

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Instituto de Biologia
Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal



Dissertação de Mestrado

**Efeito das variações climáticas ligadas ao ENOS na população de *Cissia phronius*
(Lepidoptera: Satyrinae) no extremo sul do Brasil**

Giovanna Tereza Oliveira da Silva

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S586e Silva, Giovanna Tereza Oliveira da

Efeito das variações climáticas ligadas ao ENOS
população de *Cissia phronius* (Lepidoptera: Satyrinae) no
extremo sul do Brasil / Giovanna Tereza Oliveira da Silva ;
Cristiano Agra Iserhard, orientador ; Luciana de Campos
Franci, coorientadora. — Pelotas, 2020.

59 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação
em Biologia Animal, Instituto de Biologia, Universidade
Federal de Pelotas, 2020.

I. CMR. 2. Conservação. 3. El Niño Oscilação Sul. 4.
MLGs. 5. Nymphalidae. I. Iserhard, Cristiano Agra, orient. II.
Franci, Luciana de Campos, coorient. III. Título.

CDD : 595.78098165

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Giovanna Tereza Oliveira da Silva

**Efeito das variações climáticas ligadas ao ENOS população de *Cissia phronius*
(Lepidoptera: Satyrinae) no extremo sul do Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Agra Iserhard

Coorientadora: Dra. Luciana de Campos Franci

Pelotas, 2020

Giovanna Tereza Oliveira da Silva

Efeito das variações climáticas ligadas ao ENOS na população de *Cissia phronius*
(Lepidoptera: Satyrinae) no extremo sul do Brasil.

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Biologia Animal, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 25 de maio de 2020.

Banca Examinadora:

Dr. Cristiano Agra Iserhard. Doutor em Biologia Animal pela Universidade Federal do Rio Grande Do Sul (Orientador).

Dr. Marco Silva Gottschalk. Doutor em Biologia Animal pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Dr. Rafael Antunes Dias. Doutor em Ecologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Dedico esta dissertação aos meus pais, Marinalva e
Adão, os dois grandes amores da minha vida.**

Agradecimentos

À minha família que sempre incentiva, apoia e fortalece meus sonhos, inspirações e decisões. Em especial as mulheres da minha família, Mami, Thay, Dani, Tô, Rai e Polly, que são exemplos de força, luta e amor. Atribuo toda minha resistência, resiliência, paciência e sororidade, nesses dois anos, por efeito dos ensinamentos conquistados nas vivências com vocês. Amo muito cada uma. Essa conquista é nossa!

À minha companheira felina, Taioba, por ter estado comigo, literalmente, em toda a escrita da dissertação. Não teria conseguido sem suas lambidinhas, arranhões e manifestações de fofura. Estamos mais que juntas, vidinha.

À beleza imperfeita e complexa da Natureza que nos encobre, protege e cuida. Foi gratificante iniciar um novo passo podendo dizer “sou bióloga” e refletir sobre a carga que eu tenho ao poder me considerar uma estudiosa da vida. Me sinto honrada por ser apaixonada pelos seres mais incríveis e fascinantes que aqui, na Terra não plana, residem: insetos.

Às matas de Restinga de clima subtropical, por terem me mostrado que a beleza não está apenas nas vegetações dos biomas carismáticos. Lindas, resistentes, adaptáveis. Em cada nova estação, um novo sorriso ao caminhar por dentre as irregulares aberturas de subosque. Sonho em um dia acordar e ver que o ser humano valoriza cada extensão que as compõe.

Ao meu orientador, Cristiano, que me recebeu de braços abertos em um mundo no qual eu não fazia ideia de como funcionava. Cada dia que passava, me inseria em experiências novas. Dessas, pude me interessar exponencialmente pela magia das borboletas, bem como pela importância de conservá-las e, conseqüentemente, todo meio que as permeia. Mesmo tendo me frustrado com as ações e reações da vida pessoal correlacionada após graduação, refletindo em flutuações de interesse e desinteresse pelo meu projeto, eu jamais esquecerei da paciência, encantamento e respeito que você me fez sempre observar e absorver, Cris. Gratidão, do fundo do meu coração. Você é maravilhoso! Um ser humaninho único e especial. Que bom que as borboletas podem contar contigo.

À minha coorientadora, Luciana, que me ajudou muito nas estatísticas tenebrosas que pareciam, muitas vezes, irresolutas, incertas, contestáveis, mas que sempre eram facilmente entendidas e claramente resolvidas pela Lu. Muito grata por tudo, Lu.

À banca, Marco Silva Gottschalk e Rafael Antunes Dias, pela disponibilidade de tempo em ler este trabalho e se prontificar em assistir a defesa, sugerindo e corrigindo o melhor para o mesmo.

À Universidade Federal de Pelotas – UFPel, por todo apoio e investimento que proporciona aos estudantes de graduação e pós graduação, especialmente ao PPGBA. Admiro muito o seu engajamento em querer se tornar cada vez mais uma Universidade que atenda aos direitos e deveres de todas e todos que a frequentam. Que as Universidades se pintem de povo! Que cada desmonte assistido, atualmente, frente à educação, seja força para lutarmos e garantirmos um direito que é nosso: estudar em uma Universidade pública, popular, laica e de qualidade. Grata. Seguimos.

Ao Laboratório de Ecologia de Lepidoptera – LELEP, por ter me acolhido com tanto carinho. Em especial às borboletólogas Bine, Kaká, Tai e Gallo por terem me mostrado com tanta atenção e dedicação a sutileza das borboletas frugívoras. Jamais esquecerei da soma do “Tudo vai dar certo” com “Vida que segue”. Que a certeza que tudo vai dar certo continue seguindo em nossas vidas, principalmente na da grande maioria de pessoas que constroem o laboratório, mulheres cientistas. Merecemos ter o reconhecimento devido e necessário que nos é de direito.

Ao projeto das matas de Restinga, no qual pude desenvolver uma dissertação incrivelmente rica, inovadora, necessária e emergencial. Agradeço por toda colaboração, comprometimento e espírito de grupo que pude vivenciar durante o período do Mestrado. Grata por tudo, Tai, Lucas, Gallo, Cris, Sr. Álvaro e todas as pessoas do laboratório que sempre ajudam, somam e constroem nos campos.

Aos meus colegas de Mestrado, em especial a Amanda e o Jeferson, que findaram os tempos de angústia e solidão, já que a maioria de nós veio de outras cidades, com muito companheirismo, empatia, solidariedade e compaixão. Tenho um carinho enorme pelos momentos que passamos juntos. À Amandinha, parceira ativista por um mundo mais consciente e com menos sofrimento, um beijo de todo coração,

minha ornitóloga favorita. Ao Jeferson, lindinho amado querido, outro beijo, meu outro ornitólogo favorito.

Ao meu parceirinho de aventuras e transbordamento de amor, Klaus, agradeço muitíssimo apaixonada. Quando tudo parecia um tanto incerto, você veio para mudar, remexer e ativar o acerto de que a vida só faz sentido quando vivida em boa companhia. Te sinto amo sou.

Às minhas vizinhas Ju, Rafa, Brenda e Duda, sororidade. Né, gurias? Foi um prazer compartilhar da vida, do cotidiano e da rotina com vocês. Que as trocas que fizemos sempre estejam enraizadas, com carinho, em nossas decisões racionais e emocionais. E que em um futuro breve comemoremos os dias de glória.

Às amigas e amigos de perto ou longe, dentro do estado ou fora do estado, no Brasil ou fora do Brasil. Nossa amizade é linda, nutritiva e gratificante. Sou apaixonada por nós. Beijinhos mil! Em específico, Simo, Cristininha, Carol, Ste, Caroll, Jé, Carlinha, Gabi, Nick, Mi, Déh, Line, Van, Bru, Ju, Lu, June e Teresa. Amo vocês!

Ao Grupo de Agroecologia da UFPel – GAE, por ter me despertado para a soma do que sou hoje. Guardo com carinho todos os momentos em que passamos juntos, das rodas de conversa aos mutirões no SAF; cada detalhe, cada sentimento, cada luta, cada vitória, cada aprendizado, cada abraço, cada conforto, cada pedacinho que foi adubado, semeado, emergido, germinado, crescido e desenvolvido. Cada um deles e todos eles me trouxeram flores e frutos das variedades mais cativantes possíveis. Sou imensamente grata pela oportunidade que tive de somar e construir em um grupo que ocupa, resiste e nunca se curva sem dizer o que pensa, sente e/ou acredita. Somos um grito que ecoa nos corredores de uma estrutura conservadora, patriarcal, que emana pré-conceitos, age por segregação e pouco se importa com a diversidade de ações e reações. Somos reflexos serenos de paciência, porque acreditamos que tudo germina no tempo certo, não somos tardios, tampouco acelerados, somos o agora e o agora reclama, suplica, implora. Há tempos é emergencial. Já faz tempo. E vem sendo nosso combustível, porque de pouco em pouco conseguimos. E alcançamos. Sem pressa. Admirando cada detalhe do crescimento e desenvolvimento. E voamos. Somos GAEvotas. E agora chegou a hora de voar, mas com carinho sempre agradecer e recordar. Há quase 26 anos somos história.

Às manas que o GAE me presenteou e pude aprender demais sobre representatividade feminina, agradeço de todo meu coração. Vocês são incríveis, lindas e maravilhosas. Beijinhos mil, Manu, Tina, Nati, Tati, Bertha, Lu, Cássia, Déia, Kau, Aninha, Carol e Dani.

À Feira Agroecológica da ARPA-Sul, por ter me proporcionado o estágio mais desafiador e, ao mesmo tempo, mais abundante de aprendizados que já tive em um voluntariado social. Agradeço, como todo meu amor, pela família que fiz ao ajudar dois agricultores agroecológicos, Dona Evani e Sr. Onécio. Vocês foram, são e sempre serão os meus pais gaúchos. Sou eternamente grata por essa vivência. Avante, agroecologia.

Resumo

SILVA, Giovanna Tereza Oliveira da. **Efeito das variações climáticas ligadas ao ENOS na população de *Cissia phronius* (Lepidoptera: Satyrinae) no extremo sul do Brasil**. Orientador: Cristiano Agra Iserhard. 2020. 59 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

Estudos temporais com populações têm se tornado cada vez mais necessários para implementação de ações de conservação, principalmente em ambientes tropicais e subtropicais, onde há altas taxas de degradação e perda de habitat. Dentre os insetos subtropicais abundantes e multivoltinos encontra-se *Cissia phronius* (Godart, 1824), uma borboleta frugívora neotropical com hábitos generalistas e facilmente encontrada. Entretanto, indivíduos adultos têm seus padrões sazonais, bem como atividade e abundância afetadas negativamente por anomalias climáticas, muitas vezes resultantes de eventos meteorológicos interanuais. Por isso, o objetivo deste trabalho foi analisar padrões de variação temporal na população de *C. phronius* e relacionar com o efeito do fenômeno climático global, de caráter atmosférico-oceânico, El Niño Oscilação Sul em matas de Restinga no extremo sul do Brasil. Amostragens padronizadas foram realizadas durante quatro anos e meio. Foram enumeradas nove unidades amostrais, em fragmentos de matas de Restinga. Em cada unidade amostral, foram instaladas cinco armadilhas iscadas e revisadas três dias por mês. O método de captura-marcação-recaptura foi utilizado para amostrar os indivíduos. Índices climáticos foram aferidos diariamente e o monitoramento de boletins climatológicos foi feito mensalmente. Foi feita uma análise *a priori* combinando os dados de abundância de *C. phronius* com os de ausência e/ou presença do El Niño Oscilação Sul a fim de avaliar se houve influência do fenômeno no tamanho populacional e comparar os padrões distintos de flutuação e declínio populacional durante os períodos de presença, fase positiva (El Niño) e fase negativa (La Niña), e ausência do fenômeno. Para investigar qual covariável melhor representa a influência do El Niño Oscilação Sul no tamanho populacional de *C. phronius*, foram utilizados modelos lineares generalizados, em ambiente R. Os resultados demonstram que o fenômeno influencia no tamanho populacional de *C. phronius*. Em La Niña e em período neutro há crescimento populacional e, conseqüentemente, maior atividade dos indivíduos adultos do que durante El Niño, que indica declínio populacional. *C. phronius* apresenta correlação de abundância com covariáveis climáticas, especialmente a umidade, e, oriundo a isso, seu ciclo de vida pode ser extremamente afetado por elas, principalmente em períodos de El Niño. Dito isto, as implicações da presença do El Niño Oscilação Sul são de que a sobrevivência da espécie do estudo é altamente sensível às variações climáticas resultantes do fenômeno, podendo servir de modelo para outras espécies neotropicais e isso torna-se muito relevante para essas conclusões.

Palavras-chave: CMR. Conservação. El Niño Oscilação Sul. MLGs. Nymphalidae.

Abstract

SILVA, Giovanna Tereza Oliveira da. **Effect of climatic variations linked to ENSO in the population of *Cissia phronius* (Lepidoptera: Satyrinae) in the extreme south of Brasil**. Advisor: Cristiano Agra Iserhard. 2020. 59. Dissertation (Masters in Animal Biology) – Postgraduate Program in Animal Biology, Biology Institute, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2020.

Temporal studies with populations have become increasingly necessary for the implementation of conservation actions, especially in tropical and subtropical environments, where there are high rates of degradation and loss of habitat. Among the abundant and multivoltine subtropical insects is *Cissia phronius* (Godart, 1824), a generalist and common neotropical fruit-feeding butterfly. However, adult individuals have their seasonal patterns, as well as activity and abundance negatively affected by climatic variations, usually resulting from interannual weather events. Therefore, the aim of this work was to analyze patterns of temporal variation in the population dynamics of *C. phronius* and to relate the effect of the global climatic phenomenon, of an atmospheric-oceanic character, El Niño Southern Oscillation in Restinga forests in the extreme south Brazil. Standardized samplings were carried out for four and a half years. Nine sample units were listed, in fragments of Restinga forest. In each sample unit, five baited traps were installed and reviewed three days a month. The capture-mark-recapture method was used to sample the individuals. Climatic indices were checked daily and the monitoring of climatological bulletins was done monthly. A priori analysis was performed combining the abundance data of *C. phronius* with the absence and/or presence of El Niño Southern Oscillation in order to assess the influence of the phenomenon on population size and to compare the different fluctuation patterns and population decline during periods of presence, positive phase (El Niño) and negative phase (La Niña), and absence of the phenomenon. To investigate which covariate best represent the influence of El Niño Southern Oscillation on the population size of *C. phronius*, generalized linear models were used in an R environment. The results demonstrate that the phenomenon influences the population size of *C. phronius*. In La Niña and neutral period there is a population growth and, consequently, greater activity of adult individuals than during El Niño, which indicates population decline. *C. phronius* has an a correlation of abundance with climatic covariates, especially humidity, and, as a result, their life cycle can be extremely affected by them, especially during El Niño periods. That said, the implications of the presence of El Niño Southern Oscillation are that the survival of the study species is highly sensitive to climatic variations resulting from the phenomenon, and can serve as a model for other neotropical species and this becomes very relevant to these conclusions.

Keywords: CMR. Conservation. ENSO. GLMs. Nymphalidae.

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Objetivo Geral	15
1.1.1	Objetivos Específicos	15
2	Revisão Bibliográfica.....	16
2.1	Abundância associada as variações climáticas oriundas do ENOS.....	16
3	Capítulo 1.....	19
4	Considerações Finais.....	55
	Referências	56

1 Introdução

Devido às altas taxas de degradação e perda de habitat, com a consequente diminuição da biodiversidade, abordagens que avaliem padrões de diversidade da fauna têm se tornado cada vez mais necessárias para implementação de ações de conservação (RIBEIRO et al, 2009; CARDINALE et al, 2012). No entanto, estudos ainda são incipientes a respeito da diversidade de alguns grupos animais em ambientes tropicais e, principalmente, subtropicais, e esta lacuna de conhecimento torna-se maior frente à intensa ação antrópica (WILSON, 1997). Os estudos populacionais dentro de um contexto espaço-temporal, assim como os elementos da história de vida que compõem as comunidades naturais (CASWELL, 1976; WOLDA, 1988; DEVRIES et al, 2012), são importantes descritores para a compreensão de tais padrões. Desta forma, inventários de fauna em curto prazo e monitoramento de espécies ao longo do tempo originam um conhecimento acerca dos organismos que ocorrem em determinado local (MELO SILVA, 2012).

Entender como os organismos respondem a fatores bióticos e abióticos e, também, à modificação de diferentes habitats através do conhecimento sobre a ecologia de animais com ciclo de vida curto, como alguns invertebrados, onde há rápida resposta frente às alterações ambientais, é fundamental para interpretar processos que determinam a biologia populacional das espécies (WOLDA, 1988; BROWN, 1992; GHAZOUL, 2002; HAWKSWORTH, 2011). Particularmente, o conhecimento acerca dos padrões de ocorrência de insetos é escasso no que diz respeito à diversidade temporal (MAGURRAN, 2011) e sazonalidade em ambientes subtropicais (ISERHARD et al, 2017). Existe grande dificuldade em caracterizar esses padrões devido à necessidade de avaliação de séries temporais extensas para uma adequada representação das populações, sabendo-se que é virtualmente impossível avaliar a riqueza e a abundância total de um habitat (LANDE, 1996; ISERHARD, 2017).

Segundo Wolda (1988), a sazonalidade é de grande importância para os insetos. Alguns insetos herbívoros retratam nítida variação temporal na abundância, atividade e distribuição, especialmente em áreas onde a sazonalidade climática é bem estabelecida com índices de pluviosidade, umidade, temperatura e fotoperíodo bem definidos (JANZEN, 1967; WOLDA, 1988). A variação climática sazonal tende a influenciar na

disponibilidade dos recursos necessários para a atividade dos insetos em seus estágios de desenvolvimento e a sobrevivência destes é afetada quando há assincronia entre eles (DEVRIES; WALLA, 2001). Wolda (1988) sugere que a biologia populacional das espécies está correlacionada aos seus padrões de sazonalidade, dependendo da frequência e duração das flutuações. Deste modo, populações podem ocorrer em apenas uma época do ano (sazonal restrita), durante todo o ano, com uma ou mais flutuações (sazonal), ou ainda não haver estudos que preveem possíveis flutuações (assazonal). Nos trópicos e subtropicais, a dinâmica temporal ainda é pouco compreendida, embora, diferentemente de regiões temperadas onde há grande influência da temperatura, seja perceptível que a pluviosidade tem grande influência, principalmente em regiões com estações secas e chuvosas bem distintas (WOLDA, 1988).

Além disso, a abundância e atividade de cada geração de insetos associada à sazonalidade (WOLDA, 1988; HAMER et al, 2005; POZO et al, 2008) pode ser influenciada fortemente por fenômenos meteorológicos interanuais, como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), muito frequente e intenso na região austral da América do Sul. Tal fenômeno ocorre tanto pelo aquecimento, fase positiva El Niño (EN), quanto pelo resfriamento, fase negativa La Niña (LN), das águas superficiais do Oceano Pacífico tropical. Das quais apresentam anomalias nos índices de precipitação, umidade relativa do ar e temperatura média acima do esperado, em anos de aquecimento e, abaixo, em anos de resfriamento (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; GRIMM, 2003). Neste caso, percebem-se efeitos sobre as populações naturais, comunidades e ecossistemas, incluindo aspectos do comportamento à reprodução desses insetos (BOGGS et al, 2003; SRYGLEY et al, 2010).

Dentre os insetos, as borboletas são organismos comumente utilizados em estudos ecológicos (DEVRIES et al, 1997; BROWN; FREITAS, 2000; FREITAS et al, 2006) por possuírem íntima associação com plantas hospedeiras, microclima e a paisagem (DEVRIES et al, 1997; BROWN; FREITAS, 2000). As borboletas frugívoras estritas se alimentam de frutos fermentados, excrementos ou exsudatos de plantas e vertebrados em decomposição, e pertencem à Nymphalidae, subfamílias Satyrinae, Charaxinae, Biblidinae e Nymphalinae (tribo Coeini e Nymphalini) (DEVRIES, 1988;

FREITAS et al, 2014). Os ninfalídeos representam entre 40-50% da riqueza de borboletas encontrada nos trópicos e subtropicais (DEVRIES et al, 1997; SANTOS et al, 2011; DUARTE et al, 2012). Podem ser amostradas seletivamente com armadilhas atrativas, através de metodologia padronizada e simultânea em diversas áreas, permitindo a verificação de padrões robustos de diversidade no espaço e no tempo (DEVRIES et al, 1997; FREITAS et al, 2014).

Os ecossistemas campestres nativos no Rio Grande do Sul incluem o bioma Pampa e o sul da Mata Atlântica (BEHLING et al, 2004; PILLAR et al, 2009). Possuem grande riqueza, com altos índices de diversidade e endemismo (BEHLING et al, 2004; BENCKE, 2009). Porém encontram-se ameaçados em razão de intensas transformações em suas paisagens, principalmente por atividades econômicas agropecuárias e silviculturais (PILLAR et al, 2009; ROESCH et al, 2009). No extremo sul do Brasil, as matas de Restinga (PILLAR et al, 2009) são de extrema importância na estabilização do solo e incidência da fauna local e migratória (FALKENBERG, 1999). Dentre as espécies locais de insetos, encontra-se *Cissia phronius* (Godart, 1824) (Nymphalidae: Satyrinae, Satyrini), uma borboleta frugívora neotropical com hábitos generalistas (BROWN, 1992) e facilmente encontrada. Apresenta ocorrência em bordas de mata e, além de frutos em decomposição, alimenta-se de inflorescências de gramíneas (PEIXOTO, 2005). Entretanto, por habitar regiões de clima tropical e subtropical, sendo esta última com sazonalidade marcada em quatro estações características (ROSSATO, 2011), tem a atividade dos indivíduos adultos afetada negativamente por variações temporais (PEIXOTO, 2005), bem como o tamanho populacional.

Segundo Boggs et al (2003), estudos populacionais com borboletas têm sido realizados, mas a capacidade de prever circunstâncias que levem à extinção ainda é escassa. No que diz respeito às borboletas de regiões tropicais (BONEBRAKE et al, 2010) e subtropicais, quando comparadas àquelas de regiões temperadas, há um exíguo conhecimento acerca da influência das variações temporais em suas populações. Em região subtropical, no Rio Grande do Sul, há estudos bem fundamentados sobre a fauna de borboletas frugívoras de algumas localidades, principalmente ao norte do estado, domínio da Mata Atlântica (MORAIS et al., 2007;

PAZ et al. 2014). Porém, ainda há um vazio sobre a biologia e ecologia das borboletas frugívoras ao extremo sul, no Pampa (PAZ et al, 2014). Por isso, sabendo que é fundamental para conservação das populações de borboletas frugívoras a forma como os indivíduos adultos se comportam frente às variações temporais (BOGGS et al, 2003), salienta-se a necessidade de obter informações sobre como fenômenos meteorológicos, como o ENOS, e suas anomalias climáticas influenciam populações sazonais e abundantes, como a de *C. phronius*.

A hipótese deste estudo é: o tamanho populacional de *Cissia phronius* será influenciado, significativamente, durante os períodos com presença do fenômeno meteorológico ENOS. E as previsões: (i) maior atividade dos indivíduos adultos em fase positiva (El Niño) e o oposto em fase negativa (La Niña); (ii) crescimento populacional durante El Niño e declínio em La Niña.

1.1 Objetivo Geral

Analisar padrões de variação temporal na população de *Cissia phronius*, ao longo de quatro anos e meio, e relacionar com o efeito do fenômeno climático global, de caráter atmosférico-oceânico, El Niño Oscilação Sul em matas de Restinga no extremo sul do Brasil.

1.1.1 Objetivos Específicos

- i. comparar os padrões distintos de flutuação populacional da espécie durante os períodos de ocorrência do ENOS em fase positiva (El Niño), fase negativa (La Niña) e ausência do fenômeno;
- ii. investigar qual covariável (temperatura e umidade) melhor representa a influência do ENOS no tamanho populacional desta espécie de borboleta.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Abundância associada as variações climáticas oriundas do ENOS

Em floresta tropical úmida panamenha, Srygley et al (2014) estudaram o tamanho populacional de uma borboleta migratória *Marpesia chiron* ao longo de dezessete anos e a produção de novas folhas de suas plantas hospedeiras ao longo de nove anos. O objetivo foi testar se há correlação entre a abundância de *M. chiron* e eventos de EN e LN. Concluíram que a abundância da borboleta, assim como a produção de novas folhas por suas hospedeiras, eram correlacionadas às anomalias caracterizadas pelas fases do ENOS, havendo maior produção foliar durante o EN.

Na mesma região, Srygley et al (2010) estudaram outra borboleta migratória *Aphrissa statira* durante dezesseis anos e suas lianas hospedeiras durante oito anos. Verificaram que o EN ocasionou chuvas na estação seca e radiação fotossinteticamente ativa, fatores primários para produção foliar, e flutuações populacionais de insetos. Assim, resultando em anos mais secos com maior produtividade de plantas e abundância de herbívoros. Dessa forma, o estudo relata que as populações de insetos são correlacionadas com as variações climáticas oriundas do EN.

Piovesan et al (2018) estudaram mariposas cosmopolitas do gênero *Spodoptera*, pragas agrícolas multivoltinas e sazonais com alto grau de polifagia e dispersão. O estudo foi realizado no Cerrado brasileiro e teve como objetivo diferenciar a importância de diferentes fatores que moldam a dinâmica desses insetos. Durante três anos testaram se a flutuação populacional era causada por efeito do ENOS, parâmetros meteorológicos sazonais e/ou disponibilidade da planta hospedeira. Concluíram que as flutuações foram afetadas, principalmente, pela intensidade do ENOS e, conseqüentemente, houve diminuição da abundância das espécies, devido aos baixos índices de umidade relativa do ar na savana. Por serem consideradas pragas agrícolas, esse resultado pôde ser interpretado de forma positiva para agricultura.

Cleary et al (2006), estudaram uma comunidade de moscas no leste de Kalimantan, na Indonésia. Os pesquisadores puderam mostrar que existem fortes correlações espaço-temporais entre espécies e riqueza alélica nos habitats de floresta tropical afetadas por anomalias induzidas durante um evento de EN. Concluíram que

perturbações, como o período de seca ocasionado pelo evento e episódios de incêndios, são destrutivas para biodiversidade tropical. Ressaltaram que a redução da diversidade de espécies afeta o ecossistema e, também, que espécies remanescentes podem ter resiliência reduzida a futuros eventos de perturbação.

Em uma região de clima temperado, Nice et al (2014) utilizaram uma base de dados de trinta e oito anos de monitoramento de borboletas. Analisaram se a maior profundidade anual de neve teve efeito positivo na ocorrência de borboletas, enquanto as covariáveis de temperatura mínima da primavera e anomalias do ENOS apresentaram coeficientes negativos. Concluíram que as covariáveis com grande impacto na comunidade não tiveram uma resposta consistente em todas as espécies, revelando especificidade nas respostas de cada espécie quando relacionadas às variações climáticas. Além disso, descobriram que associações com o clima podem ser detectadas quando se consideram subconjuntos ecologicamente delimitados da comunidade. Por exemplo, espécies residentes e espécies não ruderais tiveram uma resposta muito mais unificada às variáveis climáticas em comparação com espécies não residentes e espécies ruderais, sugerindo uma adaptação local ao clima.

Em Sierra Nevada, região com 2750 m de elevação e clima temperado, Pardikes et al (2015) estudaram uma base de dados de 23 anos (1988-2010). O objetivo foi encontrar correlação entre a abundância de 28 espécies de borboletas com as anomalias oriundas do ENOS. Detectaram significância quando correlacionadas (em anos mais úmidos e quentes houveram mais observações de borboletas), sabendo que a abundância também variou ao longo do gradiente de elevação e diferiu entre as espécies. As espécies migratórias tiveram correlações mais fortes com os efeitos do ENOS, sugerindo que os dados de longa duração são valiosos para compreender relações biótica-abióticas. Dessa forma, os autores enfatizaram que os efeitos de variações climáticas dependem do contexto entre locais e espécies e, por isso, é necessário estudar mais de uma espécie em regiões com extensão ilimitada.

Em região temperada, Vandenbosch (2003) estudou uma base de dados de vinte anos. O objetivo foi encontrar correlação entre flutuações de uma borboleta com dois fenômenos meteorológicos, ENOS e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Foram encontradas fortes correlações positivas com os eventos de EN de intensidade forte,

1982-1983 e 1997-1998, e de intensidade fraca, 1991-1992. Concluiu que as flutuações da população estavam acopladas às variações climáticas em escalas de tempo curtas (EN) e longas (ODP), afirmando que essas escalas de tempo são importantes para prever os efeitos das mudanças climáticas globais em longo prazo.

3 Capítulo 1

Manuscrito a ser submetido para a revista Biotropica.

Efeito das variações climáticas ligadas ao ENOS na dinâmica populacional de *Cissia phronius* (Lepidoptera: Satyrinae) no extremo sul do Brasil

Giovanna Tereza Oliveira da Silva¹, Luciana de Campos Franci², Cristiano Agra Iserhard¹

¹ Programa de Pós Graduação em Biologia Animal, Departamento de Ecologia, Zoologia e Genética, Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, Brasil.

² HardFun Studios, Porto Alegre, Brasil.

Correspondência: Giovanna Tereza Oliveira da Silva, Laboratório de Ecologia de Lepidoptera, Universidade Federal de Pelotas, Campus Universitário, s/n, Capão do Leão – Rio Grande do Sul, 96160-000, Brasil.

Email: giovannacorsino@outlook.com.br

Resumo

Em nível populacional, insetos tropicais e subtropicais exibem flutuações de acordo com seus padrões de sazonalidade. Porém, esses padrões, bem como suas abundâncias e atividades tendem a ser influenciadas por fenômenos meteorológico, como o ENOS. Devido a isso, a borboleta *Cissia phronius* destaca-se por poder apresentar vulnerabilidade em seu ciclo de vida. O objetivo deste estudo foi analisar o efeito do ENOS na abundância de *C. phronius*, ao longo de dois ciclos, no extremo sul do Rio Grande do Sul, região subtropical que manifesta forte sinal do fenômeno. Amostragens padronizadas foram realizadas durante 4 anos e meio. Em matas de Restinga, foram enumeradas 9 UAs, Em cada UA, foram instaladas 5 armadilhas iscadas e revisadas 3 dias por mês. O método CMR foi utilizado para amostrar os indivíduos. Índices climáticos foram aferidos diariamente e o monitoramento de boletins climatológicos foi feito mensalmente. Combinamos os dados de abundância de *C. phronius* com a presença e/ou ausência do ENOS para avaliar se o fenômeno influenciaria na abundância e observar se haveria crescimento e/ou declínio populacional; e, investigamos se as covariáveis temperatura e umidade influenciariam no tamanho populacional, construindo MLGs. Também verificamos a intensidade das fases do ENOS (El Niño e La Niña). Foi demonstrado que o fenômeno influencia na abundância de *C. phronius*. Em La Niña e em período neutro há um crescimento populacional maior do que durante El Niño, que indica declínio populacional. Houve correlação de abundância com umidade, em La Niña. Para a borboleta, a presença do ENOS torna vulnerável a sobrevivência da espécie.

Palavras-chave: Captura-marcação-recaptura, conservação, El Niño Oscilação Sul, modelos lineares generalizados.

Abstract

At the population level, tropical and subtropical insects fluctuate according to their seasonality patterns. However, these standards as well as its abundances and activities tend to be influenced by phenomena weather such as ENSO. Due to this, the butterfly *Cissia phronius* stands out for being able to present vulnerability in its life cycle. The objective of this study was to analyze the effect of ENSO on the abundance of *C. phronius*, over two cycles, in the extreme south of Rio Grande do Sul, subtropical region that shows strong sign of the phenomenon. Standardized samplings were performed during four and a half years. In Restinga forests, 9 SUs were listed. In each SU, 5 baited traps were installed and reviewed 3 days a month. The CMR method was used to sample the individuals. Climatic indices were checked daily and the monitoring of climatological bulletins was done monthly. In R environment, we combined *C. phronius* abundance data with the presence and/or absence of ENSO to assess whether the phenomenon would influence abundance and observe whether there would be population growth and/or decline; and, we investigate whether temperature and humidity covariates would influence population size, creating GLMs. We also characterize the intensity of the phases of ENSO (El Niño and La Niña). The phenomenon has been shown to influence the abundance of *C. phronius*. In La Niña and neutral period there is a greater population growth than during El Niño, which indicates population decline. There was a correlation between abundance and humidity, in La Niña. For the butterfly, the presence of ENOS makes the survival of the specie vulnerable.

Keywords: Capture-mark-recapture, conservation, El Niño Southern Oscillation, generalized linear models.

1 INTRODUÇÃO

A sazonalidade climática é de grande importância para os insetos (Wolda, 1988). Alguns insetos herbívoros retratam nítida variação temporal na abundância, atividade e distribuição, especialmente em áreas onde as estações são bem estabelecidas com índices de pluviosidade, umidade, temperatura e fotoperíodo marcados (Janzen & Schoeder, 1967; Wolda, 1988). A atividade de cada geração de insetos associada à sazonalidade (Wolda, 1988; Hamer et al., 2005; Pozo et al., 2008) pode ser influenciada por fenômenos meteorológicos naturais (Ropelewski & Halpert, 1987). Isso porque para esses animais as condições climáticas tendem a mudar indiretamente a distribuição espaço-temporal de recursos, i. e., a disponibilidade de alimentos, bem como presença e/ou ausência de parasitoides e demais inimigos naturais (Jaksic, 2001; Holmgren et al., 2006; Dingle & Drake, 2007; Srygley et al., 2010; Kashimoto-Yamada & Itioka, 2015; Anyamba et al., 2019). Por exemplo, o crescimento anormal dos regimes de precipitação em regiões desérticas subtropicais e/ou florestas tropicais sazonalmente áridas estimula alguns estádios fenológicos das plantas (Jaksic, 2001; Holmgren et al., 2006; Srygley et al., 2010). Dessa forma, ocorre aumento da produtividade primária, com elevação para níveis tróficos mais altos e, conseqüente, surtos periódicos de espécies herbívoras e migrações (Holmgren et al., 2006; Srygley et al., 2010). Neste caso, percebe-se efeitos sobre as populações, comunidades e

ecossistemas, incluindo aspectos do comportamento à reprodução e dinâmica desses insetos (Boggs et al., 2003; Srygley et al., 2010).

Dos fenômenos meteorológicos mais conhecidos, destaca-se o El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS é constituído por duas faces, uma oceânica e uma atmosférica (Oliveira et al., 2015). A face oceânica tem fase positiva e quente, El Niño (EN), caracterizada pelo aumento anômalo da temperatura da superfície do mar (TSM) do Oceano Pacífico tropical central e leste, incluindo regiões da costa oeste da América do Sul. Já a negativa e fria, La Niña (LN), corresponde ao esfriamento anômalo da TSM da mesma área (Philander, 1990; Chiodi & Harrison, 2015). A TSM pode apresentar índices aferidos em quatro regiões do Pacífico tropical, sendo elas Niño 1+2 (leste), Niño 3 (leste), Niño 3.4 (central) e Niño 4 (oeste) (Ferreira et al., 2017). A face atmosférica é verificada através do Índice de Oscilação Sul (IOS), calculado pela diferença de pressão atmosférica entre a cidade de Darwin, na Austrália (oeste do Pacífico; 12°20" S, 130°52" W), e a ilha do Taiti, Arquipélago da Sociedade, na Polinésia Francesa (Pacífico central; 17°33" S, 149°31" W) (Ferreira et al., 2017). Assim, quando há aumento atípico nos índices da TSM (EN), o IOS torna-se negativo e, oposto a isso (LN), positivo (Pereira et al., 2017).

O padrão de medida do ENOS é o Índice Oceânico de Niño (ONI), monitorado por uma média trimestral de anomalias na TSM +/- 0,5° C, região Niño 3.4. Quando identificado 5 meses consecutivos de anomalias, é alertada a presença do fenômeno (NOAA, 2009). Períodos que apresentam ausência de anomalias consecutivas, seja entre as fases ou entre os ciclos, são classificados como neutros (NOAA, 2018). De caráter interanual, o ENOS apresenta um ciclo médio de duração, entre fase positiva e negativa, de 4 anos (Oliveira et al., 2015; Piovesan et al., 2018). Todavia, ocorrem ciclos irregulares de intensidade variável com potencial de duração de 2

a 7 anos (Oliveira et al., 2015). Acerca disso, pode haver pequena variabilidade espaço-temporal de anomalias da TSM em uma mesma região, durante a mesma temporada de EN e LN (Grimm, 2003; Viegas et al., 2019). Isso porque a configuração dessas anomalias depende inteiramente da intensidade dos eventos e também das regiões (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4) onde se situam as anomalias da TSM no Pacífico tropical (Coelho et al., 1999; Philander & Fedorov, 2003; Ashok et al., 2007; Andreoli et al., 2016).

A TSM do Oceano Pacífico tropical, correlacionada ao Índice de Oscilação Sul, modifica o padrão de circulação atmosférica (Cavalcanti, 1996; Cunha et al., 2011). Por isso, o ENOS é considerado motivo principal na ocorrência de mudanças nos padrões climáticos sazonais em diversas regiões do globo (Berlato et al., 2015; Chiodi & Harrison, 2015). Dentre estas, no Brasil, as regiões Nordeste, Norte, Sudeste e Sul são atingidas (Cavalcanti, 1996; Cunha et al., 2011) e os principais efeitos observados são o aumento da umidade, temperatura e precipitação no Sul e Sudeste e estiagem severa no Norte e Nordeste (Lau & Sheu, 1988; Cunha et al., 2011; Ferreira et al., 2017). É sabido que o ENOS se manifestou duas vezes nos últimos 5 anos. O primeiro ciclo (2015/17), teve fase positiva de intensidade forte (outono/2015-inverno/2016) e fase negativa de intensidade fraca (primavera/2016-verão/2017). O segundo ciclo (2019) iniciou com fase positiva de intensidade fraca (verão-inverno/2019) e ainda não há previsões para a fase negativa (NOAA, 2016b; NOAA, 2016c; NOAA, 2017; NOAA, 2018; NOAA, 2019).

Segundo Vandenbosch (2003), a resposta das populações a variáveis climáticas específicas, demonstradas por estudos de flutuação de curto prazo, podem servir como um guia para a consequência da deriva de longo prazo das mudanças climáticas. No entanto, estudos em longo prazo também são necessários. Dessa forma, sabe-se que há um número consideravelmente maior de pesquisas em clima temperado (Parmesan, 2007), onde há monitoramentos mais longos

de populações em áreas geográficas mais amplas. Pardikes et al., (2015) realizaram um monitoramento de 23 anos, analisando a variação na abundância de 28 espécies de borboletas, e concluíram que espécies migratórias tinham, significativamente, relação com as anomalias da TSM derivadas do ENSO. E McLaughlin et al. (2002), investigou a extinção de duas populações da borboleta *Euphydryas editha bayensis* (Nymphalidae), afirmando que a causa dessa extinção foi a combinação de perda de habitat com a variação climática regional, com o aumento da precipitação.

As populações de insetos tropicais e subtropicais exibem flutuações de acordo com seus padrões de sazonalidade, quando em fase adulta. De fato, a precipitação é a covariável que mais influencia as atividades sazonais desses insetos (Kashimoto-Yamada & Itioka, 2015). No entanto, poucos estudos têm focado estritamente na influência da temperatura e umidade (Kashimoto-Yamada & Itioka, 2015) oriundas de anomalias do ENOS nesses padrões (Piovesan et al., 2018). Dentre esses animais, as borboletas se destacam por serem organismos comumente utilizados em estudos ecológicos (Devries et al., 1997; Brown & Freitas, 2000; Freitas et al., 2006) por possuírem íntima associação com microclima e a paisagem (Devries et al., 1997; Brown & Freitas, 2000). Em virtude disso, necessitam de medidas de conservação efetivas, pois estão expostas a ameaças, muitas vezes pouco eminentes, como as oscilações atmosféricas (Bonebrake et al., 2010). As borboletas frugívoras estritas são pertencentes à família Nymphalidae (subfamílias Satyrinae, Charaxinae, Biblidinae e algumas tribos de Nymphalinae), elas podem se alimentar de frutos fermentados, excrementos ou exsudatos de plantas e vertebrados em decomposição (Devries, 1988; Freitas et al., 2014).

O Rio Grande do Sul manifesta forte sinal do ENOS, apresentando anomalias positivas em anos de EN e negativas em anos de LN, principalmente durante a primavera e o verão

(Ropelewski & Halpert, 1987; Rao & Hada, 1990; Grimm et al, 1998; Silva et al., 2009). No sul do estado, as matas de Restinga, pertencentes aos campos sulinos, apresentam clima subtropical úmido (Pillar et al., 2009; Rossato, 2011; Paz et al., 2014) com quatro estações distintas, sendo de um inverno frio a um verão quente e índices pluviométricos estáveis durante todo o ano. No entanto, por ser uma região localizada no extremo meridional do Brasil é altamente atingida pelas anomalias oriundas do ENOS (Ropelewski & Halpert, 1987; Rao & Hada, 1990; Grimm et al., 1998, Silva et al., 2009).

Cissia phronius (Godart, 1824), subfamília Satyrinae, é uma borboleta frugívora neotropical, sazonal, de hábitos generalistas (Brown, 1992) e facilmente encontrada no Brasil. Por ser muito abundante nas matas de Restinga (Gallo, 2018), tende a apresentar suscetibilidade às fortes anomalias oriundas do ENOS, podendo manifestar efeitos na abundância e na atividade dos indivíduos adultos da espécie (Peixoto, 2005), assim como em seu padrão sazonal e todo o seu ciclo de vida. Porém, estudos que corroborem essas informações ainda são incipientes. Desta forma, sabendo que o conhecimento acerca dos efeitos das variações climáticas nas populações de borboletas frugívoras subtropicais sazonais ainda é limitado e que o extremo sul do Brasil é suscetível a manifestar forte influência de fenômenos meteorológicos, salienta-se a necessidade e a importância de realizar estudos sobre como indivíduos adultos de *C. phronius* correspondem à cenários com presença do ENOS nas matas de Restinga.

O objetivo deste estudo é analisar o efeito do fenômeno climático global, de caráter atmosférico-oceânico, El Niño Oscilação Sul na abundância de *Cissia phronius*, ao longo de dois ciclos, de uma região subtropical, no extremo sul do Rio Grande do Sul. Com isso, pretende-se: (i) avaliar se houve influência do ENOS no crescimento e/ou declínio populacional de *C. phronius* (objetivo específico 1); e (ii) investigar se as covariáveis temperatura e umidade

influenciam no tamanho populacional de *C. phronius* (objetivo específico 2). A hipótese deste estudo é de que o tamanho populacional de *C. phronius* é influenciado durante os períodos com presença do fenômeno meteorológico ENOS. E as predições são de que (i) haverá aumento no crescimento populacional de *C. phronius*, correlacionado com a sazonalidade, durante El Niño e declínio durante La Niña; e (ii) o aumento anormal nos valores das covariáveis temperatura e/ou umidade promoverá crescimento no tamanho populacional de *C. phronius*.

2 MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no Horto Botânico Irmão Teodoro Luis (HBITL) (31°46'3" S, 52°26'55" W), uma área com aproximadamente 25 ha, e em áreas de Restinga adjacentes (Figura 1). Localiza-se no município de Capão do Leão, na Planície Costeira sul do Rio Grande do Sul, a 15 m acima do nível do mar. A área compõe o Bioma Pampa e sua vegetação é denominada como Formação Pioneira, com influência da Mata Atlântica (Veloso et al., 1991). A média de temperatura e pluviosidade total são, respectivamente, 23°C e 125 mm no verão, 18°C e 100 mm no outono, 13°C e 123 mm no inverno e 17°C e 108 mm na primavera (Embrapa, 2010 - dados de 1971 a 2000).



Figura 1 Unidades amostrais (UA) localizadas em diferentes habitats das matas de Restinga, na região que compreende o Horto Botânico Irmão Luis (HBITL) (31°46'3" S, 52°26'55" W), no município Capão do Leão, Rio Grande do Sul – Brasil.

Fonte: Google Earth (2018).

2.2 Amostragem

Os dados foram coletados mensalmente durante 54 meses, de dezembro de 2014 a maio de 2019, em 9 unidades amostrais (UA) com diferentes habitats de Mata de Restinga, sendo estas com distância mínima de 300 m entre si. Para cada UA, foram instaladas 5 armadilhas suspensas, sobre a vegetação arbustiva (Figura 2), dispostas em um quadrado. Estas foram colocadas a 1,5 m de altura do chão, com 8 m de distância entre uma e outra (Freitas et al., 2014; Gallo, 2018). As armadilhas são compostas por um cilindro de tecido voil, com 110 cm de altura e 35 cm de diâmetro, além de uma abertura lateral, de 15 cm de altura, para retirada de organismos.

Internamente, contém um funil, com 22 cm de diâmetro, para evitar a fuga dos indivíduos capturados. Em cada armadilha, há a presença de isca para atração de borboletas frugívoras. A isca é composta de banana madura fermentada com caldo de cana (proporção 3:1), preparada 48 horas antes do início das amostragens e, a cada 24 horas, nas revisões, substituída.



Figura 2 Armadilha suspensa sobre a vegetação arbustiva (subosque), disposta em um quadrado de armadilhas, com isca atrativa. Localizada na UA 7, um dos habitats pertencentes às matas de Restinga da região do estudo. Fonte: Giovanna Silva (2020).

O método de captura-marcação-recaptura (CMR) foi utilizado para amostrar os indivíduos. Desta forma, para cada indivíduo de *Cissia phronius* capturado, o sexo foi aferido; a

marcação dos indivíduos foi feita com caneta permanente na asa anterior através de algarismos alfanuméricos e, posteriormente, realizada a soltura (Figura 3). Espécimes testemunho foram coletados, armazenados em envelopes entomológicos e, posteriormente montados em laboratório. Estes foram anexados à coleção de referência de borboletas do Laboratório de Ecologia de Lepidoptera, Departamento de Ecologia, Zoologia e Genética, do Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas.



Figura 3 Captura-marcação-recaptura (CRM) de *Cissia phronius* em matas de Restinga.

Fonte: Giovanna Silva (2019).

Obtivemos os dados diários de temperatura média e umidade relativa do ar (2014-2019) através de medições realizadas pela Estação Agroclimatológica de Pelotas (EAP), localizada a 2 km a noroeste da área de estudo e, também, situada em um fragmento pertencente às matas de Restinga.

2.3 Análise de dados

Para avaliar se houve influência ENOS no tamanho populacional de *C. phronius* e observar se há crescimento ou declínio populacional de *C. phronius* durante o ENOS (objetivo específico 2), fizemos uma análise *a priori* combinando os dados de abundância de *C. phronius* com os 54 meses de estudo. Foram considerados 30 dias como intervalo de tempo para estas análises.

Para investigar se as covariáveis temperatura e umidade influenciam o tamanho populacional de *C. phronius* (objetivo específico 3) construímos modelos lineares generalizados (MLGs) (Faraway, 2006) com distribuição Poisson, utilizando a abundância como variável dependente, em cada mês durante o estudo. Os cálculos foram feitos a partir de uma abordagem de regressão de mínimos quadrados, testando o efeito linear na relação dos dados de abundância (tamanho da população), com a temperatura e a umidade (covariáveis contínuas) e a presença e/ou ausência de El Niño ou La Niña (covariáveis categóricas). Foram considerados 30 dias como intervalo de tempo para estas análises.

Foram construídos 9 modelos candidatos, sendo que o Critério de Informação de Akaike (Akaike's Information Criterion – AIC) (Laake et al., 2013) foi utilizado para comparação e seleção dos modelos, corrigido para pequenas amostras (AICc). Assim, ordenamos os modelos pela diferença entre o AICc de um modelo em questão e o AICc do modelo com o menor valor de

AICc ($\Delta AICc$). Modelos com valor de $\Delta AICc < 2$ foram considerados robustos, i.e, tiveram o mesmo grau de explicação (Burnham & Anderson, 2002). Todas as análises foram feitas em ambiente R (R Core Team, 2018).

2.4 Intensidade do ENOS

Para verificar a intensidade das fases positiva e negativa do ENOS acompanhamos boletins de monitoramento, previsão e impactos do ENOS disponibilizados mensalmente pela instituição governamental americana National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de 2014 a 2019.

Este estudo iniciou na primavera de 2014, período neutro (NOAA, 2016a). O primeiro ciclo do ENOS consistiu em 2 anos, de 2015 a 2017. A fase positiva começou no outono de 2015 e finalizou no inverno de 2016 (NOAA, 2016b) foi classificada com intensidade forte, El Niño do Pacífico oriental ou El Niño Canônico (EN EP) (Rasmusson & Carpenter, 1982), na qual a TSM da região leste (Niño 1+2) (Pacífico oriental) teve um desvio de temperatura maior, a partir da costa da América do Sul, até a região oeste (Niño 4) (Pacífico ocidental) (Viegas et al., 2019) (Figura 4). Em um evento de El Niño no sul da América do Sul, há maior incidência de precipitação e, conseqüentemente, aumento da umidade e temperatura (Ropelewski & Halpert, 1987; Grimm, 2003; Viegas et al., 2019). Assim, com os resultados obtidos neste estudo, esse período apresentou o menor valor de temperatura média diária ($8,6^{\circ}$) (Tabela 1) na primavera (2015) e o maior (97,0%) (2016) e o menor (53,8%) (2015) de umidade relativa do ar, respectivamente, no outono e na primavera. Logo após o término da fase positiva ser relatado, a primavera de 2016 apresentou fase negativa, perdurando até o verão de 2017, classificada como

La Niña de baixa intensidade, mas com anomalias fortes observadas na primavera e no verão (NOAA, 2016c; NOAA, 2017).

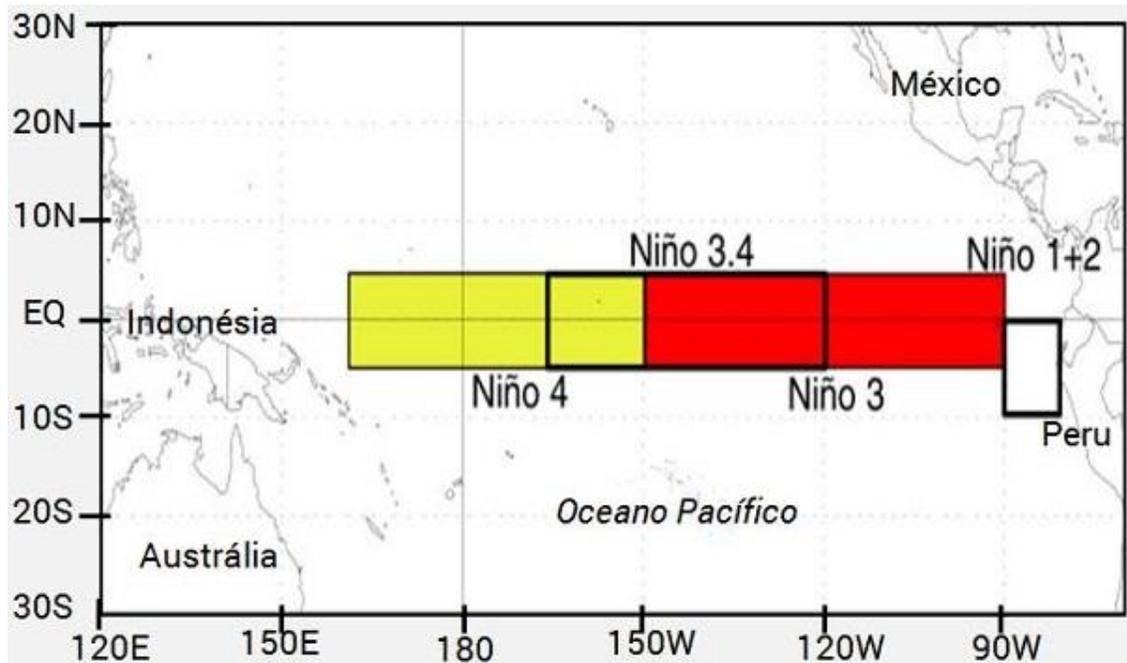


Figura 4 Regiões fixas de monitoramento de anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM) ocasionadas pela presença do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Oceano Pacífico tropical.

Fontes: National Oceanic and Atmospheric Administration e Climatempo (2017).

Depois de encerrar a fase negativa, houve um período neutro (NOAA, 2018) de quase dois anos, entre março de 2017 e dezembro de 2018. No verão de 2019, iniciou mais um ciclo do ENOS, finalizado a fase positiva no inverno. Com diferenças na TSM da região central (Niño 3.4) e leste (Niño 3) do Pacífico, foi classificado como um El Niño do Pacífico central (EN CP), i. e., de intensidade fraca (Kao & Yu, 2009; NOAA, 2019). Diferente de um EN EP, onde há alta intensidade pluviométrica na região Sul do Brasil (Ropelewski & Halpert, 1987; Grimm, 2003), o

EN CP traz alternância entre períodos de estiagem e intensidade pluviométrica (Viegas et al., 2019). Por isso, em 2019, o outono foi chuvoso e a primavera seca (NOAA, 2019). Neste estudo, a temperatura média diária mais alta (31,0°) (Tabela 2) foi identificada no verão (2019), durante EN CP.

Depois de encerrar a fase negativa, houve um período neutro (NOAA, 2018) de quase dois anos, entre março de 2017 e dezembro de 2018. No verão de 2019, iniciou mais um ciclo do ENOS, finalizado a fase positiva no inverno. Com diferenças na TSM da região central (Niño 3.4) e leste (Niño 3) do Pacífico, foi classificado como um El Niño do Pacífico central (EN CP), i. e., de intensidade fraca (Kao & Yu, 2009; NOAA, 2019). Diferente de um EN EP, onde há alta intensidade pluviométrica na região Sul do Brasil (Ropelewski & Halpert, 1987; Grimm, 2003), o EN CP traz alternância entre períodos de estiagem e intensidade pluviométrica (Viegas et al., 2019). Por isso, em 2019, o outono foi chuvoso e a primavera seca (NOAA, 2019). Neste estudo, a temperatura média diária mais alta (31,0°) (Tabela 2) foi identificada no verão (2019), durante EN CP.

3 RESULTADOS

Após um esforço amostral de 1.643 dias, foram registrados 683 indivíduos de *C. phronius*. Durante o estudo, a temperatura média diária e umidade relativa do ar atingiram valores máximos e mínimos, respectivamente, de 31,0° e 8,6° e 97,0% e 53,8% (Tabela 1), apresentando valores inesperados, quando correlacionadas aos eventos do ENOS. Os valores de temperatura maior (2019) e menor (2015) coincidiram, nesta ordem, com os eventos de EN, nas estações verão e

primavera. Já os valores de umidade, maior (2016) e menor (2015), coincidiram com EN, nas estações outono e primavera, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 Valores anuais máximos e mínimos das covariáveis temperatura média diária e umidade relativa do ar durante os 54 meses de estudo (dezembro de 2014 a maio de 2019).

Ano	Temperatura máxima diária	Temperatura mínima diária	Umidade relativa do ar máxima	Umidade relativa do ar mínima
2014	21,6°C	20,0°C	84,5%	70,0%
2015	25,0°	08,6°C	95,5%	53,8%
2016	24,1°C	12,1°C	97,0%	67,5%
2017	26,6°C	13,7°C	94,8%	75,5%
2018	26,0°C	09,1°C	95,3%	70,8%
2019	31,0°C	16,5°C	93,5%	65,5%

3.1 Seleção de modelos

Todos modelos foram considerados robustos, i.e, tiveram o mesmo grau de explicação (Tabela 2). Por isso, a significância de cada modelo foi testada e o modelo mais significativo apresentou valor de $p < 0,005$ para a covariável umidade.

Tabela 2 Modelos lineares generalizados (MLGs), com distribuição Poisson, candidatos para investigar se as covariáveis temperatura e umidade influenciam o tamanho populacional de *C. phronius*.

Modelo	AICc	Δ AICc	Parâmetro	R2
glm(abundancia ~ temperatura + umidade + nino_nina)	762.61	1.00	λ	25%
glm(abundancia ~ temperatura + nino_nina)	765.10	1.00	λ	25%
glm(abundancia ~ umidade + nino_nina)	888.23	1.16	λ	18%
glm(abundancia ~ nino_nina)	886.24	1.16	λ	16%
glm(abundancia ~ temperatura)	813.29	1.06	λ	15%
glm(abundancia ~ umidade)	991.56	1.30	λ	0%
glm(abundancia ~ temperatura + umidade)	804.16	1.05	λ	15%
glm(abundancia ~ nino_nina + temperatura)	804.16	1.05	λ	25%
glm(abundancia ~ nino_nina + umidade)	888.23	1.16	λ	18%

3.2 Tamanho populacional

Acerca dos dados obtidos nos 54 meses de amostragem, o tamanho populacional de *C. phronius* foi influenciado durante os períodos com presença do fenômeno meteorológico ENOS (Figura 5). Ao contrário do esperado, os três grandes picos de abundância ocorreram, consecutivamente, em período EN EP (outono/2016, mar.02, Figura 5), e em período neutro (primavera e verão/2017, set.03 e dez.04, respectivamente, Figura 5) e os menores durante o inverno, seja em períodos de ausência e/ou presença do ENOS (objetivo específico 1). Quanto a sazonalidade (predição 1), o outono de 2016 foi influenciado pela fase positiva de intensidade forte do fenômeno (EN EP), apresentando um pico de flutuação incomum (mar.02), se comparado aos demais períodos, dois

neutros (2017/18), com o segundo maior pico em 2017 (mar.03), e um em fase positiva de intensidade fraca (EN CP) (2019), em que a estação ocorreu durante o estudo. O inverno de 2015 e o de 2016, mesmo com presença da fase positiva de intensidade forte (EN EP), não apresentaram anormalidade, sendo semelhantes, em tamanho populacional, em todos os anos observados, sendo esta estação com os menores valores de abundância desta borboleta. A primavera, em anos de EN, independente da intensidade, quando comparada ao período LN e neutro, apresentou os menores picos de flutuação de *C. phronius*. Quando a estação estava sob influência de LN (2016), foi registrado o segundo maior pico de flutuação (set.02) no tamanho populacional nessa sazonalidade, sendo o primeiro em período neutro (2017, set.03, Figura 5). No verão, o maior pico de flutuação foi durante o período neutro (2017, dez.04, Figura 5) e o segundo em LN (2016, dez.03, Figura 5) e os menores foram durante o EN, independente da intensidade. Em geral, os menores valores totais de abundância de *C. phronius* foram durante o EN. Quando as estações estavam sob influência de LN, em 2016, foram registrados, cronologicamente, o primeiro e segundo picos gerais de flutuação no tamanho populacional (primavera, set.02 e verão, dez.03, Figura 5), e o terceiro em período neutro em 2017 (outono, mar.03, Figura 5). O maior crescimento populacional foi registrado em período neutro e não sob influência do ENOS. Os valores registrados nos picos de abundância durante LN e/ou EN (independente da intensidade), demonstraram que, durante LN, em média (número de indivíduos + número de flutuações), houve flutuações com valores mais altos do que durante EN.

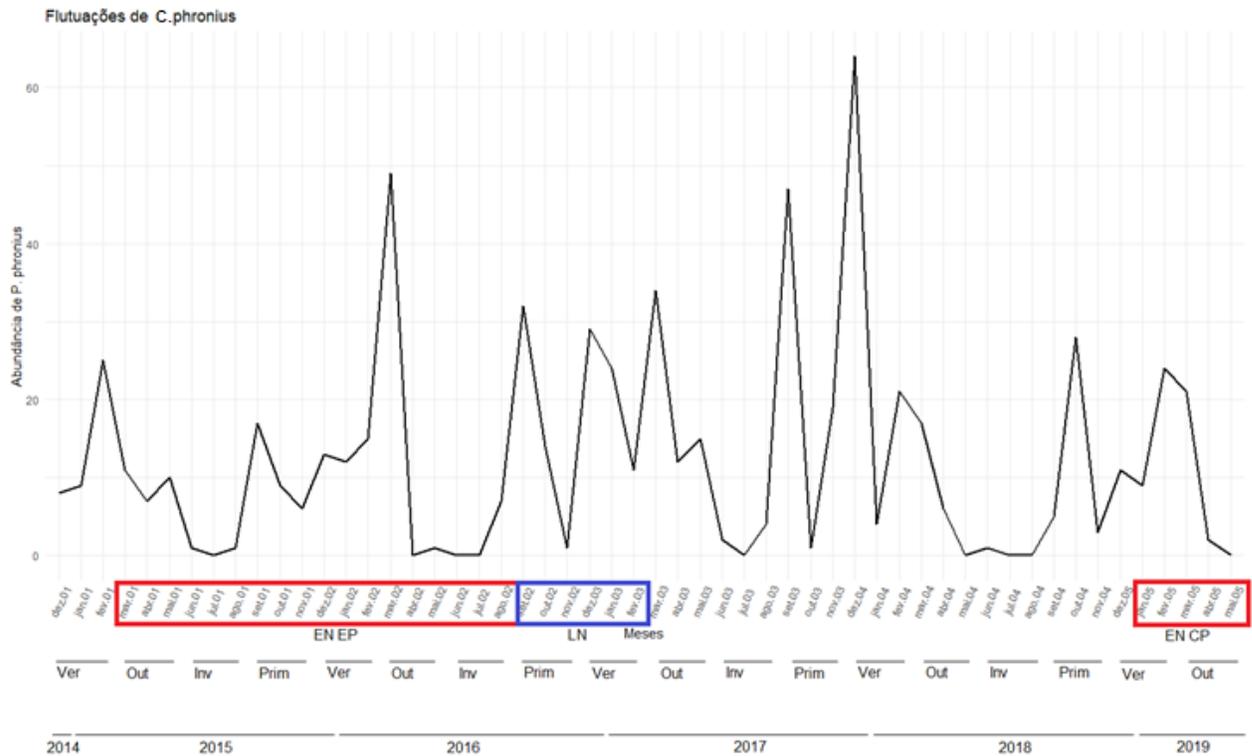


Figura 5 Flutuações de *Cissia phronius*, ao longo de 54 meses, com presença e/ou ausência do fenômeno climático global El Niño Oscilação Sul (ENOS) em fase positiva com intensidade forte (EN EP) e/ou fraca (EN CP), assinalados em vermelho, e fase negativa (LN), assinalado em azul. Demais períodos são neutros. Ver, verão; Out, outono; Inv, inverno; Pri, primavera.

No terceiro pico registrado (verão/2016), *C. phronius* teve uma abundância menor do que na primavera que antecede a estação, porém alta se comparada aos meses de dezembro que tiveram influência do EN, independente da intensidade, durante os 54 meses. Dessa forma, mesmo sendo considerada fase negativa e com a presença de anomalias de estiagem para a região de estudo, LN teve influência no crescimento populacional de *C. phronius*. Em fase neutra de 18 meses (2017/18) podemos observar o padrão de multivoltinismo da espécie sem qualquer influência do ENOS. Durante a primavera-verão (2017/18), dois dos três maiores picos do estudo

foram registrados. Em eventos sazonais anteriores, como o inverno (2017), sem influência do ENOS, a espécie parece apresentar o melhor momento de seu ciclo vida para a eclosão e alimentação dos imaturos. Segundo o ONI, quando identificado 5 meses consecutivos de anomalias, é alertada a presença do fenômeno ENOS (NOAA, 2009). Desta forma, chama atenção o inverno de 2018 ter iniciado com essa previsão e, por isso, o início da primavera ainda possuir uma alta abundância da espécie de borboleta, sendo esta maior que o verão 2019, já afetado pelo ENOS, quando seus números reduzem. Neste estudo, *C. phronius* apresentou seu maior pico de abundância em 2017, início do verão, sendo esta com valor muito diferente se comparada a dos verões influenciados, principalmente, por EN. Por isso, ao comparar o tamanho populacional de *C. phronius* em período neutro com período de presença do ENOS, a espécie tem seus padrões de abundância em declínio quando em ação do fenômeno, indicando que ele não é favorável para a sobrevivência dos indivíduos adultos dessa espécie.

No que diz respeito aos ciclos do ENOS observados, sabendo que ocorreram dois eventos de fase positiva (EN EP 2015/16, 18 meses, e EN CP 2019, 7 meses), um evento de fase negativa (2016/17, 6 meses) e dois períodos neutros (2014/15, 3 meses, e 2017/18/19, 22 meses), variações climáticas, oriundas do fenômeno meteorológico, induziram picos de flutuação, com crescimento e declínio, no tamanho populacional de *C. phronius*, coincidentes com os padrões sazonais da região subtropical.

3.3 Correlação com covariáveis climáticas

Os MLGs indicaram que a abundância de *C. phronius*, correlacionada ao ENOS, foi influenciada pelas covariáveis temperatura e umidade (objetivo específico 2). É sabido que a fase

positiva do ENOS aumenta a temperatura e a umidade e, a negativa, diminui. Tendo em vista que o maior índice de umidade foi durante o outono, sob influência de EN EP, e que houve um pico incomum de flutuação no tamanho populacional de *C. phronius*, podemos inferir que a umidade influencia na abundância da espécie. Já a temperatura, registrada em maior índice durante EN CP, não mostrou um pico de flutuação incomum na abundância da espécie. Por isso, o tamanho populacional foi melhor explicado pela umidade. Indo de encontro ao resultado observado e explanado anteriormente (Figura 5), de fato, sob ação do ENOS, flutuações com valores mais altos foram registradas em fase negativa e significativamente explicadas quando correlacionadas à umidade (Figura 6). Ademais, no que diz respeito ao aumento anormal nos valores das covariáveis temperatura e/ou umidade, em específico umidade, oriundo do ENOS, houve crescimento no tamanho populacional de *C. phronius* durante o fenômeno, inclusive em LN, não se restringindo a EN (predição 2).

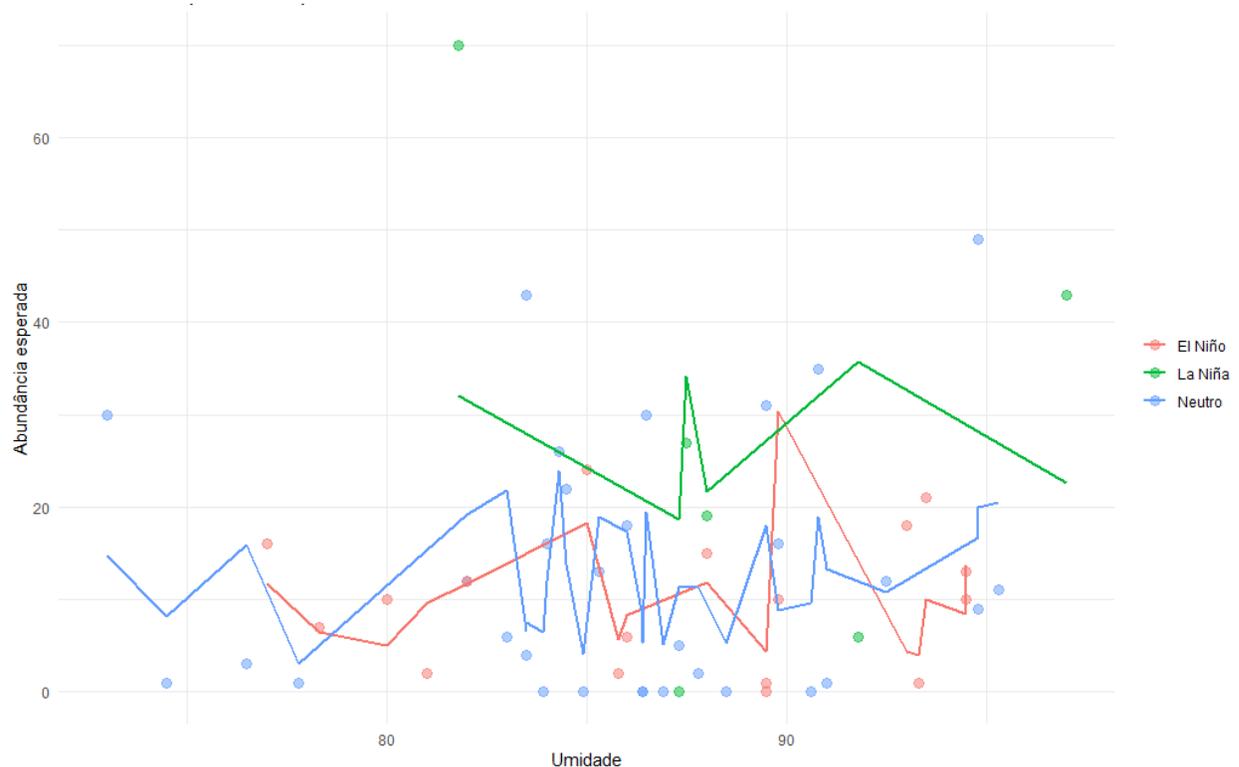


Figura 6 Correlação da covariável umidade, sob influência do fenômeno climático global El Niño Oscilação Sul (ENOS), com a abundância de *Cissia phronius*, ao longo de 54 meses.

Em um primeiro momento, LN não parece apresentar forte correlação com a covariável, até porque a fase caracteriza-se por um período de forte estiagem na região (precipitação abaixo da média), sem índices muito altos de umidade (NOAA, 2016c; NOAA, 2017), porém o oposto a isso foi observado. Não se sabe se a intensidade fraca da fase negativa foi pouco influenciável (período de LN) ou se a espécie apresenta forte correlação com índices sazonais mais estáveis de umidade e temperatura (período neutro). Quanto às oscilações anômalas de temperatura, umidade e, conseqüentemente precipitação, observadas em regimes de EN (os maiores e menores valores dessas covariáveis, observados neste estudo, foram em fase positiva), *C. phronius* mostra pouco

crescimento populacional. Por isso, mesmo sabendo que o pico de abundância de EN maior foi durante o maior índice de umidade registrado, LN apresentou correlação maior com a covariável.

4 DISCUSSÃO

Com os resultados deste estudo, sugere-se que a borboleta *C. phronius* é multivoltina. Por se tratar de uma espécie com longevidade de cerca de 2 meses em adultos (Peixoto, 2005), suscetíveis a condições ambientais de umidade, temperatura, precipitação e fotoperíodo, que afetam o ciclo de vida e a dinâmica populacional dos adultos, Peixoto (2005) observou, em uma floresta tropical brasileira que, ao contrário do esperado, os indivíduos adultos de *C. phronius* apresentaram peso corporal maior que o previsto na estação chuvosa (mais quente). De fato, em épocas mais quentes, o desenvolvimento dos insetos é acelerado, porém, resultando em adultos menores (Peixoto, 2005).

Sugere-se que os adultos na época chuvosa tenham passado pelos estágios imaturos na estação seca. Como suas larvas demoram 2 meses para atingir fase adulta (Peixoto, 2005), indica-se que durante os eventos de EN a intensidade de chuvas possa ter influenciado no seu desenvolvimento, apresentando apenas um pico de flutuação incomum em fase positiva, durante EN EP (outono/2016), que foi caracterizado por períodos extremos de precipitação (Anyamba et al., 2019) e, conseqüentemente, anomalias de temperatura e umidade. Cabe ressaltar que os eventos sazonais do verão que antecedem o outono, poderiam ter influenciado o desenvolvimento das larvas, pois o ciclo de vida dos insetos é acelerado em períodos mais quentes (Peixoto, 2005) e, em região subtropical, o verão apresenta maiores índices de precipitação, temperatura (Embrapa, 2010) e umidade. Posto isso, durante a fase negativa (LN), sazonalidades primavera-

verão, picos de abundância foram frequentes, com valores altos e, em média, maiores do que durante qualquer evento de EN. O primeiro pico acontece no início da primavera, setembro, após um inverno, com influência de EN EP, com ausência de indivíduos em junho e julho.

Em regiões tropicais, Srygley et al., (2014) concluíram que a abundância da borboleta *Marpesia chiron* (Nymphalidae) migrando pelo Canal do Panamá era diretamente proporcional as anomalias da TSM, que caracteriza o ENOS. Em um outro estudo com a borboleta migratória *Aphrissa statira* (Pieridae), Srygley et al., (2010) observaram que as chuvas na estação seca e a radiação fotossinteticamente ativa podem servir como fatores primários para produção de alimentos larvais e surtos de população de insetos nas florestas úmidas neotropicais, resultando em anos mais secos com maior produtividade das plantas e abundância de herbívoros. Já Piovesan et al., (2018) estudaram os padrões ecológicos de mariposas do gênero *Spodoptera*, que também são classificadas como pragas agrícolas, correlacionados ao ENSO, fatores sazonais e disponibilidade de plantas hospedeiras em uma savana brasileira e puderam concluir que sob influência do ENSO, houve diminuição significativa de abundância, dentre todas espécies. Diferente dessas outras espécies, *C. phronius* não é uma praga agrícola, tampouco têm registros de migrações longas, porém é extremamente abundante em áreas como as matas de Restinga, características de zonas litorâneas, onde há espécies pouco exigentes e, também, afetada por variações climáticas (Peixoto, 2005).

Variações climáticas remetem a uma escala perceptível ao homem, i. e., curto prazo (anos ou décadas), enquanto mudanças climáticas faz referência a escala geológica, i.e., longo prazo (centenas, milhares ou milhões de anos) (Rossato, 2014). No entanto, as variações climáticas são relevantes para as mudanças climáticas, uma vez que muitos modelos climáticos afirmam que haverá um aumento nas suas ocorrências (IPCC, 2001). Eventos do ENOS são, frequentemente,

previstos por modelos climáticos, bem como é sabido que o desmatamento em regiões tropicais e o aumento de gases do efeito estufa podem acarretar em variações climáticas (Zhang et al., 1996; Corti et al., 1999; Timmermann et al., 1999; IPCC, 2001). Porém, as projeções desses modelos, muitas vezes, podem apresentar incertezas (Wang et al., 2019).

Em um estudo recente, Wang et al., (2019) classificaram 33 eventos de EN (1901 a 2017) de acordo com a intensidade e a localização das anomalias de TSM no Pacífico. Descobriram que o regime de início do EN mudou sua origem do leste do Pacífico para o oeste, coincidindo com eventos extremos desde então. Dessa forma, sugeriram que a mudança do regime pode surgir a partir de um aquecimento nas águas fundas do Pacífico ocidental e dos gradientes associados ao aumento da TSM zonal e vertical no Pacífico central. Assim, se as mudanças de fundo observadas continuarem sob forças antrópicas, mais eventos fortes de EN estarão propensos a ocorrer. A incerteza, porém, dos modelos nos gradientes projetados da TSM continua sendo um grande obstáculo para previsões mais acuradas. Ademais, segundo IPCC (2001), o aumento dos gases do efeito estufa tende a ocasionar uma situação semelhante a que o EN manifesta no Pacífico.

As regiões tropicais e subtropicais compreendem maior diversidade de insetos quando comparadas as temperadas (Wolda, 1988; Novotny et al., 2006), mas uma incógnita é como as variações climáticas influenciam suas populações (Srygley et al., 2014). As populações de insetos acompanham as mudanças na frequência e amplitude do ENOS, principalmente espécies generalistas. Isso tende a prover um maior entendimento de quais padrões são comuns e como esses animais adaptam-se às mudanças (Kashimoto-Yamada & Itioka, 2015). A fenologia, comportamento e especificidade quanto ao habitat das borboletas são modelos para os efeitos das mudanças ambientais em outras espécies, bem como para entender e prever variações climáticas

(Hellmann, 2002; Parmesan, 2006; Bonebrake et al., 2010), auxiliando no conhecimento da influência das mudanças climáticas atuais na perda da biodiversidade.

Este estudo analisou os picos de abundância da borboleta concluindo que a fase negativa, com presença do ENOS, e a fase neutra, com ausência, demonstraram um crescimento populacional maior do que a fase positiva. No que diz respeito às outras etapas de desenvolvimento no ciclo de vida de *C. phronius*, assim como, em específico, a influência da covariável precipitação no tamanho populacional da espécie, outros resultados, com potencial semelhante, poderiam ser encontrados quando sob influência do fenômeno. Dito isto, nossa hipótese de que o tamanho populacional de *C. phronius* seria influenciado durante os períodos com presença do fenômeno meteorológico ENOS foi corroborada. Na predição de que (i) haveria aumento no crescimento populacional de *C. phronius*, correlacionado com a sazonalidade, durante EN e declínio durante LN, não houve comprovação. Quanto a em (ii) que o aumento anormal nos valores das covariáveis temperatura e/ou umidade promoveria crescimento no tamanho populacional de *C. phronius*, houve comprovação com a umidade.

Para *C. phronius*, as implicações da presença do ENOS são de que a sobrevivência da espécie é altamente sensível às variações climáticas oriundas do fenômeno. Os resultados demonstram, a partir da motivação deste manuscrito, que a borboleta apresenta correlação de abundância com covariáveis climáticas, especialmente a umidade, e, oriundo a isso, que seu ciclo de vida pode ser extremamente afetado por elas, principalmente em períodos de El Niño, resultando em declínio no tamanho populacional.

Referências

- Andreoli, R. V., Oliveira, S. S., Kayano, M. T., Viegas, J., Souza, R. A. F., & Candido, L. A. (2016). The influence of different El Niño types on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*, 37, 1374-1390.
- Anyamba, A., Chretien, J. P., Britch, S. C., Soebiyanto, R. P., Small, J. L., Jepsen, R., Forshey, B. M. J., Sanchez, J. L., Smith, D. R., Harris, R., Tucker, C. J., Karesh, W. B., & Linthicum, K. J. (2019). Global Disease Outbreaks Associated with the 2015–2016 El Niño Event. *Scientific Reports*, 9, 2045-2322.
- Ashok, K., Behera, W., Rao, S. A., & Yamagata, T. (2007). El Niño Modoki and its possible teleconnection. *Journal of Geophysical Research*, 112, C11007.
- Berlato, M. A., Farenzena, H. & Fontana, D. C. (2005). Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 423-432.
- Boggs, C. L.; Watt, W. B; & Ehrlich, P. R. (2003). Butterflies: Ecology and Evolution Taking Flight. In: Parmesan, C. (Ed.) *Butterflies as Bioindicators for Climate Change Effects* (pp. 541-560). Chicago: The University of Chicago.
- Bonebrake, T. C., Ponisio, L. C., Boggs, C. L., & Ehrlich, P. R. (2010). More than just indicators: a review of tropical butterfly ecology and conservation. *Biological Conservation*, 143, 1831-1841.
- Brown, K. S. (1992). Borboletas da Serra do Japi: diversidade, habitats, recursos alimentares e variação temporal. In: MORELLATO, L. P. C. (Ed.). *História Natural da Serra do Japi: Ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil* (pp. 142-187). Campinas: Editora da UNICAMP.
- Brown, K. S., & Freitas, A. V. L. (2000). Atlantic Forest Butterflies: Indicators for Landscape Conservation. *Biotropica*, 32, 934-95.

- Burnham, K. P. & Anderson, D. R. (2002). *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Cavalcanti, I. F. A. (1996). Episódios El Niño / Oscilação Sul Durante a Década de 1986 a 1996 e Suas Influências Sobre o Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A, & Uvo, C. B. (Eds.). *Climanálise Especial – Edição comemorativa de 10 Anos. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos* (pp. 6). Cachoeira Paulista: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ministério de Ciências e Tecnologia.
- Chiodi, A. M., & Harrison, D. (2015). E. Global Seasonal Precipitation Anomalies Robustly Associated with El Niño and La Niña Events—An OLR Perspective. *Journal of Climate*, 28, 6133-6159.
- Coelho, C. A. S., Drumond, A. R. M., & Ambrizzi, T. (1999). Estudo climatológico sazonal da precipitação sobre o Brasil em episódios extremos da Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 14, 49-65.
- Corti, S., Molteni, F., & Palmer, T. N. (1999). Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes. *Nature*, 398, 799-802.
- Cunha, G. R., Pires, J. L. F., Dalmago, G. A., Santi, A., Pasinato, A., Silva, A. A. G., Assad, E. D. & Rosa, C. M. (2011). El Niño/La Niña - Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. *Revista Plantio Direto*, 121.
- Devries, P. J. (1988) Stratification of fruit-feeding nymphalid butterflies in a Costa Rican rainforest. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 26, 98-108.
- Devries, P. J., Murray, D., & Lande, R. (1997) Species diversity in vertical, horizontal, and temporal dimensions of a fruit-feeding butterfly community in an Ecuadorian rainforest. *Biological Journal of the Linnean Society*, 62, 343-364.

- Dingle, H., & Drake, V. A. (2007). What is migration? *Bioscience*, 57, 113-121.
- Embrapa – Laboratório de Agrometeorologia. Estação Agroclimatológica de Pelotas. (2010). Boletim Agroclimatológico. <http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/boletim.php>.
- Faraway, J. J. (2006). *Extending the Linear Model with R: Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models*. Boca Raton, FL: Chapman & Hall.
- Freitas, A. V. L., Leal, I. R., Uehara-Prado, M., & Ianuzzi, L. (2006). Insetos como indicadores de conservação da paisagem. In: Rocha, C. F. D., Bergallo, H. G., Van Sluys, M., & Alves, M. A. S. (Eds.). *Biologia da Conservação: Essências* (pp. 357-384). São Carlos: RiMa Editora.
- Freitas, A. V. L.; Iserhard, C. A.; Pereira, J. S.; Oliveira Carreira, J. Y.; Ribeiro, D. B.; Alves Melo, D. H.; Batista Rosa, A. H.; Marini-Filho, O. J.; Accacio, G. M. & Uehara-Prado, M. (2014). Studies with butterfly bait traps: an overview. *Revista Colombiana de Entomología*, 40, 203-212.
- Gallo, M. C. *Efeito indireto do pastejo exercido pelo gado sobre a diversidade de borboletas frugívoras em matas de Restinga no extremo sul do Brasil*. (2018). Dissertação (Mestrado em Biologia Animal), Instituto de Biologia: Universidade Federal de Pelotas.
- Grimm, A. M., Ferraz, S. E. T., & Gomes, J. (1998). Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 11, 2863-2880.
- Grimm, A. M. (2003). The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, 16, 263-280.
- Hamer, K. C., Hill, J. K., Mustaffa, N., Benedick, S., Sherratt, T. N., Chey, V. K., & Maryati, M. (2005). Temporal variation in abundance and diversity of butterflies in Bornean rain forests: Opposite impacts of logging recorded in different seasons. *Tropical Ecology*, 21, 1-9.

- Hellmann, J. J. (2002). Butterflies as model systems for understanding and predicting climate change. Schneider, S. H. & Root, T. L. (Eds) In: *Wildlife Responses to Climate Change* (pp. 93-126). Washington: Island Press.
- Holmgren, M., Stapp, P., Dickman, C. R., Gracia, C., Graham, S., Gutiérrez, J. R., Hice, C., Jaksic, F., Kelt, D. A., Letnic, M., Lima, M., López, B. C., Meserve, P. L., Milstead, W. B., Polis, G. A., Previtalli, M. A., Richter, M., Sabaté, S., Squeo, F. A. (2006). Extreme climatic events shape arid and semiarid ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4, 87-95.
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific basis. In: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C. A. (Eds) *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 881). Cambridge: Cambridge University Press.
- Jaksic, F. M. (2001). Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South America. *Ecography*, 24, 241-250.
- Janzen, D. H., & Schoeder, T. W. (1967). Differences in insect abundance and diversity between wetter and drier sites during a tropical dry season. *Ecology*, 49, 96-110.
- Kao, H. Y., & YU, J. Y. (2009). Contrasting Eastern-Pacific and Central Pacific Types of ENSO. *Journal of Climate*, 22, 615-632.
- Kashimoto-Yamada, K., & Itioka, T. (2015). How much have we learned about seasonality in tropical insect abundance since Wolda (1988)?. *Entomological Science*, 18, 407-419.
- Laake, J. L.; Johnson, D. S., & Conn, P. B. (2013). Marked: an R package for maximum likelihood and Markov Chain Monte Carlo analysis of capture–recapture data. *Methods in Ecology and Evolution*, 4, 885-890.

- Lau, K. M., & Sheu, P. J. (1988). Annual cycle, quasi biennial oscillation, and Southern Oscillation in global precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 93, 10 975-10 988.
- Mclaughlin, J. F., Hellmann, J. J., Boggs, C. L., & Erlich, P. R. (2002). Climate change hastens population extinctions. *PNAS*, 99, 6070-6074.
- NOAA - Climate.gov. (2009). “Climate Variability: Oceanic Niño Index.”. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-niño-index>.
- NOAA - Climate.gov. (2016a). “State of the Climate: El Niño came, saw, and conquered.”. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/2015-state-climate-el-niño-came-saw-and-conquered>.
- NOAA - Climate.gov. (2016b). “February 2016 El Niño update: Q & A...and some Thursday-morning quarterbacking.”. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/february-2016-el-niño-update-q-a...and-some-thursday-morning-quarterbacking>.
- NOAA - Climate.gov. (2016c). “November 2016 La Niña update: Hello, lady!”. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/november-2016-la-niña-update-hello-lady>.
- NOAA - Climate.gov. (2017). “February 2017 ENSO update: bye-bye, La Niña!”. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/february-2017-enso-update-bye-bye-la-niña>.
- NOAA - Climate.gov. (2018). “June 2018 ENSO Update: El Niño Watch!”. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/june-2018-enso-update-el-niño-watch>.
- NOAA - Climate.gov. (2019). “August 2019 El Niño Update: Stick a fork in it.”. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/august-2019-el-niño-update-stick-fork-it>.

- Novotny, V., Drozd, P., Miller, S. E., Kulfan, M., Janda, M., Basset, Y., & Weiblen, G. D. (2006). Why are there so many species of herbivorous insects in tropical rainforests?. *Science*, 313, 1115-1118.
- Oliveira, N. L., Marcuzzo, F. F. N., & Barros, R. G. (2015). Influência do El Niño e La Niña no número de dias de precipitação pluviométrica no Estado do Mato Grosso. *Ciência e Natura*, 37, 284-297.
- Pardikes, N. A., Shapiro, A. M., Dyer, L. A., & Forister, M. L. (2015). Global weather and local butterflies: variable responses to a large-scale climate pattern along an elevational gradient. *Ecology*, 96, 2891-2901.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637-669.
- Parmesan, C. (2007). Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology*, 13, 1860-1872.
- Paz, A. L. G., Romanowski, H. P., & Morais, A. B. B. (2014). Borboletas frugívoras do centro oeste do Rio Grande do Sul, Brasil (Lepidoptera: Nymphalidae). *SHILAP Revista de Lepidopterologia*, 2, 409-422.
- Peixoto, P. E. C. *Estudos comportamentais de Paryphthimoides phronius (Lepidoptera: Satyrinae)*. (2005). Dissertação (Mestrado em Ecologia), Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.
- Pereira, H. R., Reboita, M. S., & Ambrizzi, T. (2017). Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 293-310.
- Pillar, V. D. P., Müller, S.C., Castilhos, Z. M.de S., & Jacques, A. V. Á. (2009). *Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

- Piovesan, M., Specht, A., Carneiro, E., Paula-Moraes, S. V., & Casagrande, M. M. (2018), Phenological patterns of *Spodoptera Guenée*, 1852 (Lepidoptera: Noctuidae) is more affected by ENSO than seasonal factors and host plant availability in a Brazilian Savanna. *International Journal of Biometeorology*, 62, 413-422.
- Philander, S. G. El Nino, La Nina and the Southern Oscillation. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 1990. 293p.
- Philander, S. G., & Federov, A. (2003). El Niño é esporádico ou cíclico?. *Revisão anual da Terra e Ciências Planetárias*, 31, 579-594.
- Pozo, C., Luis-Martinez, A., Lorente-Bousquets, J., Salas-Suárez, N., Maya-Martínez, A., Vagas-Fernández, I., & Warren, A. D. (2008). Seasonality and phenology of the butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) of Mexico's Calakmul region. *Florida Entomologist*, 91, 407-422.
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Rao, V. B., & Hada, K. (1990). Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42, 81-90.
- Rasmusson, E. M., & Carpenter, T.H. (1982). Variation in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, 110, 54-384.
- Ropelewski, C. H., & Halpert, S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Montly Weather Review*, 115, 1606-1626.
- Rossato, M. S. *Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e topologia*. 2011. Tese (Doutorado em Geografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Silva, G. A. M., Ambrizzi, T., & Marengo, J. A. (2009). Observational evidences on the modulation of the South American Low-Level Jet east of the Andes according the ENSO variability. *Annales Geophysicae*, 27, 645-657.
- Srygley, R. B., Dudley, R., Oliveira, E. G., Aizprua, R., Pelaez, N. Z., & Riveros, A. J. (2010). El Niño and dry season rainfall influence hostplant phenology and an annual butterfly migration from Neotropical wet to dry forests. *Global Change Biology*, 16, 936-945.
- Srygley, R. B., Dudley, R., Oliveira, E. G., & Riveros, A. J. (2014). El Niño, Host Plant Growth, and Migratory Butterfly Abundance in a Changing Climate. *Biotropica*, 46, 90-97.
- Timmermann, J., Oberhuber, J., & Bachar, A. (1999). Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature*, v. 398, p. 694-697, 1999.
- Vandenbosch, R. (2003). Fluctuations of *Vanessa cardui* butterfly abundance with El Niño and Pacific Decadal Oscillation climatic variables. *Global Change Biology*, 9, 785-790.
- Veloso, H. P., Rangel Filho, A. L. R., & Lima, J. C. A (1991). Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. <http://www.cpact.embrapa.br/agromet/estacao/mensal.html>.
- Viegas, J., Andreoli, R. V., Kayano, M. T., Candido, L. A., Souza, R. A. F., Hall, D. H., Souza, A. C., Garcia, S. R., Temoteo, G. G., & Valentin, W. I. D. (2019). Caracterização dos Diferentes Tipos de El Niño e seus Impactos na América do Sul a Partir de Dados Observados e Modelados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34, 43-67.
- Wang, B., Luo, X., Yang, Y.-M., Sun, W., Cane, M. A., Cai, W., & Yeh, S.-W. (2019). Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. *PNAS*, 116, 22512-22517.
- Wolda, H. (1998). Insect seasonality: why? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 19, 1-18.

Zhang, H., Henderson-Sellers, A., & Mcguffie, K. (1996). Impacts of tropical deforestation: Part I: Process analysis of local climatic change. *Journal of Climate*, 9, 1497-1517.

4 Considerações Finais

Neste estudo, nossa hipótese de que o tamanho populacional de *C. phronius* seria influenciado durante os períodos com presença do fenômeno meteorológico ENOS foi corroborada. A predição de que haveria (i) maior atividade dos indivíduos adultos em fase positiva (EN) e o oposto em fase negativa (LN) não foi corroborada, assim como a em que haveria (ii) crescimento populacional durante EN e declínio em LN. De acordo com os resultados obtidos em LN e em período neutro, há um maior crescimento populacional e, conseqüentemente, maior atividade dos indivíduos adultos do que durante EN, que indica declínio populacional. *C. phronius* apresenta correlação de abundância com covariáveis climáticas, especialmente umidade, e, oriundo a isso, seu ciclo de vida pode ser extremamente afetado por elas, principalmente em períodos de EN. Dito isto, para a espécie as implicações da presença do ENOS são de que sua sobrevivência é altamente sensível às variações climáticas resultantes do fenômeno.

No que diz respeito às outras etapas de desenvolvimento no ciclo de vida de *C. phronius*, assim como a influência de outras covariáveis no tamanho populacional da espécie, em específico a precipitação, outros resultados, com potencial semelhante, seriam encontrados quando sob influência do fenômeno. Além disso, estudos de correlação das anomalias oriundas do ENOS com o tamanho populacional de outros insetos bioindicadores, abundantes, multivoltinos, sazonais, locais e de fácil amostragem em regiões subtropicais poderiam apresentar informações similares aos resultados obtidos neste estudo. No presente momento, *C. phronius* pode servir de modelo para outras espécies neotropicais e isso torna-se muito relevante para essas conclusões.

Para mais, os resultados encontrados aqui enfatizam a necessidade de atenção à incidência dos fenômenos naturais no extremo sul do Brasil, em específico nas matas de Restinga. Senda essa uma região subtropical que compreende em sua formação dois Biomas (Pampa e Mata Atlântica) e possui fauna residente e migratória de extrema importância para o ecossistema. Porém, pode apresentar vulnerabilidade na sobrevivência quando sob efeito de variações climáticas provenientes de fenômenos naturais e a oscilação da intensidade dos mesmos quando potencializados por ações antrópicas.

Referências

- BEHLING, H.; PILLAR, V. P., ORLÓCI, L.; BAUERMANN, S.G. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (campos), Fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 203, p. 277-297, 2004.
- BENCKE, G. A. Diversidade e conservação da fauna dos campos do sul do Brasil. Campos Sulinos – conservação e uso sustentável da biodiversidade. In: PILLAR, V. P.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (Eds.). **Ministério do Meio Ambiente**. Brasília, 2009. p. 101-121.
- BOGGS, C. L.; WATT, W. B; EHRLICH, P. R. Butterflies: Ecology and Evolution Taking Flight. In: PARMESAN, C. (Ed.) **Butterflies as Bioindicators for Climate Change Effects**. Chicago: The University of Chicago, 2003. p. 541-560.
- BONEBRAKE, T. C.; PONISIO, L. C.; BOGGS, C. L.; EHRLICH, P. R. More than just indicators: a review of tropical butterfly ecology and conservation. **Biological Conservation**, v. 143, p. 1831-1841, 2010.
- BROWN, K. S. Borboletas da Serra do Japi: diversidade, habitats, recursos alimentares e variação temporal. In: MORELLATO, L. P. C. (Ed.). **História Natural da Serra do Japi: Ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1992. p. 142-187.
- BROWN, K. S.; FREITAS, A. V. L. Atlantic Forest Butterflies: Indicators for Landscape Conservation. **Biotropica**, v. 32, p. 934-95, 2000.
- CARDINALE, B. J.; DUFFY, J. E.; GONZALEZ, A.; HOOPER, D.U.; PERRINGS, C.; VENAIL, P.; NARWANI, A.; MACE, G. M.; TILMAN, D.; WARDLE, D. A. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, p. 59, 2012.
- CASWELL, H. Community structure: a neutral model analysis. **Ecological Monographs**, v. 46, p. 327-354, 1976.
- CLEARY, D. F. R.; FAUVELOT, C.; GENNER, M. J.; MENKEN, S. B. J.; MOOERS, A. Parallel responses of species and genetic diversity to El Niño Southern Oscillation-induced environmental destruction. **Ecology Letters**, v. 9, p. 304-310, 2006.
- DEVRIES, P. J. Stratification of fruit-feeding nymphalid butterflies in a Costa Rican rainforest. **Journal of Research on the Lepidoptera**, v. 26, p. 98-108, 1988.
- DEVRIES, P. J.; MURRAY, D.; LANDE, R. Species diversity in vertical, horizontal, and temporal dimensions of a fruit-feeding butterfly community in an Ecuadorian rainforest. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 62, p. 343-364, 1997.

DEVRIES, P. J.; WALLA, T. R. Species diversity and community structure in neotropical fruit-feeding butterflies. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 74, p. 1-15, 2001.

DEVRIES, P. J.; ALEXANDER, L. G.; CHACON, I. A.; FORDYCE, J. A. Similarity and difference among rainforest fruit-feeding butterfly communities in Central and South America. **Journal of Animal Ecology**, v. 81, p. 472-482, 2012.

DUARTE, M.; MARCONATO, G.; SPECHT, A.; CASAGRANDE, M. M. Lepidoptera. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (Eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, 2012. p. 625-682.

FALKENBERG, D.B. Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, Sul do Brasil. **Insula**, v. 28, p. 1-30, 1999.

FREITAS, A. V. L., LEAL, I. R., UEHARA-PRADO, M.; IANUZZI, L. Insetos como indicadores de conservação da paisagem. In: ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M. A. S. (Eds.). **Biologia da Conservação: Essências**. São Carlos: RiMa Editora. 2006. p. 357-384.

FREITAS, A. V. L.; ISERHARD, C. A.; PEREIRA, J. S.; OLIVEIRA CARREIRA, J. Y.; RIBEIRO, D. B.; ALVES MELO, D. H.; BATISTA ROSA, A. H.; MARINI-FILHO, O. J.; ACCACIO, G. M.; UEHARA-PRADO, M. Studies with butterfly baittraps: an overview. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 40, p. 203-212, 2014.

GHAZOUL, J. Impact of logging on the richness and diversity of forest butterflies in a tropical dry forest in Thailand. **Biodiversity and Conservation**, v. 11, p. 521-541, 2002.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.

HAMER, K. C.; HILL, J. K.; MUSTAFFA, N.; BENEDICK, S.; SHERRATT, T. N.; CHEY, V. K.; MARYATI, M. Temporal variation in abundance and diversity of butterflies in Bornean rain forests: Opposite impacts of logging recorded in different seasons. **Tropical Ecology**, v. 21, p. 1-9, 2005.

HAWKSWORTH, D. L. Biodiversity and conservation of insects and other invertebrates. **Biodiversity Conservation**, v. 20, p. 2863-2866, 2011.

ISERHARD, C. A.; ROMANOWSKI, H. P.; RICHTER, A.; MENDONÇA, M. de S. Monitoring Temporal Variation to Assess Changes in the Structure of Subtropical Atlantic Forest Butterfly Communities. **Environmental Entomology**, v. 46, p. 804-813, 2017.

JANZEN, D. H.; SCHOEDER, T. W. Differences in insect abundance and diversity between wetter and drier sites during a tropical dry season. **Ecology**, v. 49, p. 96-110, 1967.

LANDE, R. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. **Oikos**, v. 76, p. 5-13, 1996.

MAGURRAN, A. E. Measuring biological diversity in time and space. In: MAGURRAN, A. E.; MCGILL, B. J. (Eds.). **Biological Diversity: Frontiers in measurement and assessment**. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press. 2011, p. 85-96.

MELO SILVA, A. R.; CASTRO, C. O.; MAFIA, P. O.; MENDONÇA, M. O. C.; ALVES, T. C. C.; BEIRÃO, M. V. Borboletas frugívoras (Lepidoptera: Nymphalidae) de uma área urbana (Área de Proteção Especial Manancial Cercadinho) em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 12, p. 292-297, 2012.

MORAIS, A. B.; ROMANOWSKI, H. P.; MARCHIORI, M. O.; ISERHARD, C. A.; SEGUI, R. Mariposas del sur de Sudamérica (Lepidoptera: Hesperioidea y Papilionoidea). **Ciência Ambiental**, v. 35, p. 29-46, 2007.

NICE, C. C.; FORISTER, M. L.; GOMPERT, Z.; FORDYCE, J. A.; SHAPIRO, A. M. A hierarchical perspective on the diversity of butterfly species' responses to weather in the Sierra Nevada Mountains. **Ecology**, v. 95, p. 2155-2168, 2014.

PARDIKES, N. A.; SHAPIRO, A. M.; DYER, L. A.; FORISTER, M. L. Global weather and local butterflies: variable responses to a large-scale climate pattern along an elevational gradient. **Ecology**, v. 96, p. 2891-2901, 2015.

PAZ, A. L. G.; ROMANOWSKI, H. P.; MORAIS, A. B. B. Borboletas frugívoras do centro oeste do Rio Grande do Sul, Brasil (Lepidoptera: Nymphalidae). **SHILAP Revista de Lepidopterología**, v. 42, p. 409-422, 2014.

PEIXOTO, P. E. C. **Estudos comportamentais de *Cissia phronius* (Lepidoptera: Satyrinae)**. 2005. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z. M.de S.; JACQUES, A. V. Á. **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2009. p. 101-121.

PIOVESAN, M.; SPECHT, A.; CARNEIRO, E.; PAULA-MORAES, S. V.; CASAGRANDE, M. M. Phenological patterns of *Spodoptera* Guenée, 1852 (Lepidoptera: Noctuidae) is more affected by ENSO than seasonal factors and host plant availability in a Brazilian Savanna. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, p. 413-422, 2018.

POZO, C.; LUIS-MARTINEZ, A.; LORENTE-BOUSQUETS, J.; SALAS-SUÁREZ, N.; MAYA-MARTÍNEZ, A.; VAGAS-FERNÁNDEZ, I.; WARREN, A. D. Seasonality and phenology of the butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) of Mexico's Calakmul region. **Florida Entomologist**, v. 91, p. 407-422, 2008.

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, p. 1141-1153, 2009.

ROESCH, L. F. W.; VIEIRA, F. C. B.; PEREIRA, V. A.; SCHÜNEMANN, A. L.; TEIXEIRA, I. F.; SENNA, A. J. T.; STEFENON, V. M. The Brazilian Pampa: a fragile biome. **Diversity**, v. 1, p. 182-198, 2009.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1606-1626, 1987.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e topologia**. 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 2011.

SANTOS, J. P.; ISERHARD, C. A.; TEIXEIRA, M. O.; ROMANOWSKI, H. P. Fruit-feeding butterflies guide of subtropical Atlantic Forest and Araucaria Moist Forest in State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 253-274, 2011.

SRYGLEY, R. B.; DUDLEY, R.; OLIVEIRA, E. G.; AIZPRUA, R.; PELAEZ, N. Z.; RIVEROS, A. J. El Niño and dry season rainfall influence hostplant phenology and an annual butterfly migration from Neotropical wet to dry forests. **Global Change Biology**, v. 16, p. 936-945, 2010.

SRYGLEY, R. B.; DUDLEY, R.; OLIVEIRA, E. G.; RIVEROS, A. J. El Niño, Host Plant Growth, and Migratory Butterfly Abundance in a Changing Climate. **Biotropica**, v. 46, p. 90-97, 2014.

VANDENBOSCH, R. Fluctuations of *Vanessa cardui* butterfly abundance with El Niño and Pacific Decadal Oscillation climatic variables. **Global Change Biology**, v. 9, p. 785-790, 2003.

WILSON, E. O. A situação atual da diversidade biológica. In: E.O. WILSON, E. O.; PETER, F. M. (Eds). **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira. 1997. p. 3-24.

WOLDA, H. Insect seasonality: why?. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 19, p. 1-18, 1988.