

PLANO DE TRABALHO: CAPES- PrInt-UFPR

EDITAL 06/2022 - Pós doutorado com experiência no exterior

Candidato: Geraldo de Brito Freire Júnior

Supervisor: Fabricius Maia Chaves Bicalho Domingos

Projeto: Filtros de dispersão, ambientais e filogenéticos na estruturação das assembleias de borboletas frugívoras (Nymphalidae) no ecótono Cerrado-Mata Atlântica

1. INTRODUÇÃO

1.1 Filtros de dispersão, ambientais e filogenéticos

A distribuição das espécies é definida por processos históricos, ambientais e evolutivos, em uma complexa interação entre a habilidade de dispersão dos indivíduos, dos gradientes ambientais e das interações bióticas. Há um longo debate acerca do papel desses filtros na estruturação das comunidades biológicas nas diferentes escalas espaciais, entretanto, ainda sem um claro consenso (Svenning et al. 2011; Spaniol et al. 2019).

O clima e limitações de dispersão parecem ser importantes fatores para a estruturação das comunidades animais em escalas espaciais mais amplas. Por outro lado, para os insetos e outros táxons com maior capacidade de dispersão (Penz et al. 2015; Dambros et al. 2017; Spaniol et al. 2019; Guilherme et al. 2021), as condições ambientais parecem ser mais importantes para a estruturação dessas comunidades (Graça et al. 2017; Spaniol et al. 2019; Rabelo et al. 2021). Adicionalmente, Fordyce e DeVries (2016) demonstraram que o componente filogenético é importante na estruturação vertical da guilda de borboletas frugívoras em florestas do Equador, Costa Rica e Peru.

Grande parte do conhecimento acerca da estruturação das assembleias dessas borboletas foi acumulado através de estudos realizados na Amazônia e Mata Atlântica, e pouco se sabe acerca da ação dos filtros ambientais, de dispersão e da importância da filogenia na estruturação das assembleias dessas borboletas no bioma Cerrado e em suas áreas de transição com a Mata Atlântica, denominadas *ecótonos*.

Nos *ecótonos* há grande variabilidade microclimática e espacial que geralmente resulta em alta biodiversidade (Overbeck et al. 2015; Oliveras e Malhi 2016). Algumas evidências sugerem que tal padrão seja válido para as borboletas frugívoras (DeVries et al. 1999; Uehara-Prado et al. 2007; Lourenço et al. 2019). Entretanto, ainda restam dúvidas acerca dos potenciais mecanismos geradores desses padrões de diversidade. A resposta para essa questão é essencial para avançarmos no debate acerca dos estruturadores das comunidades animais em áreas de ecótonos e assim contribuir para geração de políticas mais eficientes para a conservação da biodiversidade no Cerrado e na Mata Atlântica, principalmente levando em consideração as regiões de transição entre os biomas, majoritariamente negligenciadas em políticas públicas (Kark et al. 2006; Overbeck et al. 2015; Oliveras e Malhi 2016).

1.2 Cerrado e Mata Atlântica: os “hotspots” brasileiros

O Cerrado já cobriu uma área de 2 milhões de km² do território brasileiro (Klink e Machado 2005) e é caracterizado como um mosaico de formações vegetais, que vão desde áreas abertas (campos) até formações florestais (cerradão e mata de galeria) (Oliveira-Filho e Ratter 2002). As matas de galeria, que se localizam ao longo dos rios, estão restritas à apenas 10% da área do Cerrado. Entretanto, por possuírem microclima mais ameno, possibilitam o refúgio da fauna e provém recursos durante o intenso período seco do Cerrado (Cavalcanti e Joly 2002; Mata e Tidon 2013; Scherrer *et al.* 2013; Freire-Jr. e Diniz 2015). Por serem espacialmente heterogêneas, as matas de galeria contribuem para a coexistência de espécies com requerimentos ambientais distintos nesse bioma, resultando em alta biodiversidade de insetos incluindo coleópteros (Grimbacher e Stork 2007), drosofilídeos (Roque *et al.* 2013) e borboletas frugívoras (Pinheiro e Ortiz 1992; Freire-Jr. et al. 2015; Freire-Jr et al. 2021a).

Apesar das árvores das matas de galeria serem em média mais baixas do que a Mata Atlântica, há evidências de condições microclimáticas distintas entre o dossel e o sub-bosque. Ademais, existem evidências de que estas sejam importantes estruturadoras da guilda de borboletas frugívoras nesses ambientes, tanto na escala espacial como na temporal (Freire e Diniz 2015; Freire-Jr et al. 2021a).

A Mata Atlântica, por sua vez, estendia-se originalmente por boa parte do litoral brasileiro, do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, cobrindo cerca de 12% do território nacional. É considerada como uma das áreas de maior biodiversidade do planeta mas, desde a colonização, a Mata Atlântica vem sofrendo com impactos negativos decorrentes da expansão das cidades, da sobre-exploração dos recursos naturais e da expansão agropecuária, tudo isso levando à intensa fragmentação desse bioma observada atualmente. Os atuais remanescentes de Mata Atlântica somam apenas 11% da cobertura original e estão predominantemente em áreas menores do que 10 hectares (Ribeiro *et al.* 2009).

Por suas ricas biotas e altas taxas de endemismo, além do histórico de intensos impactos antropogênicos negativos, o Cerrado e a Mata Atlântica são classificados como alvos prioritários para ações de conservação da natureza, os “*hotspots mundiais de conservação*” (Myer *et al.* 2000; Mittermeier *et al.* 2011; Joly *et al.* 2014; Bellard *et al.* 2014). Nesse sentido, os estudos acerca dos padrões de distribuição espaço-temporal das espécies e dos mecanismos estruturadores das comunidades animais são cada vez mais importantes em face dos intensos níveis de degradação que incidem sobre ambos os biomas (Santos *et al.* 2020; Joly *et al.* 2014; Mittermeier *et al.* 2011; DeVries e Walla 2001).

1.3 *Guilda de borboletas frugívoras (Nymphalidae)*

A guilda das borboletas frugívoras representa cerca de 75% da riqueza de espécies da família Nymphalidae, e são animais que respondem rapidamente às modificações na estrutura do ambiente e à fragmentação de habitat (Uehara-Prado *et al.* 2007; Bonebrake *et al.* 2010; Ribeiro *et al.* 2012; Ribeiro e Freitas 2012). Estes insetos podem ser facilmente capturados utilizando armadilhas com iscas, o que permite uma amostragem padronizada e com resultados comparáveis em diversas escalas espaciais e temporal (Freitas *et al.* 2014). Por esses motivos, as borboletas frugívoras ocupam posição de destaque como excelentes modelos em estudos ecológicos e em programas nacionais e internacionais de monitoramento da biodiversidade, como aqueles já implementados pelo ICMBio em áreas florestais (Amazônia e Mata Atlântica) (*Programa Monitora* - IN 03/2017).

Para o Cerrado, sabe-se que fitofisionomias muito próximas, porém com estrutura vegetal distinta (cerrado cerrado *sensu stricto* e matas de galeria) abrigam diferentes assembleias de borboletas (Freire-Jr. et al. 2021a), reforçando a importância dos filtros ambientais para estruturação das assembleias dessas borboletas em escalas locais. Os mesmo autores demonstram que, independente da distância espacial, as assembleias de borboletas em áreas de cerrado *sensu stricto* são bastante similares entre si, provavelmente associadas à baixa heterogeneidade espacial dessa fitofisionomia. Para as comparações dentro das matas de galeria, existe um alto *turnover* nas assembleias de borboletas mesmo em áreas próximas, relacionada a heterogeneidade espacial (Freire-Jr et al. 2021a). Essa complexa interação entre múltiplos fatores, demonstra que ainda são necessários maiores esforços para melhor compreensão dos mecanismos estruturadores das assembleias dessas borboletas no Cerrado, incluindo seus ecótonos com a Mata Atlântica.

2. JUSTIFICATIVA

Apesar da contribuição dos filtros ambientais, de dispersão e filogenéticos terem sido estudados na estruturação das assembleias de borboletas frugívoras, estes estudos foram desenvolvidos em florestas Neotropicais (Graça et al. 2017; Spaniol, et al. 2019), com pouca informação disponível para o Cerrado, especialmente suas áreas ecotonais com a Mata Atlântica. A resolução dessas questões trará um retrato mais fiel dos mecanismos estruturadores das comunidades nos dois *hotspots* brasileiros, sendo um importante passo em direção a implementação das metas para redução da perda da biodiversidade global (Metas de Aichi; CONABIO 6/2013), firmadas em acordo internacional do qual o Brasil é signatário (10^a Conferência das Partes, COP- 10).

3. OBJETIVOS

Com o presente estudo propõe-se realizar uma descrição detalhada dos padrões de diversidade de borboletas frugívoras em áreas de transição entre o Cerrado e Mata Atlântica, além de testar as contribuições dos filtros de dispersão, ambientais e filogenéticos na estruturação das assembleias de borboletas frugívoras nesses dois

biomas, bem como em seus ecótonos. Especificamente, propõe-se responder as seguintes questões:

3.1 *Quais são os padrões de diversidade de borboletas frugívoras no Cerrado, na Mata Atlântica e nas suas transições (ecótonos)?*

Embora existam informações acerca dos padrões de diversidade de borboletas no ecótono Cerrado – Mata Atlântica, a dimensão vertical desses ambientes não foi incluída nessas comparações (Morais et al. 2012; Soltadi et al. 2019; Dickens et al. 2019). É amplamente demonstrado que a diversidade de borboletas é maior em áreas com maior heterogeneidade espacial, assim, espera-se que, por serem espacialmente mais heterogêneas nas dimensões horizontal e vertical, as Florestas Estacionais da Mata Atlântica e os ecótonos abriguem maior diversidade de borboletas frugívoras comparadas ao Cerrado. Espera-se também que as assembleias de borboletas presentes no dossel das florestas sejam mais similares àquelas presentes no cerrado *sensu stricto* (Lourenço et al. 2019, Freire-Jr. et al. 2021a).

3.2 *Quais as contribuições dos filtros de dispersão, ambientais e filogenéticos nas diferentes fitofisionomias do Cerrado, Mata Atlântica e seus ecótonos?*

Estudos recentes indicam os filtros ambientais e filogenéticos como importantes elementos para a estruturação das assembleias de borboletas frugívoras em áreas florestais na Amazônia, Mata Atlântica e no Cerrado (Fordyce e DeVries 2016; Santos et al. 2017; Spaniol *et al.* 2019; Freire-Jr. et al. 2021a). Com base nesses trabalhos recentes, espera-se uma complexa interação desses filtros de acordo com as características estruturais dos ambientes abertos (cerrados *sensu stricto*) e fechados (Matas de Galeria, Mata Atlântica e ecótonos). De modo geral, áreas de cerrado *sensu stricto* são estruturalmente similares entre si (Freire-Jr. *et al.* 2021a), assim, espera-se maior contribuição dos filtros de dispersão na definição das assembleias nessas localidades. Em contrapartida, áreas florestais são espacialmente heterogêneas, e espera-se maior contribuição dos filtros ambientais na estruturação das assembleias (Pinheiro et al. 1992; Freire-Jr. et al. 2021a; Rabelo et al. 2021). Por fim, espera-se importante componente filogenético na estruturação das assembleias de borboletas frugívoras em todos os ambientes considerados, pois espécies mais próximas tendem a apresentar conjunto de adaptações funcionais mais similares entre si.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo é método de coleta

Toda a parte de campo será realizada no Parque Estadual do Guartelá, no município de Tibagi, PR. O parque encontra-se no limite sul da distribuição do Cerrado, em contato com a Mata Atlântica, e apresenta todas as formações florestais necessárias para a condução do estudo, incluindo extensas áreas ecotonais.

Serão delimitadas duas transecções lineares de 250 m., denominadas *plots* (unidades amostrais), em cada um dos habitats analisados: cerrado *sensu stricto*, Floresta Ombrófila Densa, e ecótonos. Em cada plot serão instaladas cinco pares de armadilhas (Van Someren – Rydon), um no dossel e outra no sub-bosque. Cada par de armadilhas estará distante 50m dos outros pares. Com o objetivo de contemplar o maior número de gradientes ambientais possível, além de garantir a independência das amostras, será obedecida uma distância mínima de 10 km entre os plots em cada habitat.

4.2 Variáveis resposta e filtros de dispersão, ambientais e filogenéticos

A diversidade taxonômica (*abundância, riqueza de espécies e diversidade beta*), funcional (*tamanho de corpo, capacidade de dispersão, amplitude de dieta*) e filogenética (*Faith's Phylogenetic Distance*) serão utilizadas como variáveis resposta nos modelos para os testes de hipótese.

Fotografaremos 10 indivíduos de cada espécie de borboleta para quantificamos o comprimento das asas anteriores e posteriores usando ImageJ (Schneider et al. 2012). A escolha dessas variáveis teve como base estudos que indicam alta correlação com a capacidade de vôo. Adicionalmente o comprimento da asa é uma boa estimativa do tamanho corporal, dada a alta correlação ($R^2 = 0.8$) entre essas duas variáveis (Shahabuddin e Ponte 2005).

Estudo recente, que avaliou a relação entre tamanho corporal e distância de dispersão em borboletas frugívoras no Cerrado (Freire-Jr. et al. 2021b), servirá de base para estimativa da distância de dispersão das espécies capturadas no presente estudo.

Dados sobre interações das plantas hospedeiros e seus herbívoros associados serão compilados considerando as espécies presentes no estudo (Beccaloni *et al.*

2008). As listas de plantas hospedeiras encontra-se ainda incompletas e, para reduzir esse viés, contaremos com a colaboração do Dr. AVL Freitas (ver a seção colaborações, abaixo) para a revisão e inclusão de registros ausentes, e remoção de registros errados no conjunto de dados. A matriz de dados corrigida será utilizada para o cálculo da amplitude de dieta taxonômica (número de espécies, gêneros e famílias), e filogenética. A amplitude de dieta filogenética será estimada pelo cálculo do Faith's PD, usando o pacote picante (Kembel et al. 2020) e usando a filogenia de angiospermas (Zanne *et al.* 2014) disponível no pacote V.PhyloMaker (Jin e Qian, 2019) para as espécies de plantas presentes na dieta de cada espécie de borboleta presente no conjunto de dados.

As relações filogenéticas das borboletas frugívoras serão estimadas com base na mais recente filogenia dos Nymphalidae (Wahlberg et al. 2009). Essa filogenia foi inferida com base em 10 genes e 250 caracteres morfológicos para 400 gêneros válidos de Nymphalidae. Ramos de espécies da filogenia original que potencialmente estejam ausentes no nosso conjunto de dados serão excluídos. Caso necessário, serão consultadas as topologias na literatura sistemática e taxonômica e consulta de especialistas para a inclusão de espécies que estejam ausentes na filogenia publicada (Wahlberg et al. 2009).

Os plots serão georreferenciados e a distância física entre os diferentes plots serão calculadas para avaliar o efeito dos filtros de dispersão na estruturação das assembléias.

O inventário da vegetação lenhosa (Diâmetro na Altura do Peito – dap \geq 10 cm) e arbustiva (dap \leq 8 cm) será realizado em dois quadrats de 100 m² (100 x 100 m) delimitados entre os pares de armadilhas de cada plot. Todos os indivíduos lenhosos serão identificados a nível de espécie. Plantas do estrato herbáceo/arbustivo serão identificados em sub – quadrats de 25m² (5 x 5 m), nessas mesmas áreas. Adicionalmente, dados edáficos e de vegetação serão obtidos para cada plot, por meio de banco de dados online com base na geolocalização. Serão consideradas três variáveis do solo (porcentagem de areia, argila e concentração de cátions), dos quais os primeiros fazem referencia aos processos de drenagem de água e, o último, da disponibilidade de nutrientes no solo. Tais variáveis serão obtidas no conjunto de

dados SoilGrids (<http://www.soilgrids.org>). Serão obtidos dados sobre a porcentagem de cobertura (1 km de resolução) e altura do dossel (500m de resolução), acessando os banco de dados NOAA's Avanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR – <http://earthexplorer.usgs.gov>), LiDAR e MODIS (<https://daac.ornl.gov>, Sawada et al. 2015).

4.3 Análises estatísticas

Serão construídas curvas de rarefação com base na abundância para comparar a riqueza observada nos diferentes habitats (Floresta Ombrófila, Mata de Galeria, Ecótono), estratos verticais (dossel e sub-bosque), e suas interações (habitats e estratos verticais). A riqueza de espécies será extrapolada usando o estimador Jackknife 1 (Burnham e Overton, 1978), intervalo de confiança de 95% será gerado pelo método bootstrap usando 999 replicações (Hsieh et al. 2016).

Usaremos escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) usando a matriz de distância de Bray-Curtis para visualizar as possíveis diferenças na composição vegetal e nas assembleias de Nymphalidae presentes nos diferentes habitats (Logan, 2010). Adicionalmente, aplicaremos a análise de permutação multivariada (PERMADISP), com 1.000 aleatorizações para testar as possíveis diferenças na composição de espécies nas assembleias de Nymphalidae e de plantas na região estudada.

Para investigar os processos ecológicos responsáveis pela assembleia das comunidades, utilizamos a análise CAMI (*Community Assembly Model Inference*) (Ruffley et al., 2019). Tal análise considera simultaneamente a informação filogenética e fenotípica das espécies nas comunidades regionais e locais, e permite inferir o processo de montagem das comunidades em estudo, verificando qual dentre três modelos melhor explica a assembleia de comunidades de interesse local, no caso o ecótono Cerrado-Mata Atlântica, em relação às espécies presentes nas comunidades regionais, no caso amostradas nas áreas de Cerrado e Mata Atlântica. Os três modelos matemáticos comparados pela análise CAMI, são: modelo neutro, é aquele em que as espécies das comunidades regionais (Cerrado e Mata Atlântica) tem a mesma probabilidade de persistir nas comunidades locais (ecótono).

O modelo de filtro ambiental, onde a persistência das espécies nas comunidades é determinada pelos fenótipos sendo filtrados pelo ambiente. Por último,

o modelo de exclusão competitiva, onde haveria exclusão de espécies com fenótipos semelhantes ao fenótipo médio da comunidade local (ecótono). Estes modelos são estimados a partir de abordagens de *Random Forest* (RF) e *Approximate Bayesian Computation* (ABC), e o desempenho de ambas se demonstrou comparável, pois classificam com precisão os modelos de assembleia de comunidades (Ruffley et al., 2019). O algoritmo de RF é capaz de usar todas as estatísticas de resumo dos dados simulados sem comprometer a potência do modelo e, neste caso, nós cresceremos uma floresta de 1000 árvores de decisão, onde cada uma destas classifica os dados simulados a partir dos 3 modelos em questão: neutro, filtragem ambiental e exclusão competitiva, e cada árvore lança um “voto” para um modelo.

A proporção de votos que um modelo recebe é considerada a probabilidade do modelo, e o que obter a maior probabilidade (ou receber mais votos) é o modelo selecionado. O ABC utiliza uma estimativa mais direta dos dados simulados, medindo o suporte a posteriori para o processo de montagem de exclusão competitiva e filtragem ambiental (Ruffley et al., 2019). Nós estimaremos a eficiência de cada umas das abordagens por meio de taxas de erro out-of-bag (OOB) para RF, e por meio de validação cruzada (cross-validation) para ABC. Para cada validação cruzada, usaremos um algoritmo de rejeição com tolerância de 0,005. Simularemos modelos de evolução dos atributos fenotípicos sob um Movimento Browniano (BM), que descreve evolução sob um modelo neutro de deriva genética em escalas de tempo macroevolutivas, e também utilizando o modelo de Ornstein-Uhlenbeck (OU) de evolução de atributos, que é similar à BM porém é caracterizado pela adição de uma taxa de mudança do atributo, ou uma “força de tração” para a característica, simulando um regime de atuação da seleção natural no qual as características são “puxadas” em direção a um fenótipo ótimo (Ruffley et al., 2019).

Assim, os modelos estimados e comparados pelo CAMI inferem se espécies aparentadas possuem maior probabilidade de coexistência ou não, com base no grau de correspondência fenotípica coevolucionária. Tal análise exige três conjuntos de dados para rodar: 1) comunidades locais em questão, definidas aqui como aquelas dentro do ecótono (comunidades focais) e aquelas fora do ecótono; 2) uma hipótese filogenética para as espécies presentes nas comunidades (descrita acima); 3) um

atributo fenotípico que possa ser utilizada como representante de utilização de nicho, e portanto que esteja relacionado à potencial competição entre as espécies. Neste último caso, utilizaremos a razão do comprimento das asas anteriores vs. posteriores.



Figura 1: Variáveis respostas, objetivos, hipóteses e predições sobre os filtros de dispersão, ambientais e filogenéticos na estruturação das assembléias de borboletas frugívoras presentes no ecótono Cerrado-Mata Atlântica.

5. COLABORAÇÕES

Serão estabelecidas parcerias com centros de pesquisas nacionais e internacionais de maneira integrada às atividades dessa proposta. Os principais centros de pesquisas, bem como os pesquisadores, os quais o proponente mantém vínculo ativo estão discriminados abaixo.

Na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Dr. André Victor Lucci Freitas possui ampla experiência prática e teórica acerca dos padrões e mecanismos de diversidade desse grupo de borboletas. Possui inúmeros artigos publicados sobre ecologia, taxonomia e evolução de borboletas neotropicais. Dr. Jessie Pereira dos Santos (LABBOR – Unicamp) utiliza análises filogenéticas e modelos de distribuição de nichos para avaliação do impacto de diferentes cenários de mudanças globais sobre as borboletas frugívoras (Santos *et al.* 2020; Santos *et al.* 2017). AVLF e JPS mantém colaboração ativa com o proponente, a participação de ambos repercutirá positivamente na qualidade dos artigos e no maior impacto das publicações planejadas para esse projeto.

Na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS)

Dr. Danilo Bandini Ribeiro (UFMS) possui vasta experiência acerca dos efeitos da fragmentação de habitat sobre as dinâmicas temporal e espacial das borboletas frugívoras na Amazônia (Ribeiro *et al.* 2016; Ribeiro e Freitas 2012) e na Mata Atlântica (Ribeiro *et al.* 2012; Ribeiro e Freitas 2010; Ribeiro *et al.* 2010). Danilo Ribeiro mantém colaboração ativa com o proponente. Seu conhecimento sobre biodiversidade, padrões espaço-temporal, bem como dos mecanismos estruturadores dessa guilda de borboletas nos biomas avaliados trarão importantes contribuições para o resultado final desse projeto.

Na University of Nevada, Reno (UNR) - USA

Dr Lee A. Dyer é uma das grandes referências no estudo de diversidade de interações ecológicas, possui vasto conhecimento adquirido nos mais de 20 anos de pesquisa sobre ecologia química e padrões de diversidade espacial e temporal em lepidópteros neotropicais. Dr. Dyer acompanhou o trabalho do proponente durante o doutorado (2014) e pós-doutorado (2021) realizado no Programa *Ecology, Evolution and Conservation Biology - EECB* da *University of Nevada, Reno (UNR) - USA*.

6. CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA SUGERIDA, RESULTADOS ESPERADOS E PERSPECTIVA DE TRABALHO

Como perspectiva de trabalho, além de atuar diretamente na divulgação de informações inéditas sobre a dinâmica espacial dos Nymphalidae em áreas de ecótono Cerrado-Mata Atlântica, e discutir os mecanismos estruturadores das assembléias dessas borboletas, o proponente pretende participar da formação de recursos humanos do Programa de Pós Graduação em Zoologia da UFPR. Nesse sentido me colocarei a disposição para a) oferecer uma disciplina nova no PPG Zoologia da UFPR; b) participação de bancas e co-orientação de estudantes de mestrado e doutorado; além das organizações de atividades visando; c) a ampliação da rede de colaborações e internacionalização do PPG em Zoologia da UFPR através de parceiros em instituições nacionais (UNICAMP; UFMS) e internacionais (*Ecology, Evolution and Conservation Biology – EECB da University of Nevada (UNR)*, Reno-USA).

a) Oferta de disciplina

Além de serem consideradas um importante grupo indicador da biodiversidade, as borboletas frugívoras são belas e carismáticas, despertando o interesse da sociedade para temas relevantes à conservação da biodiversidade, sendo também uma poderosa ferramenta para o ensino e educação ambiental. Otimizando tais características e minha experiência no estudo desse grupo de borboletas, proponho a oferta de uma disciplina teórico-prática intitulada: “*Estudos ecológico-evolutivos de insetos alados: métricas de biodiversidade e conservação*”

Essa disciplina terá carga-horária de (40 horas-aulas) e duração de um semestre letivo e seu principal objetivo será discutir o potencial desses organismos como modelo para estudos ecológicos e evolutivos, e como indicadores da biodiversidade. Adicionalmente, serão apresentados e discutidos os diferentes métodos de captura e amostragem como, por exemplo, uso de armadilhas de iscas (Van Someren - Rydon), busca ativa em transectos lineares, método de captura-marcação-recaptura para estimativas populacionais e de dispersão das espécies. Como produto dessa disciplina, será entregue uma coleção com espécimes de localidades

novas, e obviamente, a capacitação de estudantes no estudo ecológico desses borboletas.

b) *Participação em bancas e co-orientação de mestrado e doutorado*

Me colocarei à disposição do PPG em Zoologia da UFPR para co-orientações e participação em banca de defesas dos estudantes nos níveis de mestrado e doutorado da UFPR.

c) *Eventos científicos e ampliação da rede de colaborações do PPG em Zoologia da UFPR*

O vínculo formal do proponente com o laboratório do Dr. Lee A. Dyer no Programa *Ecology, Evolution and Conservation Biology - EECB* da *University of Nevada* (UNR), facilitará a participação do próprio Dr Dyer e demais pesquisadores norte-americanos nas atividades realizadas pelo PPG em Zoologia da UFPR, como na participação em banca de defesas, palestras, e até mesmo a indicação de estudantes para intercâmbio científico nos grupos de pesquisas desses professores em Reno, Nevada, Estados Unidos.

Esse grupo de pesquisa é composto por importantes referências sobre ecologia química e interações tróficas (planta-herbívoro-parasitóides) de lepidópteros neotropicais, entre os doutores: Lee Dyer, Angela M. Smilanich, Lora Richards, Christopher Jeffrey, Matthew Forister e Thomas Parchman. Desse modo, penso que os resultados dessa parceria podem ser benéficos tanto para mim com a oportunidade de continuação de pesquisa, ensino e orientação quanto para os docentes e discentes PPG em Zoologia da UFPR.

7. CRONOGRAMA

As etapas vinculadas ao presente projeto estão especificadas em tópicos abaixo, e organizadas em um cronograma ao final desta seção.

Oferta de disciplina– “*Estudos ecológico-evolutivos de insetos alados: métricas de biodiversidade e conservação*” no Programa de Pós-Graduação em Zoologia da UFPR.

Co-orientações e Participação em bancas de defesa: Em conjunto com o supervisor do projeto, contribuir com a formação de novos cientistas através de co-

orientação e participação em bancas de defesa dos estudantes de graduação e pós-graduação serão duas das metas desse projeto.

Trabalho de campo e análises dos dados – Tabulação e formatação da base de dados sobre distribuição espacial e temporal dos Nymphalidae, e variáveis microclimáticas no dossel e sub-bosque das matas de galeria do Cerrado e na Mata Atlântica. Testes de hipóteses acerca do efeito dos elementos espaciais e temporais sobre a dinâmica populacional das borboletas frugívoras

Participação em eventos científicos – Uma das formas de disseminação dos resultados do projeto será a participação em eventos nacionais e internacionais, a qual ocorrerá de forma contínua a partir do terceiro mês de sua execução, conforme a disponibilidade dos eventos.

Produção de coleções Entomológicas – Com os espécimes capturados em campo, serão produzidas coleções de referências a serem depositadas na coleção Entomológica Pe. Jesus Santiago Moure.

Publicação dos resultados – Finalização e submissão dos manuscritos, e redação de relatório final de pesquisa. Entretanto, os manuscritos podem ser publicados concomitantemente com a realização das demais etapas do projeto.

Atividades Propostas	2022						2023					
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Oferta de Disciplina			X	X	X	X	X	X	X	X		
Participação em Bancas e Co-Orientações	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Trabalho de Campo & Analise de Dados					X	X	X	X	X	X	X	
Participação em Eventos Científicos			X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Produção de Coleções Entomológicas					X	X	X	X	X	X	X	
Submissão do 1º Artigo												X
Submissão do 2º Artigo												X

REFERÊNCIAS

- Bellard, C., Leclerc, C., Leroy, B., Bakkenes, M., Veloz, S., Thuiller W. e Courchamp, F. 2014. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology and Biogeography*, **23**, 1376-1386.
- Bonebrake, T. C., Ponisio, L.C., Boggs, C.L., Ehrlich, P.R. 2010. More than just indicators: A review of tropical ecology butterfly ecology and conservation. *Biological Conservation*, **143**, 1831-1841.
- Burnham, K.P. & Overton, S. (1978) Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals. *Biometrika*, **65**, 625–633.
- Cavalcanti, R.B. e Joly, C.A. 2002. Biodiversity and conservation priorities in the cerrado region. In: Oliveira, P.S. e Marquis, R.J. (eds). The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna. Columbia University Press, New York. pp. 351–367.
- Dambros, C. S. et al. 2017. Isolation by distance, not rivers, control the distribution of termite species in the Amazonian rain forest. *Ecography*, **40**, 1242–1250.
- DeVries, P.J. e Walla, T.R. 2001. Species diversity and community structure in Neotropical fruit-feeding butterflies. *Biological Journal of Linnean Society*, **74**, 1–15.
- DeVries PJ, Walla TR, Greeney HF (1999) Species diversity in spatial and temporal dimensions of fruit-feeding butterflies from two Ecuadorian rainforests. *Biological Journal of Linnean Society*, **68**, 333–353.
- DeVries PJ, Hamm CA, Fordyce JA. 2016. A standardized sampling protocol for fruit-feeding butterflies (Nymphalidae). In Larsen TH (ed.) Core standardized

methods for rapid biological field assessment. *Conservation International*, Arlington, pp 140-148.

Fordyce JA, DeVries PJ. 2016. A tale of two communities: Neotropical butterfly assemblages show higher beta diversity in the canopy compared to the understory. *Oecologia*, doi: [10.1007/s00442-016-3562-0](https://doi.org/10.1007/s00442-016-3562-0)

Freire-Jr, G. e Diniz, I.R. 2015. Temporal dynamics of fruit-feeding butterflies (Lepdoptera: Nymphalidae) in two different habitats in a seasonal Brazilian environment. *Florida Entomologist*, **98**, 1213– 1222.

Freire-Jr. GB, Ribeiro DB, Santos AC, Silva T, Dias JP, Rodrigues HP, Diniz IR (2021a) Horizontal and vertical variation in the structure of fruit-feeding butterfly (Nymphalidae) assemblages in the Brazilian Cerrado. *Insect Conserv. Divers.*, **14**, 1–10, doi:10.1111/icad.12547.

Freire-Jr. GB, Silva T, Oliveira H, Collier C, Rodrigues HP, Dias JP, Santos JP, Marini-Filho OJ, Freitas AVL, Smilanich A, Dyer LA, Diniz IR (2021b) Good things come in larger packages: size matters for fruit-feeding butterfly dispersal and diet breadth. *Diversity*, **12**, 664. doi: <https://doi.org/10.3390/d13120664>.

Freitas, A.V.L., Iserhard, C.A., Santos, J.P., Carreira, J.Y.O., Ribeiro, D.B., Melo, D. H.A., Rosa, A.H.B., Marini-Filho, O.J., Accacio, G.M. e Uehara-Prado, M. 2014. Studies with butterfly bait traps: an overview. *Revista Colombiana de Entomologia*, **40**, 209-218.

Graça MB, Pequeno PACL, Franlin E, Morais JW (2017) Coevolution between flight morphology, vertical stratification and sexual dimorphism: What can we learn from tropical butterflies? *Journal of Evolution Biology*, **30**, 1862–187.

Grimbacher, P. e Stork, N.E. 2007. Vertical stratification on feeding guilds and body size in beetle assemblages from an Australian tropical rainforest. *Austral Ecology*, **32**, 77-85

Guilherme D. R. et al. 2021. Direct and indirect effects of geographic and environmental factors on ant beta diversity across Amazon basin. *Oecologia*, <https://doi.org/10.1007/s00442-021-05083-7>

Jin Y, Qian H. 2019. VPhyloMaker: an R package that can generatively large phylogenies for vascular plants. *Ecography*, **42**, 1353-1359.

Joly, C. A., Metzger, J.P. e Tabarelli, M. 2014. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist*, **204**, 459-473.

Kark, S., Allnutt, T.F., Levin, N., Manne, L.L. e Williams, P.H. 2006. The role of transitional areas as avian biodiversity centres. *Global Ecology and Biogeography*, **15**, 1-10.

Kembel S, Cowan PD, Helmus MR, Cornwell WK, Morlon H, Ackerly DD, Blomberg SP, Webb CO (2020) Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics*, **26**, 1463–1464.

Klink, C.A. e Machado, R.B. 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, **19**, 707–713.

Logan M (2010) Biostatistical design analysis using R: a practical guide. Wiley–Blackwel Press, Oxford, UK.

- Mata, R.A. e Tidon, R. 2013. The relative roles of habitat heterogeneity and disturbance in drosophilid assemblages (Diptera, Drosophilidae) in the Cerrado. *Insect Conservation and Diversity*, **6**, 663–670.
- Mittermeier, R.A., Turner, W. R., Larsen, F. W., Brooks, T. M. e Gascon, C. 2011. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots, pp. 2–22. In F. E. Zachos, and J. C. Habel (eds.), *Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas*. Springer-Verla, Heidelberg, Germany
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. e Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**, 853-858.
- Oliveira-Filho, A.T. e Ratter, J.A. 2002. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. *In*: Oliveira, P.S. e Marquis, R.J. (eds). *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna*. Columbia University Press, New York. pp. 91–120.
- Oliveras I, Malhi Y. 2016 Many shades of green: the dynamic tropical forest–savannah transition zones. *Phil. Trans. R. Soc. B*, **371**, 20150308.
- Overbeck, GE., Vélez-Martin, E., Scarano, FR. et al. 2015. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystem. *Diversity and Distribution*, **21**, 1455-1460.
- Penz, C. et al. 2015. Butterfly dispersal across Amazonia and its implication for biogeography. - *Ecography*, **38**, 410–418.
- Pinheiro, C.E. e Ortiz, J.V.C. 1992. Communities of fruit-feeding butterflies along a vegetation gradient in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, **19**:505–5011.

- Rabelo, R. M. et al. 2021. The Role of River Flooding as an Environmental Filter for Amazonian Butterfly Assemblages. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **9**, 693178.
- Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, ., A.C., Ponzoni, F.J. e Hirota, M.M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, **142**, 1141–1153.
- Ribeiro, D.B., Batista, R., Prado, P.I., Brown Jr., K.S. e Freitas, A.V.L. 2012. The importance of small scales to the fruit-feeding butterfly assemblages in a fragmented landscape. *Biodiversity Conservation*, **21**, 811–827.
- Ribeiro, D.B. e Freitas, A.V.L. 2012. The effect of reduced impact logging on fruit-feeding butterflies in Central Amazon, Brazil. *Journal of Insect Conservation*, **16**, 733–744.
- Roque, F., Mata, A.R. e Tidon, R. 2013. Temporal and vertical drosophilid (Insecta; Diptera) assemblage fluctuations in a Neotropical gallery forest. *Biodiversity Conservation*, **22**, 657–672.
- Ruffley, M. Peterson, K., Week, B., Tank, D.C. e Harmon, L.J. 2019. Identifying models of trait-mediated community assembly using random forest and approximate Bayesian computation. *Ecology and Evolution*, **00**, 1-13.
- Santos, J.P., Sobra-Souza, T., Brown-Jr., K. S., Vancine, M.H., Ribeiro, M.C. e Freitas, A.V.L. 2020. Effects of landscape modification on species richness pattern of fruit-feeding butterflies in Brazilian Atlantic Forest. *Diversity and Distribution*, **26**, 196-208.

Scherrer, S., Ferro, V.R., Ramos, M.N. e Diniz, I.R. 2013. Species composition and temporal activity of Arctiinae (Lepidoptera Erebidae) in two cerrado vegetation types. *Zoologia*, **30**, 200–210.

Shahabuddin G, Ponte CA (2005) Frugivorous butterfly species in tropical forest fragments: Correlates of vulnerability to extinction. *Biodiversity and Conservation*, **14**, 1137–1152.

Svenning, J. C. et al. 2011. Climate, history and neutrality as drivers of mammal beta diversity in Europe: Insights from multiscale deconstruction. *Journal of Animal Ecology*, 80: 393–402.

Uehara-Prado M, Brown Jr. KS, Freitas AVL (2007) Species richness, composition and abundance of fruit-feeding butterflies in the Brazilian Atlantic Forest: comparison between a fragmented and continuous landscape. *Global Ecology and Biogeography*, **16**, 43–54.

Wahlberg N, Leneveu J, Kodandaramaiah U, Pena C, Nylin S, Freitas AVL, Brower AVZ (2009) Nymphalid butterflies diversify following near demise at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.*, 276, 4295–4302.

Zanne AE, Tank DC, Cornwell WK, Eastman JM, Smith AS, FitzJohn RG, McGlenn DJ, O’Meara BC, Moles AT, Reich PB, et al. (2014) Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. *Nature*, 506, 89–92, doi:10.1038/nature12872.

Sawada, Y., Suwa, R., Jindo, K. et al. (2015) A new 500-m resolution map of canopy height for Amazon forest using spaceborne LiDAR and cloud-free MODIS imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 43, 92-101.

Sudta C, Salcido DM, Forister ML, Walla TR, Villarin-Cortez S, Dyer LA (2022)

Jack-of-all trades paradigm meets long-term data: Generalist herbivores are more widespread and locally less abundant. *Ecology Letter*, 00, 1–10.