Amorim	USP
*Mollusca	Augusto Luiz Ferreira Junior	UFSCar/UEPG
Mollusca	Igor Menilson Correia	UESC
Mollusca	Janine Arruda	Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.
*Ostracoda	Julia S. Pereira	UFPB
Trichoptera	Adolfo Calor	UFBA
*Coleoptera (Cassidinae)	Erminda Couto	UESC
*Coleoptera (Dytiscidae)	César Benetti	UNILEON - Espanha
*Coleoptera (Scirtidae)	Gabrielle Jorge	INPA
Odonata	Ulisses Gaspar Neiss	INPA, atualmente perito criminal do Amazonas
Odonata	Diogo Silva Vilela	INPA
*Acari	Felipe Micali	UFSB
Lepidoptera	Simeão de Souza Moraes	Unicamp

Fonte: A autora.

Notas: (*) Enviados exemplares para os especialistas.

APÊNDICE C - COMPARAÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS ENTRE FLORESTA OMBRÓFILA Densa (FOD) E FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (FOM) NO PARANÁ.

Variáveis bioclimáticas	FOD	FOM	t.test	p value
	Média ± SE	Média ± SE		
Temperatura média anual (BIO1)	20.01 ± 2.549	17.40 ± 32.124	36.056	0***
Faixa diurna média (BIO2)	9.2 ± 0.832	10.62 ± 0.609	-6.244	0***
Isotermalidade (BIO3)	51.45 ± 1.924	56.38 ± 2.497	-7.051	0***
Sazonalidade da temperatura (BIO4)	29.06 ± 15.724	25.99 ± 132.431	79.065	0***
Temperatura máxima do mês mais quente (BIO5)	28.65 ± 2.439	26.7 ± 48.532	2.757	0.01*
Temperatura mínima do mês mais frio (BIO6)	10.75 ± 2.866	7.50 ± 14.164	3.972	0.001**
Faixa anual de temperatura (BIO7)	17.736 ± 0.44	18.60 ± 0.578	-5.364	0***
Temperatura média do quarto mês mais chuvoso (BIO8)	23.65 ± 2.812	20.60 ± 38.457	3.853	0.001**
Temperatura média do trimestre mais seco (BIO9)	17.02 ± 2.515	13.72 ± 0.474	5.908	0***
Temperatura média do trimestre mais quente (BIO10)	23.5 ± 2.597	20.7 ± 38.446	6.627	0***
Temperatura média do quarto mais frio (BIO11)	16.91 ± 2.659	13.47 ± 0.522	5.821	0***
Precipitação anual (BIO12)	2.044.9 ± 389.835	1567.4 ± 35.978	-6.244	0***
Precipitação do mês mais chuvoso (BIO13)	298.09 ± 71.649	200.61 ± 13.343	6.123	0***
Precipitação do mês mais seco (BIO14)	74.90 ± 2.906	78.52 ± 2.611	-4.192	0***
Sazonalidade da precipitação (BIO15)	40 ± 7.567	27.61 ± 2.497	7.102	0***
Precipitação do trimestre mais chuvoso (BIO16)	818.63 ± 206.191	545.76 ± 24.699	6.019	0***
Precipitação do trimestre mais seco (BIO17)	275.18 ± 17.867	272.09 ± 10.765	0.673	0.505
Precipitação do trimestre mais quente (BIO18)	818.63 ± 206.191	536.71 ± 33.885	6.178	0***
Precipitação do trimestre mais frio (BIO19)	282.81 ± 9.888	296.71 ± 11.448	-4.150	0***

Fonte: A autora.

APÊNDICE D – MATRIZES PREDITORAS E RESPECTIVAS VARIÁVEIS CONSIDERADAS.

Matriz preditora	Variáveis incluídas
uso e ocupação do solo (conservação florestal)	Formação florestal Silvicultura Agricultura Campo Pastagem Urbanização Mosaico de usos Outros
Características físico-químicas do fitotelmo	Altura da bromélia Diâmetro externo da bromélia Diâmetro interno da bromélia Número de folhas Volume de fitotelmo Temperatura do fitotelmo pH do fitotelmo Massa de detritos do fitotelmo
Variáveis bioclimáticas	Temperatura média anual (BIO1) Faixa diurna média (BIO2) Isotermalidade (BIO3) Sazonalidade da temperatura (BIO4) Temperatura máxima do mês mais quente (BIO5) Temperatura mínima do mês mais frio (BIO6) Faixa anual de temperatura (BIO7) Temperatura média do quarto mês mais chuvoso (BIO8) Temperatura média do trimestre mais seco (BIO9) Temperatura média do trimestre mais quente (BIO10) Temperatura média do quarto mais frio (BIO11) Precipitação anual (BIO12) Precipitação do mês mais chuvoso (BIO13) Precipitação do mês mais seco (BIO14) Sazonalidade da precipitação (BIO15) Precipitação do trimestre mais chuvoso (BIO16) Precipitação do trimestre mais seco (BIO17) Precipitação do trimestre mais quente (BIO18) Precipitação do trimestre mais frio (BIO19)

Fonte: a autora.