

Universidade Federal de São João del-Rei

Departamento de Ciências Naturais

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Comunidade de borboletas de campo rupestre: diversidade e efeito da  
assimetria flutuante ao longo de um gradiente altitudinal

Nathália Ribeiro Henriques

São João del-Rei

2017

Nathália Ribeiro Henriques

Comunidade de borboletas de campo rupestre: diversidade e efeito da  
assimetria flutuante ao longo de um gradiente altitudinal

Orientadora: Dra. Tatiana Garabini Cornelissen

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ecologia da  
Universidade Federal de São João del-Rei,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de mestre.

São João del-Rei

2017

Nome: Nathália Ribeiro Henriques

Título: Comunidade de borboletas de campo rupestre: diversidade e efeito da  
assimetria flutuante ao longo de um gradiente altitudinal

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ecologia da  
Universidade Federal de São João del-Rei,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de mestre.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dra. Tatiana Garabini Cornelissen (Orientadora)

Universidade Federal de São João del-Rei

(Assinatura)

Dra. Marina do Vale Beirão (membro titular)

Universidade Federal de Ouro Preto

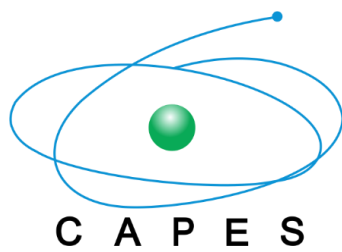
(Assinatura)

Dra. Livia Mendes de Carvalho (membro titular)

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG)

(Assinatura)

Financiamento:



Apoio e Colaborações



## **Agradecimentos**

Agradeço às minhas irmãs Lethícia e Ana, à Mamis e ao Papi. A vocês toda a gratidão do mundo pelo amor e apoio incondicionais. Só tenho a agradecer por tudo que vocês representam e fazem por mim. Todas as minhas vitórias são de vocês! Amo vocês!

À mamãe acadêmica, borboleta rainha, orientadora e amiga, Tatiana Cornelissen, que além de ser um exemplo de mulher e profissional, me apoiou e teve paciência comigo em todos os momentos (da dissertação e da vida!).

Aos grandes amigos do quarto andar + 1: Anne, Caio, Matheus e Sthael, obrigada! Vocês foram meu motivo de felicidade em São João del-Rei! Cada momento com vocês foi inesquecível e levo vocês para a vida toda. Amo muito todos vocês!

Aos melhores amigos à distância que existem, Suri e Chica, aquele muito obrigada pela amizade de tanto tempo, por me fazerem feliz e por me ajudarem em todos os momentos de crise! Aos saudosos amigos Chiquinho, Flávio e Rick, por tantas lembranças lindas de amizade verdadeira e por terem me ajudado a ser quem eu sou hoje. Sinto saudade de todos vocês todos os dias!

Aos amigos do PGE: Glauco (Zé), Ju, Elismara e Cássio, por todo o companheirismo, união, desesperos em conjunto e amizade que eu vou levar para sempre! Desejo de coração todo o sucesso do mundo para vocês! Uma vida sem tretas para todos nós e Hakuna Matata!

Aos amigos do LEVIN, o melhor laboratório que existe, um mega obrigada por todos os momentos de parceria e aquela ajuda na hora das coletas! Em especial ao Ello: somos a melhor dupla! # Saudades cafofo.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFSJ.

A todos que fizeram parte dessa jornada junto comigo: Conseguimos!

## Sumário

Resumo Geral.....	1
Abstract .....	3
Introdução Geral.....	5
Referências Bibliográficas.....	8

### Capítulo 1 – Riqueza, diversidade e composição específica da comunidade de borboletas de campo rupestre ao longo de um gradiente altitudinal

Resumo .....	10
Abstract .....	12
Introdução .....	14
Materiais e Métodos.....	16
Área de estudo.....	16
Coleta de dados.....	18
Análise de dados .....	19
Resultados .....	20
Discussão .....	30
Referências Bibliográficas .....	36

### Capítulo 2 – Assimetria flutuante de borboletas de campo rupestre ao longo de um gradiente altitudinal tropical

Resumo .....	41
Abstract .....	43

Introdução .....	45
Materiais e Métodos.....	48
Área de estudo .....	48
Coleta de dados.....	50
Análise de dados .....	51
Resultados .....	54
Discussão .....	57
Referências Bibliográficas .....	61
Conclusão Geral .....	65

## Resumo Geral

Insetos são o grupo mais diverso de organismos terrestres, mas os padrões de riqueza e abundância de insetos no Cerrado e nos Campos Rupestres brasileiros são ainda pouco conhecidos. Em Minas Gerais já foram encontradas mais de 1.500 espécies de borboletas, mas ainda são escassas as informações sobre esse grupo em várias regiões do Estado e, principalmente, em regiões montanhosas. O objetivo deste estudo foi avaliar a variação na riqueza, diversidade e composição específica da comunidade de borboletas em um gradiente altitudinal e analisar o efeito da altitude na assimetria das asas das borboletas, testando a hipótese que a assimetria flutuante (AF) é um indicativo de estresse ambiental e deve estar positivamente correlacionada com a altitude em ambientes montanhosos. As borboletas foram amostradas principalmente por coleta ativa em um gradiente de 800 a 1.400 m de altitude na Serra de São José – MG. Foi confeccionada uma lista de espécies e estas foram avaliadas quanto à composição específica através das diversidades  $\alpha$  e  $\beta$ , quanto à frequência pela classificação em espécies raras e quanto à distribuição ao longo do gradiente através de GLM. A AF foi verificada pela medição dos caracteres comprimento e largura nas asas direita e esquerda. Foi registrado um total de 636 borboletas distribuídas em 107 espécies, pertencentes a seis famílias. A maior riqueza ( $n = 63$ ) e abundância ( $n = 326$ ) foi representada pela família Nymphalidae. Somente duas espécies (*Actinote genitrix*, Nymphalidae e *Pyrisitia nise*, Pieridae) tiveram ocorrência nas sete cotas altitudinais. A diversidade  $\alpha$  foi menor que a esperada e a  $\beta$  maior que a esperada. A composição de espécies se mostrou bastante distinta ao longo do gradiente e a distribuição das mesmas não apresentou um padrão em relação à altitude. Quase metade das espécies amostradas (48,6%) foram classificadas como raras e o restante como intermediárias, não havendo nenhuma espécie comum, o que sugere que a Serra de São José seja importante para a



conservação deste grupo de insetos. Para a AF foram analisadas asas de 370 borboletas, pertencentes a 29 espécies. A distribuição da frequência de valores dos caracteres direito-esquerdo e teste-t das amostras indicaram padrões verdadeiros de AF no comprimento e largura das asas. Entretanto, diferentemente do esperado, não houve relação da assimetria com a altitude para a comunidade de borboletas da Serra de São José. A AF foi eficiente na detecção da instabilidade indicada por imperfeições nas asas das borboletas, mas o fato da assimetria não ter apresentado relação com a altitude indica que ela sozinha não foi capaz de funcionar como fonte de estresse ambiental. Outros fatores, que não a altitude, exercem maior influência na assimetria dessa comunidade de borboletas e devem ser investigados. Este foi o primeiro estudo da comunidade de borboletas da Serra de São José e é pioneiro também na microrregião de São João del-Rei do Campo das Vertentes, além de ter sido o primeiro a realizar análises de AF para uma comunidade de borboletas.

## Abstract

The invertebrate fauna of the Cerrado is one of the least known of the phytogeographical domains. In Minas Gerais, more than 1.500 species of butterflies have been found, but information about them is still scarce in several regions of the state and, especially, in mountains. Therefore, the aim of this study was to examine the variation in richness, diversity and specific composition of the butterfly community in an altitudinal gradient and to analyze the effects of altitude on the asymmetry of butterfly wings, testing the hypothesis that fluctuating asymmetry (FA) is an indicative of environmental stress and should be positively correlated with altitude in mountainous environments. The butterflies were collected mainly by active sampling on a gradient of 800 to 1.400 m altitude in the Serra de São José - MG. A list of species was prepared and these were evaluated for the specific composition through the  $\alpha$  and  $\beta$  diversities, regarding the frequency by the classification of rare species and the distribution along the gradient through GLM. The FA was checked by measuring the length and width characters on the right and left wings of butterflies sampled along the altitudinal gradient. A total of 636 butterflies were registered in 107 species belonging to six families. The greatest richness ( $n = 63$ ) and abundance ( $n = 326$ ) were represented by the Nymphalidae family. Only two species (*Actinote genitrix*, Nymphalidae and *Pyrisitia nise*, Pieridae) exhibited occurrence in all seven altitudinal points. The  $\alpha$  diversity was lower than expected and  $\beta$  greater than expected. The composition of species was quite distinct along the gradient and its distribution did not exhibited any significant pattern in relation to the altitude. Almost half of the species sampled (48.6%) were classified as rare and the rest as intermediate, with no common species, suggesting that the Serra de São José is an important area for the conservation of the butterfly community. For the FA analysis, 370 butterflies were measured, belonging to 29 species. The frequency of distribution of

signed right minus left and test-t character values of the samples indicated true patterns of FA in the length and width of the wings. However, there was no relationship between FA and altitude for these butterflies. FA was efficient in detecting the instability indicated by imperfections in the wings of butterflies, but the fact that the asymmetry exhibited no relationship with altitude indicates that altitude alone was not enough to function as a source of environmental stress. Other factors, not the altitude, probably exerted a greater influence on the asymmetry of this community of butterflies and should be investigated. This was the first study of the butterflies community of the Serra de São José and is also a pioneer in the micro region of São João del-Rei do Campo das Vertentes, besides being the first to perform FA analyses for a community of butterflies.

## Introdução Geral

As borboletas representam cerca de 13% dos lepidópteros e estão divididas em seis famílias: HesperIIDae, Lycaenidae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae e Riodinidae, dentro das superfamílias Hesperoidea e Papilionoidea (Lemes *et al.* 2008, Carvalho *et al.* 2013). Podem se alimentar de frutos, néctar, secreções e seiva, e são separadas em duas grandes guildas de acordo com sua forma de alimentação na fase adulta (Sawchik *et al.* 2003, Araújo & Paprocki 2015): as borboletas frugívoras compreendem mais da metade dos representantes de Nymphalidae e as nectarívoras são encontradas em todas as famílias, incluindo também algumas espécies de Nymphalidae (DeVries *et al.* 1997).

As cores e formatos das borboletas fazem destas um grupo carismático, que atrai pesquisadores e sensibiliza a população para atividades de educação e conservação do ambiente, podendo também serem utilizadas como espécies bandeira para a proteção do ecossistema em que vivem (Freitas 2010, Santos *et al.* 2011). As borboletas são fáceis de reconhecer, quando comparadas a outros grupos de artrópodes, o que se mostra eficiente no estímulo às pesquisas com estes animais (Van Swaay *et al.* 2008).

O Brasil abriga quase metade da riqueza conhecida de borboletas neotropicais, possuindo mais de 3.000 espécies (Giovenardi *et al.* 2008, Ritter *et al.* 2011), e grande parte das espécies registradas para o país são encontradas na Mata Atlântica (Uehara-Prado *et al.* 2004, Santos *et al.* 2011, Morais *et al.* 2012). Por ser um país com estações bem delimitadas, o ciclo de vida e o comportamento dos insetos são diretamente influenciados pela sazonalidade e alterações climáticas (Forister & Shapiro 2003, Sawchik *et al.* 2003, Fernandes *et al.* 2016). Para as áreas de Cerrado e fitofisionomias de Cerrado no Brasil, poucas são as espécies endêmicas listadas e ainda existem

incertezas quanto a real relação das variações climáticas com a abundância de lepidópteros (Bogiani *et al.* 2012, Nobre *et al.* 2012).

Para estudos de impacto e integridade do ambiente, alguns grupos apresentam características desejáveis para serem considerados indicadores biológicos. Dentre eles, as borboletas se mostram como um dos modelos mais adequados de bioindicação (Thomas 2005, Devictor *et al.* 2012) por possuírem ciclo de vida curto, apresentarem respostas rápidas a perturbações no ambiente e serem sensíveis a variações ambientais (Freitas *et al.* 2006, Uehara-Prado *et al.* 2009).

Para determinar a qualidade de um ambiente e compreender as interações que nele ocorrem é primordial o acesso a um conhecimento mínimo sobre a diversidade local (Silva *et al.* 2007, Nobre *et al.* 2008). Um levantamento de espécies realizado com identificações precisas pode ser de grande valor para trabalhos posteriores, uma vez que norteiam as possibilidades de ocorrência de determinadas espécies em dada região. Muitas espécies podem auxiliar na criação de reservas ecológicas e áreas protegidas (Iserhard & Romanowski 2004, Bustos 2008, Mielke *et al.* 2008), além de fornecer dados básicos sobre distribuição, abundância e ocorrência.

Os principais locais de pesquisas com borboletas em Minas Gerais são unidades de conservação (Araújo & Paprocki 2015). Os Campos Rupestres, uma fitofisionomia ocorrente em gradientes de altitude neste estado, são reconhecidos por sua grande biodiversidade e presença de espécies endêmicas (Rapini *et al.* 2008). Entretanto, são raros os estudos de lepidópteros nestas fitofisionomias e pouco se sabe sobre os padrões de ocorrência destes organismos e qual influência a altitude e outros fatores abióticos exercem sobre as comunidades.

Portanto, o conhecimento da biodiversidade é o primeiro passo para políticas de preservação das populações de borboletas (Bogiani *et al.* 2012), além de gerar dados para

embasar pesquisas futuras (Dolibaina *et al.* 2011, Carvalho *et al.* 2013). Contudo, embora tais estudos sejam fortemente estimulados pelos pesquisadores, estas informações ainda são insuficientes em várias regiões do país (Uehara-Prado *et al.* 2004, Dolibaina *et al.* 2011, Uehara-Prado & Ribeiro 2012). No Campo das Vertentes, onde está localizada a Área de Proteção Ambiental da Serra de São José em Minas Gerais, a fauna de borboletas local é totalmente desconhecida.

Neste contexto, este estudo foi dividido em dois capítulos: o primeiro trata da diversidade e distribuição de uma comunidade de borboletas ao longo do gradiente altitudinal da Serra de São José – MG e o segundo trata da influência que este gradiente exerce nas borboletas, e mostra como a assimetria flutuante pode ser usada como uma medida de estresse ambiental em comunidades. O objetivo geral foi avaliar a variação na riqueza, diversidade e composição específica da comunidade de borboletas neste gradiente e analisar o efeito da altitude na assimetria das asas das borboletas, testando a hipótese que a assimetria flutuante é um indicativo de estresse ambiental e deve estar positivamente correlacionada com a altitude em ambientes montanhosos.

## Referências

- Araújo MC, Paprocki H. 2015. Lista de Lepidoptera do Parque Ecológico Felisberto Neves, Betim, Minas Gerais. *Sinapse Múltipla* 4: 1-15.
- Bogiani PA, Aranda R, Machado COF. 2012. Riqueza de Borboletas (Lepidoptera) em um Fragmento Urbano de Cerrado em Mato Grosso do Sul, Brasil. *EntomoBrasilis* 5: 93-98.
- Bustos EON. 2008. Diversidad de mariposas diurnas en la Reserva Privada Yacutinga, Provincia de Misiones, Argentina (Lepidoptera: Hesperioidea y Papilionoidea). *Tropical Lepidoptera Research* 18: 78-87.
- Carvalho APS, Gottschalk MS, Morais ABB. 2013. Identificação de Catalogação de Borboletas (Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) da Coleção Entomológica da Universidade Federal do Rio Grande. *EntomoBrasilis* 6: 227-231.
- Devictor V, Van-Swaay C, Brereton T, Brotons L, Chamberlain D, Heliölä J, Herrando S, Julliard R, Kuussaari M, Lindström A, Reif J, Roy DB, Schweiger O, Settele J, Stefanescu C, Strien AV, Turnhout CV, Vermouzek Z, Wallis-de-Vries M, Wynhoff I, Jiquet F. 2012. Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change* 2: 121-124.
- DeVries PJ, Murray D, Lande R. 1997. Species diversity in vertical, horizontal, and temporal dimensions of a fruit-feeding butterfly community in a Ecuadorian rainforest. *Biological Journal of the Linnean Society* 62: 343-364.
- Dolibaina DR, Mielke OHH, Casagrande MM. 2011. Borboletas (Papilionoidea e Hesperioidea) de Guarapuava e arredores, Paraná, Brasil: um inventário com base em 63 anos de registros. *Biota Neotropica* 11: 341-354.
- Fernandes GW, Almeida HA, Nunes CA, Xavier JHA, Cobb NS, Carneiro MAA, Cornelissen T, Neves FS, Ribeiro SP, Nunes YRF, Pires ACV, Beirão MV. 2016. Cerrado to Rupestrian Grasslands: Patterns of Species Distribution and the Forces Shaping Them Along an Altitudinal Gradient. In: *Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil*. Springer, São Paulo, p. 345-377.
- Forister ML, Shapiro AM. 2003. Climatic trends and advancing spring flight of butterflies in lowland California. *Global Change Biology* 9: 1130-1135.
- Freitas AVL, Leal IR, Uehara-Prado M, Iannuzzi L. 2006. Insetos como indicadores de conservação da paisagem. In: *Biologia da conservação: essências*. Rima, São Carlos, p. 357-384.
- Freitas AVL. 2010. Impactos potenciais das mudanças propostas no Código Florestal Brasileiro sobre as borboletas. *Biota Neotropica* 10: 53-58.
- Giovenardi R, Di Mare RA, Sponchiado J, Roani SH, Jacomassa FAF, Jung AB, Porn MA. 2008. Diversidade de Lepidoptera (Papilionoidea e Hesperioidea) em dois fragmentos de floresta no município de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia* 52: 599-605.
- Iserhard CA, Romanowski HP. 2004. Lista de espécies de borboletas (Lepidoptera, Papilionoidea e Hesperioidea) da região do vale do rio Maquiné, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 21: 649-662.
- Lemes R, Ritter CD, Morais ABB. 2008. Borboletas (Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) visitantes florais no Jardim Botânico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. *Biotemas* 21: 91-98.

- Mielke OHH, Emery EO, Pinheiro CEG. 2008. As borboletas HesperIIDae (Lepidoptera, Hesperioidea) do Distrito Federal, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia* 52: 283-288.
- Morais ABB, Lemes R, Ritter CD. 2012. Borboletas (Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) de Val de Serra, região central do Rio Grande do Sul, Brasil. *Biota Neotropica* 12: 1-9.
- Nobre CEB, Iannuzzi L, Schlindwein C. 2012. Seasonality of Fruit-Feeding Butterflies (Lepidoptera, Nymphalidae) in a Brazilian Semiarid Area. *ISRN Zoology* 2012: 1-8.
- Nobre CEB, Schlindwein C, Mielke OH. 2008. The butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) of the Catimbau National Park, Pernambuco, Brazil. *Zootaxa* 1751: 35-45.
- Rapini A, Ribeiro PL, Lambert S, Pirani JR. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade* 4: 15-23.
- Ritter CD, Lemes R, Morais ABB, Dambros CS. 2011. Borboletas (Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) de fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biota Neotropica* 11: 361-368.
- Santos JP, Iserhard CA, Teixeira MO, Romanowski HP. 2011. Fruit-feeding butterflies guide of subtropical Atlantic Forest and Araucaria Moist Forest in State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Biota Neotropica* 11: 253-274.
- Sawchik J, Dufrêne M, Lebrun P. 2003. Estimation of habitat quality based on plant community, and effects of isolation in a network of butterfly habitat patches. *Acta Oecologica* 24: 25-33.
- Silva ARM, Landa GG, Vitalino RF. 2007. Borboletas (Lepidoptera) de um fragmento de mata urbano em Minas Gerais, Brasil. *Lundiana* 8: 137-142.
- Thomas JA. 2005. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of The Royal Society* 360: 339-357.
- Uehara-Prado M, Fernandes JO, Bello AM, Machado G, Santos AJ, Vaz-de-Mello FZ, Freitas AVL. 2009. Selecting terrestrial arthropods as indicators of small-scale disturbance: A first approach in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation* 142: 1220-1228.
- Uehara-Prado M, Freitas AVL, Francini RB, Brown KSJr. 2004. Guia das borboletas frugívoras da Reserva Estadual do Morro Grande e região de Caucaia do Alto, Cotia (São Paulo). *Biota Neotropica* 4: 1-25.
- Uehara-Prado M, Ribeiro DB. 2012. Borboletas em Floresta Atlântica: métodos de amostragem e inventário de espécies na Serra do Itapeti. Pp. 167-186. In: Morini MSC, Miranda VFO. Serra do Itapeti: aspectos históricos, sociais e naturalísticos. Bauru: Canal6, v 1, 400 p.
- Van Swaay CAM, Nowicki P, Settele J, Van Strien AJ. 2008. Butterfly monitoring in Europe: methods, applications and perspectives. *Biodiversity and Conservation* 17: 3455-3469.



**Capítulo I:** Riqueza, diversidade e composição específica da comunidade de borboletas de campo rupestre ao longo de um gradiente altitudinal

**Nathália Ribeiro Henriques<sup>1\*</sup> e Tatiana Garabini Cornelissen<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade Federal de São João del-Rei. \*h.nathaliaribeiro@gmail.com*

---

**Resumo**

Ambientes com altitudes elevadas apresentam variações climáticas e diferenças na disponibilidade de recursos que podem alterar a distribuição de organismos ao longo do gradiente. Estas variações exercem influência sobre a composição, riqueza e abundância de espécies, mas ainda existem poucas informações sobre borboletas em gradientes altitudinais. Este estudo teve como objetivo avaliar a variação na riqueza, diversidade e composição específica da comunidade de borboletas ao longo do gradiente altitudinal da Serra de São José, Minas Gerais. Foram amostradas sete cotas altitudinais que variam de 800 a 1.400 m, onde as borboletas foram amostradas principalmente por coleta ativa, tendo sido realizadas repetições horizontais por esforço-hora. Foi confeccionada uma lista de espécies e a avaliação da composição específica foi testada através da análise de diversidades  $\alpha$  e  $\beta$ . A frequência das espécies foi verificada pela classificação de espécies raras (*singletons*, *doubletons*, *uniques* e *duplicates*) e foram utilizados GLM para avaliar a distribuição ao longo do gradiente. Foi registrado um total de 636 borboletas distribuídas em 107 espécies, pertencentes a seis famílias. A maior riqueza ( $n = 63$ ) e abundância ( $n = 326$ ) foi representada pela família Nymphalidae. Somente duas espécies (*Actinote genitrix*, Nymphalidae e *Pyrisitia nise*, Pieridae) tiveram ocorrência nas sete cotas altitudinais. A diversidade  $\alpha$  foi menor que a esperada e a  $\beta$  maior que a esperada.

A composição de espécies se mostrou bastante distinta ao longo do gradiente mas a distribuição das mesmas não apresentou um padrão em relação à altitude. Quase metade das espécies amostradas (48,6%) foram classificadas como raras e o restante como intermediárias, não havendo nenhuma espécie comum, o que sugere que a Serra seja importante para a preservação desta comunidade. Este foi o primeiro estudo da comunidade de borboletas da Serra de São José, e também é pioneiro na microrregião de São João del-Rei do Campo das Vertentes.

**Palavras-Chave:** Altitude, Biodiversidade, Cerrado, Insetos, Lepidoptera, Serra de São José.

Richness, diversity and species composition of the community of butterflies of  
rupestrian grasslands along an altitudinal gradient

**Nathália Ribeiro Henriques<sup>1\*</sup> e Tatiana Garabini Cornelissen<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade Federal de São João del-Rei. \*h.nathaliaribeiro@gmail.com*

---

### **Abstract**

High altitude environments exhibit climatic variations and differences in the availability of resources that can change the distribution of organisms along the gradient. These variations influence the composition, richness and abundance of species, but there are still few information regarding butterflies on altitudinal gradients. This study aimed to evaluate the variation in richness, diversity and specific composition of the butterfly community along the altitudinal gradient of the Serra de São José, Minas Gerais. Seven altitudinal points ranging from 800 to 1.400 m were studied, where the butterflies were collected mainly by active sampling, and horizontal repetitions were performed by effort-hour. A list of species was prepared and the evaluation of the specific composition was tested through analysis of  $\alpha$  and  $\beta$  diversities. The frequency of species was evaluated by the classification of rare species (singletons, doubletons, uniques and duplicates) and GLM was used to evaluate the distribution along the gradient. A total of 636 butterflies were registered in 107 species belonging to six families. The greatest richness ( $n = 63$ ) and abundance ( $n = 326$ ) were represented by the Nymphalidae family. Only two species (*Actinote genitrix*, Nymphalidae and *Pyrisitia nise*, Pieridae) had occurrence in all seven altitudinal points. The  $\alpha$  diversity was lower than expected and  $\beta$  greater than expected by chance. The composition of species was quite distinct along the gradient and its

distribution did not exhibit a pattern in relationship to altitude. Almost half of the species sampled (48.6%) were classified as rare and the rest as intermediate, with no common species, which suggests that the Serra de São José is important for the conservation of the butterfly community. This was the first study of the butterfly community of the Serra de São José, and is also pioneer in the micro-region of São João del-Rei do Campo das Vertentes.

**Key-Words:** Altitude, Biodiversity, Cerrado, Insects, Lepidoptera, Serra de São José.

---

## Introdução

Inúmeros estudos têm demonstrado grande variação na abundância e riqueza de espécies de plantas e animais ao longo de sua distribuição e diversas hipóteses têm sido propostas para explicar tal variabilidade.

Regiões montanhosas destacam-se como áreas ímpares para análises da diversidade. Ocupam um grande território de cerca de 25% da superfície terrestre e possuem grande importância para estudos de fragmentação e endemismo (Willig & Presley 2015, Schluter & Pennell 2017). O Cerrado brasileiro abrange grandes regiões montanhosas, como a Cadeia do Espinhaço e o sistema da Serra da Mantiqueira. Dentre as formações campestres do Cerrado, a fitofisionomia de Campo Rupestre está presente em regiões elevadas de Minas Gerais (Oliveira-Filho & Machado 1993, Ribeiro & Walter 1998, Rapini *et al.* 2008, Silveira *et al.* 2016).

Os Campos Rupestres ocorrem sobre topos de serras e chapadas, em altitudes a partir de 900 m, onde abrangem afloramentos rochosos geralmente quartzíticos. São caracterizados pelo estrato herbáceo-arbustivo e um de seus aspectos mais marcantes é o grande número de espécies endêmicas da flora e fauna que eles abrigam (Rapini *et al.* 2008, Souza *et al.* 2010, Silva Jr 2012, Fernandes *et al.* 2014).

Ambientes com altitudes elevadas apresentam variações climáticas e diferenças na disponibilidade de recursos que podem alterar a distribuição de organismos ao longo do gradiente. Estas variações exercem influência sobre a composição, riqueza e abundância de espécies (Marchiori & Romanowski 2006, Albuquerque *et al.* 2015, Schluter & Pennell 2017). Por serem locais que apresentam diversos microclimas em distâncias relativamente próximas, montanhas e serras podem auxiliar na observação da movimentação de espécies entre as cotas altitudinais.

As borboletas (Lepidoptera) têm uma ligação íntima com condições climáticas e espécimes florais (Sawchik *et al.* 2003, Carvalho *et al.* 2013, Carvalho & Morais 2015). Apresentam, dentre outras características, várias interações interespecíficas e diversidade ecológica, além de serem especialistas em recursos e um grupo com amostragem e identificação acessíveis (Brown 1997, Brown & Freitas 2000, Pywell *et al.* 2004, Freitas *et al.* 2006, Ritter *et al.* 2011, Uehara-Prado & Ribeiro 2012, Santos *et al.* 2015), fatores que as tornam um dos modelos mais adequados de bioindicação de qualidade ambiental dentre os insetos (Thomas 2005, Devictor *et al.* 2012).

Em altitudes elevadas as borboletas são essenciais na polinização, considerando-se que uma menor gama de outros agentes polinizadores nidifica nessas áreas (Pires 2014). São altamente influenciadas por mudanças climáticas e alterações na composição vegetal (Forister & Shapiro 2003, Sawchik *et al.* 2003, Fernandes *et al.* 2016), assim como vários fatores abióticos exercem influência direta sobre as comunidades de borboletas, em especial a velocidade do vento e a temperatura (Pires 2014).

Existem poucas informações sobre comunidades de lepidópteros em gradientes altitudinais, especialmente em Minas Gerais, provavelmente devido à dificuldade de acesso às áreas mais elevadas (Fernandes *et al.* 2016). Sabe-se que a diversidade de espécies tanto animais quanto vegetais muda com variações altitudinais (Hunter & Yonzon 1993, Gonzaga *et al.* 2008). Em locais elevados como serras e montanhas a relação mais comum é que a riqueza seja menor em altitudes mais elevadas, além de mudanças na composição específica ao longo do gradiente (Janzen 1973, Fernandes *et al.* 2016). Contudo, existem também vários trabalhos que apontam as elevações intermediárias como as mais diversas (Pires 2014). Um estudo recente na Serra do Cipó – MG mostrou que a riqueza de borboletas frugívoras e nectarívoras diminuiu com o

aumento da altitude, mas não se sabe a generalidade de tais padrões para cadeias de montanhas tropicais.

No sudeste do país existem unidades de conservação em regiões de altitude onde várias espécies de borboletas ainda permanecem sem descrição (Freitas 2010). São poucos os estudos sobre borboletas em Minas Gerais, o que torna qualquer nova pesquisa importante para o conhecimento da diversidade local. Já foram encontradas mais de 1.500 espécies de borboletas neste estado (Silva *et al.* 2007), mas Silva *et al.* (2012) apontam somente cerca de 10 estudos sobre estas comunidades até a época. Pinheiro *et al.* (2008) referem-se ao Cerrado como um dos ambientes com fauna de lepidópteros mais diversa; contudo, a fauna de invertebrados do Cerrado é uma das menos conhecidas dentre os domínios fitogeográficos (Camargo & Becker 1999).

Para o Campo das Vertentes, onde está localizada a Área de Proteção Ambiental da Serra de São José, não existem dados sequer da lepidopterofauna regional. Tendo em vista tais necessidades e a carência de informações para a região, este estudo teve como objetivo avaliar a variação na riqueza, diversidade e composição específica da comunidade de borboletas ao longo do gradiente altitudinal da Serra de São José. Testou-se a hipótese que a riqueza de espécies diminui com o aumento da altitude.

## **Materiais e Métodos**

### ***Área de estudo***

A Serra de São José localiza-se na porção centro-sul de Minas Gerais, abrangendo os municípios de Prados, Tiradentes, São João del-Rei, Santa Cruz de Minas e Coronel Xavier Chaves. Pertence ao sistema da Serra da Mantiqueira, porém sua vegetação e características geológicas são bastante semelhantes às da Cadeia do Espinhaço (Oliveira-Filho & Machado 1993, Vasconcelos 2011). Situada no Campo das Vertentes, a Serra

apresenta fitofisionomias dos domínios Cerrado e Atlântico, sendo a vegetação do último classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana. Possui elevações que vão de 800 m a pouco mais de 1.400 m de altitude, sendo o Campo Rupestre a fitofisionomia de Cerrado mais representativa ao longo do gradiente altitudinal. Apresenta extensão e largura aproximadas de 12 km e 1,2 km, respectivamente. O clima é mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagens de inverno (tipo Cwb na classificação Köppen). A precipitação média anual é em torno de 1.500 mm e a temperatura média varia de 19 a 20°C. Pela identificação de áreas prioritárias para conservação de Minas Gerais, a Serra de São José é classificada como sendo de importância muito alta para conservação (Gonzaga *et al.* 2008, Souza *et al.* 2010, Bedê *et al.* 2015). Para a amostragem de borboletas ao longo do gradiente altitudinal foram demarcados sete pontos em cotas com intervalos de 100 m (Tabela 1).

**Tabela 1:** Cotas altitudinais e suas coordenadas na Serra de São José – MG, onde as borboletas deste estudo foram amostradas.

<b>Altitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<b>800 m</b>	21° 7' 8.87'' S	44° 12' 1.46'' W
<b>900 m</b>	21° 7' 5.94'' S	44° 12' 1.94'' W
<b>1000 m</b>	21° 6' 46.9'' S	44° 12' 6.61'' W
<b>1100 m</b>	21° 5' 3.17'' S	44° 9' 57.00'' W
<b>1200 m</b>	21° 5' 0.67'' S	44° 9' 48.58'' W
<b>1300 m</b>	21° 3' 44.51'' S	44° 7' 10.68'' W
<b>1400 m</b>	21° 3' 45.62'' S	44° 7' 22.84'' W



### ***Coleta de dados***

Devido às características intrínsecas do Campo Rupestre de grande parte da Serra de São José, poucos locais apresentam árvores ou fragmentos de mata (Silva Jr 2012) que permitem a colocação e uso de armadilhas. Nas áreas com vegetação propícia para tal, foram utilizadas para a captura de borboletas frugívoras armadilhas do tipo Van-Someren Rydon, que ficaram expostas em campo por 72 horas. Tais armadilhas possuem as dimensões exigidas pelo padrão da RedeLep (Rede Nacional de Pesquisa e Conservação dos Lepidópteros) do ICMBio, e continham iscas atrativas de banana fermentadas por 48 horas (Uehara-Prado *et al.* 2009, Santos *et al.* 2011). Porém, a principal forma de captura das borboletas neste estudo se deu por coleta ativa com redes entomológicas (puçás), que permitiu a captura de espécies frugívoras e nectarívoras. Os indivíduos capturados foram acondicionados em envelopes entomológicos, contendo altitude, data e horário da coleta. As borboletas foram sacrificadas, devidamente montadas e posteriormente identificadas com o auxílio de guias e/ou consulta a especialistas. As borboletas foram organizadas em uma coleção de referência depositada na Coleção Zoológica do Departamento de Ciências Naturais da Universidade Federal de São João del-Rei (DCNat - UFSJ).

Para o conhecimento da composição específica da comunidade de borboletas da Serra, foram realizadas coletas abrangendo épocas distintas do ano a fim de tornar a amostragem a mais representativa possível. As coletas englobaram as estações seca e chuvosa e foram realizadas nos meses de março, abril, junho, julho, novembro e dezembro de 2016 e de janeiro a março de 2017.

Para avaliar a variação na riqueza, diversidade e composição específica com a variação na altitude, foram realizadas amostragens ao longo do gradiente altitudinal, entre 800 e 1.413 m em todas as estações de coleta. Com auxílio de GPS e altímetro, a cada 100 m de altitude foram realizadas amostragens por caminhadas nas cotas altitudinais

marcadas e repetições horizontais em cada cota foram realizadas por esforço-hora. Em cada uma delas foram coletados dados abióticos com o auxílio de uma estação climática portátil (THAB-500, Instrutherm®), a fim de se avaliar quais fatores abióticos poderiam exercer influência direta sobre a comunidade de borboletas da Serra de São José. Foram anotados os pontos de altitude com suas respectivas coordenadas, data e hora, além dos valores de temperatura, umidade, velocidade do vento e pressão.

As borboletas foram amostradas em horários alternados ao longo do dia, com ênfase nos períodos da manhã e início da tarde, que são os momentos de maior atividade da maioria das borboletas (Casagrande *et al.* 1998, Basset *et al.* 2011, Ritter *et al.* 2011). Em cada cota altitudinal foram realizadas aproximadamente 5 horas de coleta ativa por dia de coleta e foram realizadas mais de 100 horas efetivas ao longo do gradiente, seguindo o proposto por Uehara-Prado *et al.* (2004).

### ***Análise de dados***

Para avaliar a composição específica da lepidopterofauna da Serra de São José, foi confeccionada uma lista de espécies dividida em famílias e subfamílias, considerando-se todos os meses amostrados e os indivíduos coletados em todo o gradiente altitudinal.

Para verificar a frequência das espécies na comunidade, as espécies raras foram classificadas como *singletons* e *doubletons*, quando apenas um ou dois indivíduos foram amostrados, respectivamente, *uniques* (espécies capturadas em apenas uma amostragem) e *duplicates*, quando encontradas em duas amostragens. Acima de 50 indivíduos as espécies foram classificadas como “comuns” e de 3 a 50 como “intermediárias” (Ferraz *et al.* 2009).

Para avaliar a riqueza registrou-se o valor total da riqueza de espécies de borboletas e o valor por cota altitudinal. Para averiguar a suficiência amostral, o número

cumulativo de espécies foi obtido por uma curva de rarefação com limites de confiança de 95%. Como existem muitas espécies raras na amostragem optou-se por utilizar o estimador de riqueza Jackknife1, que considera os *uniques*. A avaliação da riqueza foi calculada pelo índice de Margalef, que se baseia na relação entre a riqueza e o número total de indivíduos observados. Estas análises foram realizadas no software PAST 2.17 (Hammer *et al.* 2001).

A composição específica da comunidade de borboletas ao longo do gradiente altitudinal foi testada através da análise de diversidades  $\alpha$  e  $\beta$ . A diversidade  $\alpha$  foi dada como a diversidade encontrada dentro de cada cota altitudinal e  $\beta$  como a diversidade entre as cotas altitudinais. A riqueza foi calculada pelo método aditivo, os dados foram baseados em 1.000 randomizações e as análises realizadas no software PARTITION 3.0 (Veech & Crist 2009).

Foram utilizados modelos lineares generalizados (GLM) para avaliar distribuição das borboletas ao longo do gradiente. Para a construção dos GLM foram utilizados os dados de riqueza e abundância acumulados para cada cota altitudinal. Os GLM também foram feitos para averiguar a relação dos fatores ambientais com a distribuição de borboletas. Para a construção destes, foi feita a média das variáveis ambientais que foram relacionadas individualmente com a altitude. Estas análises foram feitas no software SYSTAT 12.0 (Wilkinson 1992).

## **Resultados**

Foi registrado um total de 636 borboletas na Serra de São José distribuídas em 107 espécies. Foram identificados 566 indivíduos, pertencentes a 91 espécies em seis famílias e 18 subfamílias (Tabela 2). Além destes, 16 morfotipos pertencentes às famílias HesperIIDae, Nymphalidae e Riodinidae não foram ainda identificados.

A maior riqueza foi representada pela família Nymphalidae com 63 espécies, seguida de Hesperidae (n = 20), Pieridae (n = 10), Lycaenidae (n = 5), Papilionidae (n = 5) e Riodinidae (n = 4). Em relação à abundância total de indivíduos, Nymphalidae foi também a família mais representativa com mais da metade dos espécimes amostrados - 326 indivíduos (51,3% do total registrado) -, seguida de Hesperidae (n = 147 / 23,1%), Pieridae (n = 110 / 17,3%), Lycaenidae (n = 33 / 5,2%), Papilionidae (n = 16 / 2,5%) e Riodinidae (n = 4 / 0,6%). As espécies com maior abundância foram *Pyrisitia nise* (Pieridae) e *Urbanus teleus* (Hesperidae) com 46 e 44 indivíduos amostrados, respectivamente. Somente duas espécies tiveram ocorrência nas sete cotas altitudinais: *Actinote genitrix* (Nymphalidae) e *Pyrisitia nise* (Pieridae).

Foram observadas 33 espécies com apenas um indivíduo (*singletons*) e 19 com dois indivíduos (*doubletons*), apontando quase metade das espécies amostradas (48,6%) como sendo raras. Foram 51 espécies classificadas como *uniques* e 24 *duplicates*. Não houve nenhuma espécie com abundância superior a 50 indivíduos, portanto o restante das espécies (n = 55) foi classificado como intermediárias, não havendo nenhuma espécie comum.

Três espécies foram amostradas apenas durante a estação seca: *Hamadryas epinome*, *Libytheiana carinenta* e um morfotipo não identificado (Morfotipo 6), todas pertencentes à família Nymphalidae. *Taygetis laches* (Nymphalidae) foi uma espécie amostrada apenas nas armadilhas atrativas.

**Tabela 2:** Riqueza, distribuição e abundância de espécies de borboletas ao longo do gradiente altitudinal da Serra de São José, Minas Gerais, Brasil.

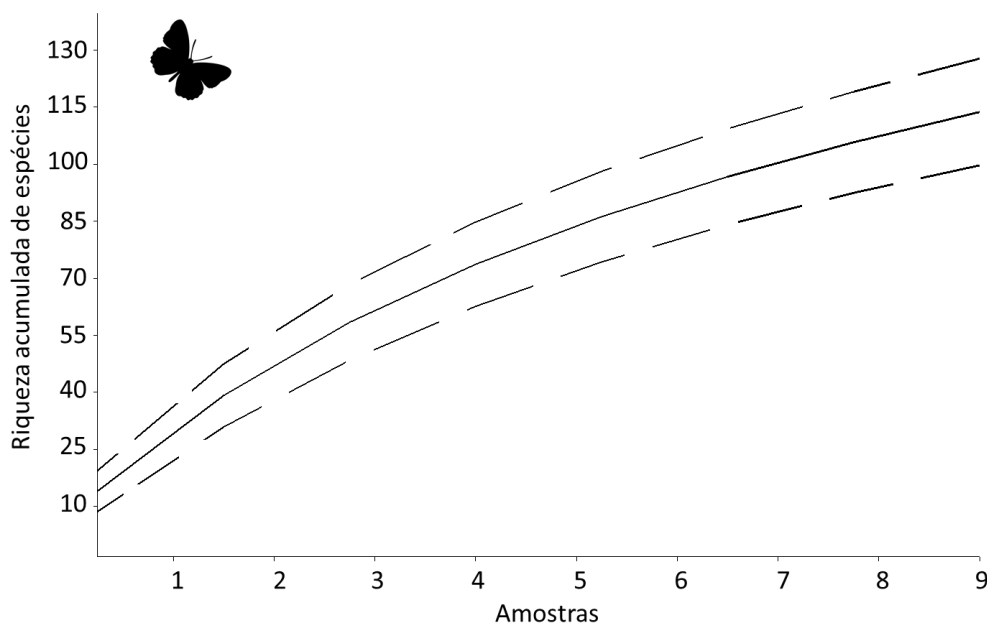
	Altitude (m)							Total
	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	
<b>Hesperiidae (S = 20)</b>								
<b>Eudaminae (S = 3)</b>								
<i>Urbanus evenus</i>	1	1						2
<i>Urbanus proteus</i>	6	1	4	1		2		14
<i>Urbanus teleus</i>	32	5	2			4	1	44
<b>Hesperiinae (S = 1)</b>								
<i>Argon lota</i>	7	2	1					10
<b>Heteropterinae (S = 2)</b>								
<i>Hylephila phyleus</i>	1							1
<i>Polites vibex</i>	1					1		2
<b>Pyrginae (S = 7)</b>								
<i>Chiomara asychis</i>	1	1			1			3
<i>Heliopetes alana</i>	7	6	1	1	2			17
<i>Heliopetes omrina</i>	5	4		1		1		11
<i>Pyrgus orcus</i>	11	3						14
<i>Sarbia damippe</i>			1	1				2
<i>Staphylus chlorocephala</i>	1	1	1	1		1		5
<i>Timochares trifasciata</i>				1				1
Morfotipo 1	1							1
Morfotipo 2				1		1		2
Morfotipo 3	1		1					2
Morfotipo 4		3						3
Morfotipo 5				1				1
Morfotipo 6	4	1	2	3				10
Morfotipo 7		1	1					2
<b>Lycaenidae (S = 5)</b>								
<b>Polyommatainae (S = 2)</b>								
<i>Hemiargus hanno</i>	12	4	4	1			1	22
<i>Leptotes cassius</i>	1	1			1			3
<b>Theclinae (S = 3)</b>								
<i>Arawacus tarania</i>		3	1	1				5
<i>Contrafacia muattina</i>						1		1
<i>Tmolus echion</i>					2			2
<b>Nymphalidae (S = 63)</b>								
<b>Biblidinae (S = 9)</b>								
<i>Callicore sorana</i>				3				3
<i>Ectima thecla</i>							1	1

<i>Eresia lansolorfi</i>							1	1
<i>Hamadryas chloe</i>			1	1				2
<i>Hamadryas epinome</i>			1					1
<i>Hamadryas februa</i>	2		1				1	4
<i>Hamadryas feronia</i>	1							1
<i>Myscelia orsis</i>				1				1
<i>Temenis laothoe</i>		1						1
<b>Charaxinae (S = 1)</b>								
<i>Fountainea ryphea</i>		2						2
<b>Danainae (S = 8)</b>								
<i>Aeria olena</i>						5		5
<i>Danaus eresimus</i>	1					1		2
<i>Episcada hymenaea</i>						3	4	7
<i>Hypothyris euclea</i>			1			1	1	3
<i>Mcclungia cymo</i>			1					1
<i>Mechanitis polymnia</i>	1		1					3
<i>Methona confusa</i>				3				3
<i>Pseudoscada erruca</i>						2	8	11
<b>Heliconiinae (S = 10)</b>								
<i>Actinote carycina</i>							1	1
<i>Actinote genitrix</i>	1	1	4	1	1	12	1	21
<i>Actinote melanisans</i>	1	2	2		4	6	3	18
<i>Actinote surima</i>	11	3	8			2		24
<i>Actinote thalia</i>	19		2	4	6	3	2	36
<i>Agraulis vanillae</i>	1	1				1	1	4
<i>Dione juno</i>	1							1
<i>Dryas iulia</i>	3			1		3	1	8
<i>Heliconius erato</i>	3		5	1	2	1	1	13
<i>Heliconius ethilla</i>	1	1	1		1	1		5
<b>Limenitidinae (S = 4)</b>								
<i>Adelpha abia</i>			2				1	3
<i>Adelpha basiloides</i>		1				1		2
<i>Adelpha lycorias</i>							1	1
<i>Libytheana carinenta</i>			3					3
<b>Nymphalinae (S = 7)</b>								
<i>Anartia amathea</i>	3							3
<i>Anartia jatrophae</i>	4	1						5
<i>Historis odius</i>				1				1
<i>Junonia evarete</i>	2	1		1	1	4		9
<i>Junonia genoveva</i>	4	1		3		1		9
<i>Phyciodes lirioppe</i>						6	1	7
<i>Vanessa braziliensis</i>	2		1		2		1	6
<b>Satyrinae (S = 16)</b>								
<i>Caligo brasiliensis</i>			1	1				2

<i>Moneuptychia melchiades</i>					1			1
<i>Morpho anaxibia</i>						1		1
<i>Morpho epistrophus</i>			1		1			2
<i>Morpho helenor</i>					1			1
<i>Opsiphanes invirae</i>	1		1	1				3
<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>		1						1
<i>Paryphthimoides eous</i>				5	1			6
<i>Paryphthimoides undulata</i>	1		1					2
<i>Paryphthimoides zeredatha</i>	1			1				2
<i>Pharneuptychia innocentia</i>			1					1
<i>Pharneuptychia phares</i>					1		3	4
<i>Taygetis laches</i>		1	1	1				3
<i>Yphthimoides affinis</i>	1		1					2
<i>Yphthimoides borasta</i>		1		2	2			5
<i>Yphthimoides renata</i>	1		1	3				5
<i>Yphthimoides straminea</i>	1		2	2	1			6
Morfotipo 1			1	1	4	5	12	23
Morfotipo 2							1	1
Morfotipo 3				1				1
Morfotipo 4	1	1		2	4		1	9
Morfotipo 5	1	1	1					3
Morfotipo 6							1	1
Morfotipo 7	2	1	2	4				9
<b>Papilionidae (S = 5)</b>								
<b>Papilioninae (S = 5)</b>								
<i>Heraclides anchisiades</i>						1		1
<i>Heraclides pallas</i>							1	1
<i>Heraclides thoas</i>							8	8
<i>Parides bunichus</i>			4					4
<i>Protesilaus helios</i>							2	2
<b>Pieridae (S = 10)</b>								
<b>Coliadinae (S = 6)</b>								
<i>Aphrissa wallacei</i>						2		2
<i>Eurema albula</i>			10		1	3		14
<i>Eurema elathea</i>	3	6	7	2		2		20
<i>Phoebis philea</i>				1			1	2
<i>Phoebis sennae</i>		1		2	2	12	2	19
<i>Pyrisitia nise</i>	8	4	4	10	4	13	3	46
<b>Dismorphiinae (S=1)</b>								
<i>Pseudopieris nehemia</i>						1		1
<b>Pierinae (S = 3)</b>								
<i>Ascia monuste</i>	1			2		1		4
<i>Hesperocharis anguitia</i>						1		1
<i>Pereute antodyca</i>						1		1

<b>Riodinidae (S = 4)</b>								
<b>Riodininae (S = 2)</b>								
<i>Chalodeta lypera</i>						1		<b>1</b>
<i>Synargis calyce</i>				1				<b>1</b>
Morfotipo 1	1							<b>1</b>
Morfotipo 2						1		<b>1</b>
<b>Total de espécies</b>	47	35	42	40	29	40	24	<b>107</b>
<b>Total de indivíduos</b>	176	69	92	75	59	114	51	<b>636</b>

Nos dois anos de estudo foram realizadas 1.019 horas de amostragem, sendo 155 horas de coleta ativa e 864 horas de coleta com armadilha atrativa. Apesar deste esforço amostral, a curva de acumulação das espécies não mostra tendência à assíntota (Figura 1). O estimador de riqueza Jackknife1 apontou um valor de 146 espécies contra as 107 observadas neste estudo, indicando que provavelmente ainda existem mais espécies a serem amostradas na Serra de São José.

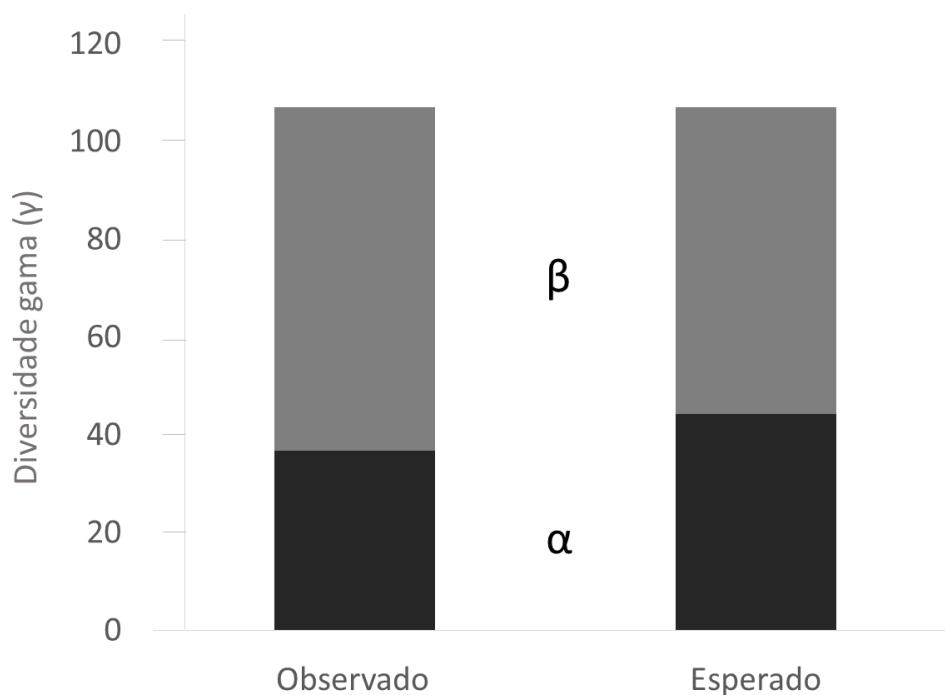


**Figura 1:** Curva de acumulação de espécies de borboletas da Serra de São José, Minas Gerais. As linhas pontilhadas externas indicam o intervalo de confiança de 95% e as amostras indicam os meses de coleta.



Os maiores valores do índice de Margalef ( $I_{MG}$ ) foram encontrados em 800m (altitude mais baixa) e nas cotas intermediárias de 1.000 e 1.100 m, indicando estas cotas altitudinais como apresentando as comunidades mais ricas, e o menor valor foi encontrado na altitude de 1.400m. Os valores do índice por cota são:  $I_{MG}$  800m = 8.90;  $I_{MG}$  900m = 8.03;  $I_{MG}$  1000m = 9.10;  $I_{MG}$  1100m = 9.03;  $I_{MG}$  1200m = 6.87;  $I_{MG}$  1300m = 8.23;  $I_{MG}$  1400m = 5.85.

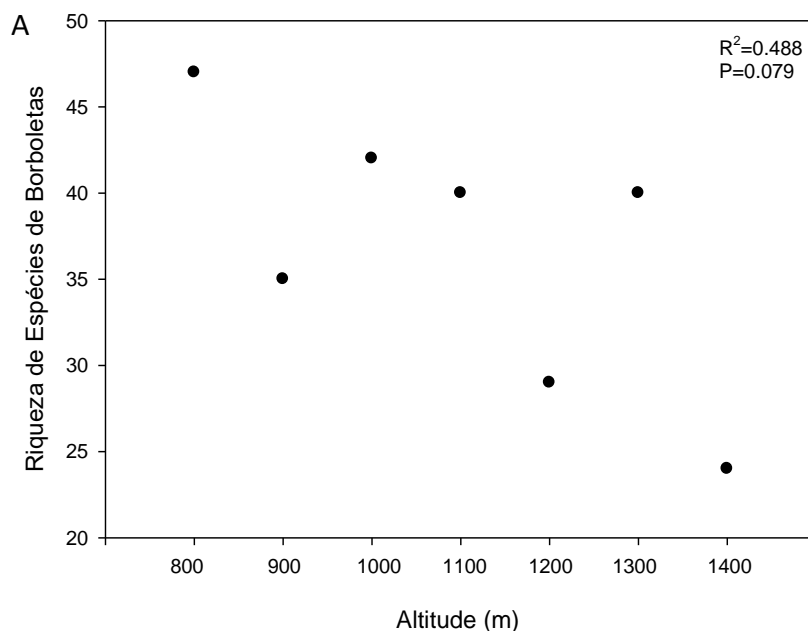
A diversidade  $\alpha$  e  $\beta$  foi analisada considerando-se o gradiente altitudinal como um todo (Figura 2). A diversidade  $\alpha$  observada foi menor que a esperada pelo modelo nulo ( $\alpha_{obs} = 36.71$  e  $\alpha_{esp} = 44.13$ , com  $p < 0.05$ ) e a diversidade  $\beta$  observada foi maior que a esperada pelo modelo nulo ( $\beta_{obs} = 70.29$  e  $\beta_{esp} = 62.87$ , com  $p < 0.05$ ), indicando que as comunidades de borboletas entre as cotas apresentam maior heterogeneidade do que a comunidade dentro de cada cota.

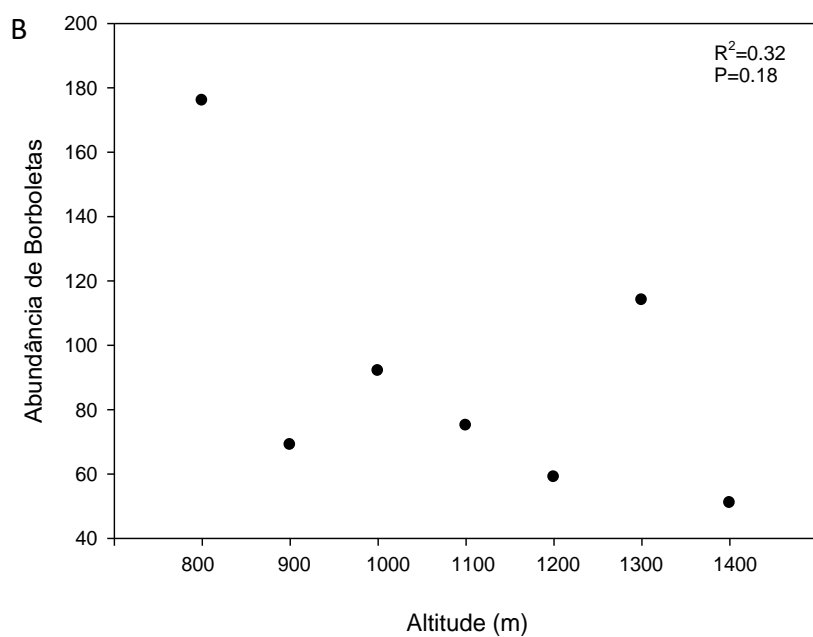


**Figura 2:** Diversidade observada e acumulada de espécies de borboletas da Serra de São José, Minas Gerais. A porção em preto nas barras representa a diversidade  $\alpha$  e a porção em cinza a diversidade  $\beta$ ; o somatório de ambas é a diversidade  $\gamma$ .

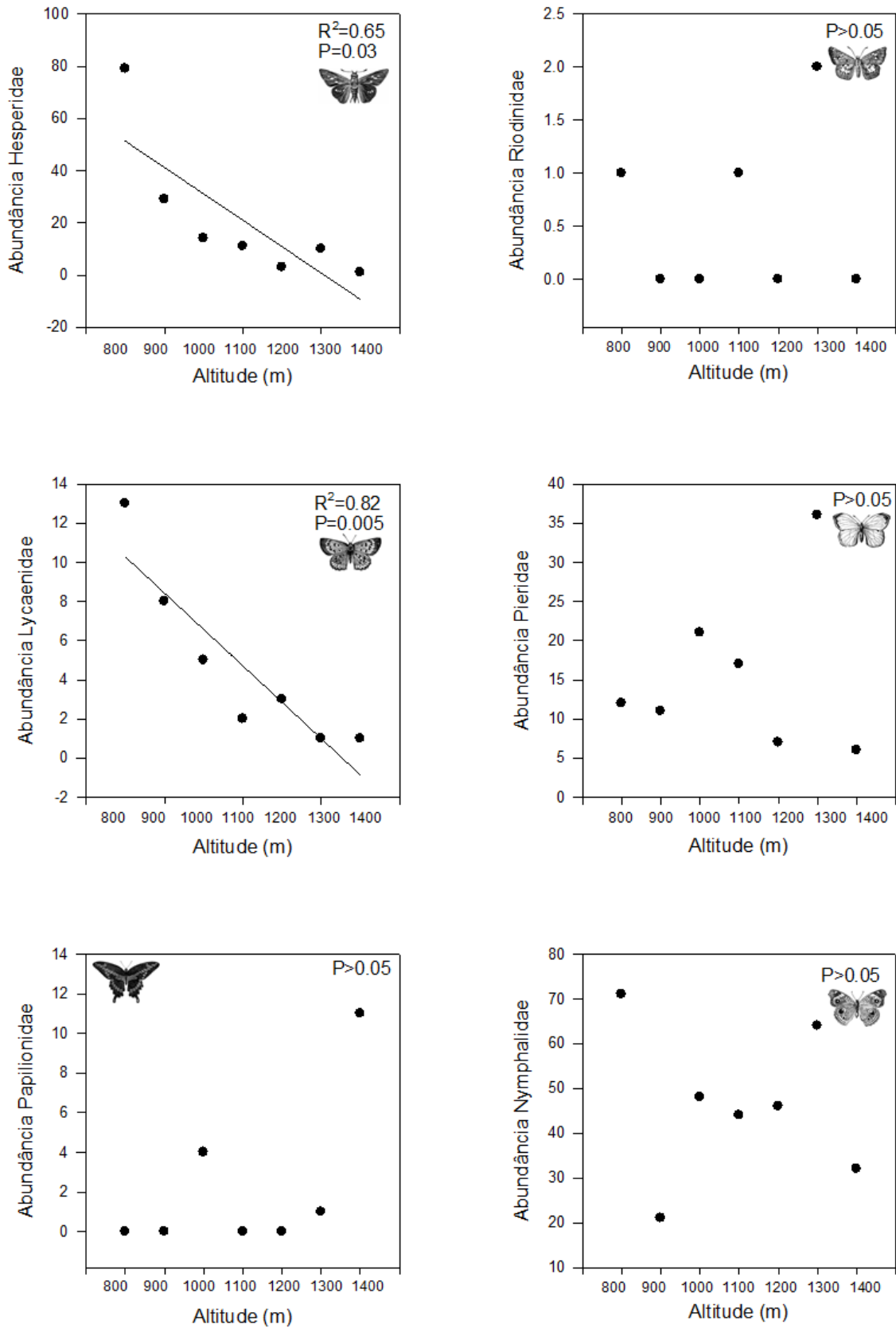
Tanto a riqueza de espécies quanto a abundância de borboletas apresentaram uma tendência à diminuição com o aumento da altitude (Figura 3), mas essa redução não foi estatisticamente significativa (riqueza:  $R^2 = 0.488$ ;  $p = 0.079$  e abundância:  $R^2 = 0.32$ ;  $p = 0.18$ ). De todas as variáveis abióticas avaliadas (pressão, temperatura, umidade e velocidade do vento) apenas a pressão foi significativamente relacionada à altitude ( $R^2 = 0.98$  e  $p < 0.001$ ), indicando que a pressão diminui com o aumento da altitude.

Analisando-se separadamente a distribuição das famílias de borboletas, houve uma redução significativa na riqueza de Hesperiiidae ( $R^2 = 0.65$ ;  $p = 0.03$ ) e Lycaenidae ( $R^2 = 0.82$ ;  $p = 0.005$ ) com o aumento da altitude (Figura 4). A riqueza das demais famílias não foi influenciada pela altitude: Riodinidae ( $p = 0.834$ ), Pieridae ( $p = 0.775$ ), Papilionidae ( $p = 0.171$ ) e Nymphalidae ( $p = 0.751$ ). Papilionidae e Riodinidae foram encontradas apenas em três das sete altitudes amostradas.





**Figura 3:** Riqueza (A) e abundância (B) da comunidade de borboletas distribuídas ao longo do gradiente altitudinal da Serra de São José, Minas Gerais.



**Figura 4:** Variação na riqueza de espécies das famílias de borboletas distribuídas ao longo do gradiente altitudinal da Serra de São José, Minas Gerais.

## Discussão

O número de espécies encontradas na Serra de São José se mostrou maior que muitos estudos avaliando borboletas em regiões campestres brasileiras (Bogiani *et al.* 2012, Nery *et al.* 2014, Araújo & Paprocki 2015, Fernandes *et al.* 2016, Pereira *et al.* 2017), mas a riqueza foi inferior à encontrada por Pinheiro *et al.* (2008) no Distrito Federal - GO e Pires (2014) na Serra do Cipó - MG, ambos com quase 130 espécies. Entretanto, existe ainda uma grande lacuna no conhecimento da biodiversidade de borboletas em Minas Gerais, especialmente em regiões de campo rupestre.

Nymphalidae e Hesperiiidae foram as famílias mais representadas no levantamento da fauna de borboletas da Serra, o que já era esperado por serem duas das três famílias que apresentam maior riqueza de espécies no Brasil, juntamente com Lycaenidae (Bonfanti *et al.* 2009), e as mais amostradas em diversas regiões (Motta 2002, Silva *et al.* 2007, Giovenardi *et al.* 2008, Nobre *et al.* 2008, Pinheiro *et al.* 2008, Bonfanti *et al.* 2009, Pereira *et al.* 2011, Ritter *et al.* 2011, Bogiani *et al.* 2012, Casagrande *et al.* 2012, Morais *et al.* 2012, Uehara-Prado & Ribeiro 2012, Nery *et al.* 2014, Araújo & Paprocki 2015, Carvalho & Morais 2015). Neste estudo, Nymphalidae não só apresentou a maior riqueza de espécies como também a maior abundância de indivíduos amostrados. É a família que exibe maior diversidade de formas e comportamentos e, no Brasil, tem quase 800 espécies descritas (Corso & Hernández 2012, Ribeiro *et al.* 2015, Silva *et al.* 2015, Beirão 2016). Hesperiiidae, por sua vez, é encontrada em topos de morros e áreas abertas. É muito abundante em regiões de altitude do sudeste, onde são encontradas muitas espécies endêmicas, e mais da metade de suas espécies são encontradas em regiões neotropicais (Iserhard 2003, Carneiro *et al.* 2014, Pires 2014).

De acordo com o estimador de riqueza Jackknife1, 73% das espécies foram coletadas na Serra de São José, uma quantidade satisfatória em comparação aos 66-68%

encontrados em Pereira *et al.* (2017) na Serra do Cipó e Silva *et al.* (2015) em uma Área de Proteção Especial em Nova Lima, ambos em Minas Gerais. Contudo estes valores são altamente influenciados pelo estimador escolhido e esforço de coleta, podendo oscilar bastante (Carneiro *et al.*, 2014). Mesmo em ambientes menores é extremamente difícil ser atingida a riqueza total de organismos pelo fato destes terem uma ampla representatividade, especialmente se tratando de insetos, um grupo megadiverso (Benati *et al.* 2005).

A detectabilidade é um fator importante a ser considerado quando se estuda a riqueza de um local. Ela dificulta a estimativa da comunidade, uma vez que o esforço amostral está relacionado à probabilidade de serem encontradas espécies raras, e pode ser afetada pela heterogeneidade ambiental (Carneiro *et al.* 2014, Ribeiro *et al.* 2016). Van Swaay *et al.* (2008) tratam de um método de monitoramento por meio de transectos de observação de borboletas utilizado em vários países da Europa, e mostram o quanto é difícil o acompanhamento de espécies que ocorrem em baixas densidades. Para o estudo das espécies raras deveria haver uma busca intensa em seu local de ocorrência, mas esta amostragem poderia ser tendenciosa uma vez que prioriza apenas aquele local. O presente estudo apresentou uma grande quantidade de espécies raras (*singletons* e *doubletons*), sendo estas quase metade das espécies de borboletas amostradas. Tais espécies geralmente vivem em populações pequenas e restritas a determinados locais, e quaisquer perturbações podem prejudicar de maneira preocupante estas populações (Iserhard 2003). Sugere-se, assim, maior esforço de coleta para alguns gêneros raros, de forma a caracterizar com mais clareza a abundância das borboletas da Serra de São José.

A diversidade de borboletas foi maior entre as cotas altitudinais do que dentro de cada cota ( $\alpha < \beta$ ), indicando uma grande substituição de espécies ao longo do gradiente. Uma possível explicação para o alto valor da diversidade  $\beta$  é o elevado número de

espécies raras presentes neste estudo, o que influencia a substituição de espécies (Beirão 2016). *Actinote genitrix* (Nymphalidae) e *Pyrisitia nise* (Pieridae) foram as únicas espécies encontradas em todas as altitudes, o que sugere que ambas são resistentes às variações ambientais às quais são expostas no gradiente altitudinal. O fato de apenas duas dentre as 107 espécies amostradas apresentarem ampla distribuição demonstra o quanto a composição específica varia ao longo do gradiente, corroborando com o alto valor de  $\beta$  encontrado. Na altitude de 1.400 m, a mais elevada, foi encontrado o menor valor de diversidade. Segundo Brown (1997), regiões com menores graus de diversidade devem conter um maior nível de endemismo das borboletas.

O fato de uma espécie ter sido amostrada apenas com armadilhas atrativas (*Taygetis laches*, Nymphalidae) e outras três espécies só terem sido encontradas durante a estação seca (*Hamadryas epinome*, *Libytheiana carinenta* e um morfotipo não identificado, todas Nymphalidae) reforçam a importância do uso de ambas as metodologias de coleta sempre que possível e de coletas em diferentes épocas do ano, a fim de tornar a amostragem a mais representativa possível da comunidade sob investigação.

Os insetos são muito pouco estudados em regiões de altitude no Brasil (Carneiro *et al.* 2014), e também o são as borboletas. Em Minas Gerais existem estudos recentes com borboletas em gradientes altitudinais na Serra do Cipó (Pires 2014, Beirão 2016, Fernandes *et al.* 2016) e o presente estudo contribui com este conhecimento para a Serra de São José. O gradiente altitudinal de ambas as Serras é o mesmo, variando de 800 a 1.400 m, e as regiões amostradas em ambas são características de Cerrado com dominância de campos rupestres nas altitudes mais elevadas.

As baixas e médias altitudes normalmente apresentam a riqueza de espécies mais elevada em ambientes tropicais (Schluter & Pennell 2017). Em Fernandes *et al.* (2016) a

riqueza de borboletas diminuiu proporcionalmente ao aumento da altitude, e o mesmo padrão foi encontrado por Pires (2014) e Beirão (2016). Foi detectado também por Pires (2014) o mesmo padrão para a abundância de borboletas, mas em Beirão (2016) não houve padrão para a abundância. A hipótese de que a riqueza de espécies diminuiria com o aumento da altitude não foi corroborada para a comunidade como um todo, já que as borboletas da Serra de São José não apresentaram um padrão de decréscimo com a altitude para a riqueza ou para a abundância, o que reforça não haver um padrão geral de distribuição para este grupo. Contudo, quando avaliada separadamente a riqueza por família, Hesperiiidae e Lycaenidae apresentaram redução à medida que havia elevação do gradiente altitudinal. O mesmo foi observado por Pires (2014), que também encontrou tal comportamento em Papilionidae. O mesmo parâmetro é encontrado em outras regiões como, por exemplo, em Carneiro *et al.* (2014) em um estudo com a família Hesperiiidae em três diferentes Serras no Paraná e em Fleishman *et al.* (1998) que avaliaram a distribuição de borboletas ao longo de uma cordilheira em Nevada (USA). Borges (2011), em sua revisão de padrões de variação na riqueza em gradientes altitudinais, apresenta vários tipos de modelos de variação como funções monotônicas, unimodais e constantes. Todos estes trabalhos supracitados apresentam decréscimo monotônico e modelo linear negativo. Na Serra de São José, a comunidade de borboletas apresentou uma riqueza mais elevada na altitude mais baixa e houve uma tendência à diminuição, mas os dados deste estudo não se encaixam em nenhum dos modelos apresentados por Borges (2011). A ausência de padrão altitudinal para as borboletas da Serra de São José indica que outros fatores, não associados à altitude, podem influenciar a distribuição das borboletas ao longo do gradiente. A disponibilidade de recursos alimentares e o efeito de fatores abióticos e microhabitats adequados podem estar relacionados à distribuição das espécies na área e merecem maior investigação.



Diversos fatores podem modificar a distribuição e comportamento das borboletas. A temperatura é uma variável ambiental que influencia diretamente tais organismos, especialmente no seu desenvolvimento (Fernandes *et al.*, 2016). A velocidade do vento afeta de maneira direta a habilidade de voo das borboletas. Comumente a intensidade do vento é maior em altitudes elevadas (Souza *et al.*, 2010). Na Serra de São José, a temperatura oscilou bastante entre as cotas altitudinais, apresentando maior valor na altitude de 900 m e menor em 1.200 m, mas não apresentou relação direta com a riqueza de borboletas como em Pires (2014), que encontrou uma associação positiva entre o número de espécies e temperaturas mais elevadas. Os maiores valores da velocidade do vento foram encontrados na cota altitudinal de 1.300 m, mas também foram elevados nas altitudes mais baixas, não apresentando um padrão. Neste estudo, de todas as variáveis ambientais avaliadas, somente a pressão apresentou relação direta com a altitude, sendo inversamente proporcional a ela. Assim, a ausência de variação linear dos fatores abióticos com a variação na altitude pode indicar que tais fatores não limitam a distribuição das espécies e dos indivíduos entre as cotas altitudinais.

Em Minas Gerais, das mais de 1.500 espécies de borboletas conhecidas para o estado, 20 se encontram na lista brasileira de espécies ameaçadas da IUCN (*RedList*) (Silva *et al.* 2007). Na Serra de São José, três espécies encontradas na cota intermediária de 1.000 m de altitude constam na *RedList* (IUCN 2016): *Mcclungia cymo* (Nymphalidae), *Morpho epistrophus* (Nymphalidae) e *Parides bunicus* (Papilionidae), todas com abundância inferior a cinco indivíduos. Contudo, estas espécies não apareceram na lista de espécies ameaçadas de Minas Gerais (Casagrande *et al.* 1998, COPAM 2010).

Este foi o primeiro estudo da comunidade de borboletas da Serra de São José, e também é pioneiro na microrregião de São João del-Rei do Campo das Vertentes. A

riqueza de borboletas encontrada neste estudo foi alta, apesar de ainda existirem espécies a serem descobertas na Serra - a composição de espécies se mostrou bastante distinta ao longo do gradiente altitudinal e a distribuição das mesmas não apresentou um padrão em relação à altitude. O fato da Serra de São José possuir uma quantidade expressiva de espécies raras sugere que este local seja importante para a preservação da comunidade de borboletas.

## Referências Bibliográficas

- Albuquerque CHB, Souza MM, Clemente MA. 2015. Comunidade de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) em diferentes gradientes altitudinais no sul do estado de Minas Gerais, Brasil. *Biotemas* 28: 131-138.
- Araújo MC, Paprocki H. 2015. Lista de Lepidoptera do Parque Ecológico Felisberto Neves, Betim, Minas Gerais. *Sinapse Múltipla* 4: 1-15.
- Basset Y, Eastwood R, Sam L, Lohman DJ, Novotny V, Treuer T, Miller SE, Weiblen GD, Pierce NE, Bunyavejchewin S, Sakchoowong W, Kongnoo P, Osorio-arenas MA. 2011. Comparison of rainforest butterfly assemblages across three biogeographical regions using standardized protocols. *The Journal of Research on the Lepidoptera* 44: 17-28.
- Bedê LC, Machado ABM, Piper W, Souza MM. 2015. Odonata of the Serra de São José – Brazil’s first Wildlife Reserve aimed at the conservation of dragonflies. *Notulae odonatologicae* 8: 117-155.
- Beirão MV. 2016. Distribuição espaço-temporal de borboletas frugívoras em ambientes tropicais sazonais. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, 82 p.
- Benati KR, Souza-Alves, JP, Silva EA, Peres MCL, Coutinho EO. 2005. Aspectos comparativos das comunidades de aranhas (Araneae) em dois remanescentes de Mata Atlântica do estado da Bahia, Brasil. *Biota Neotropica* 5: 1-9.
- Bogiani PA, Aranda R, Machado COF. 2012. Riqueza de Borboletas (Lepidoptera) em um Fragmento Urbano de Cerrado em Mato Grosso do Sul, Brasil. *EntomoBrasilis* 5: 93-98.
- Bonfanti D, Di Mare, RA, Giovenardi R. 2009. Butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) from two forest fragments in northern Rio Grande do Sul, Brazil. *Check List* 5: 819-829.
- Borges DFM. 2011. Padrões de variação na riqueza de espécies em gradientes altitudinais: uma revisão multi-taxonômica. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, 93 p.
- Brown KSJr, Freitas AVL. 2000. Atlantic Forest Butterflies: Indicators for Landscape Conservation. *Biotropica* 32: 934-956.
- Brown KSJr. 1997. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation* 1: 25-42.
- Camargo AJ, Becker VO. 1999. Saturniidae (Lepidoptera) from the Brazilian Cerrado: composition and biogeographic relationships. *Biotropica* 31: 696-705.
- Carneiro E, Mielke OHH, Casagrande MM, Fiedler K. 2014. Skipper Richness (Hesperiidae) Along Elevation Gradients in Brazilian Atlantic Forest. *Neotropical Entomology* 43: 27-38.
- Carvalho APS, Gottschalk MS, Morais ABB. 2013. Identificação de Catalogação de Borboletas (Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) da Coleção Entomológica da Universidade Federal do Rio Grande. *EntomoBrasilis* 6: 227-231.

- Carvalho APS, Morais ABB. 2015. Borboletas associadas a ambientes de restinga no extremo sul do Brasil (Lepidoptera: Papilionoidea). *SHILAP Revista de Lepidopterologia* 43: 349-363.
- Casagrande MM, Dolibaina DR, Carneiro E, Dias FMS, Leite LAR, Mielke OHH. 2012. Borboletas (Hesperioidea e Papilionoidea) de Jaguariaíva, Paraná, Brasil: inventário em um enclave de cerrado meridional. *Coletânea de Pesquisas. Parques estaduais Vila Velha, Cerrado e Gartelá. IAP, Curitiba*, 295-308.
- Casagrande MM, Mielke OHH, Brown KSJr. 1998. Borboletas (Lepidoptera) ameaçadas de extinção em Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 15: 241-259.
- COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. 2010. Deliberação normativa COPAM nº 147, de 30 de abril de 2010. Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais.
- Corso G, Hernández MIM. 2012. Borboletas frugívoras da Mata Atlântica no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, Santa Catarina, Brasil. *Biotemas* 25: 139-148.
- Devictor V, Van-Swaay C, Brereton T, Brotons L, Chamberlain D, Heliölä J, Herrando S, Julliard R, Kuussaari M, Lindström A, Reif J, Roy DB, Schweiger O, Settele J, Stefanescu C, Strien AV, Turnhout CV, Vermouzek Z, Wallis-de-Vries M, Wynhoff I, Jiquet F. 2012. Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change* 2: 121-124.
- Fernandes GW, Almeida HA, Nunes CA, Xavier JHA, Cobb NS, Carneiro MAA, Cornelissen T, Neves FS, Ribeiro SP, Nunes YRF, Pires ACV, Beirão MV. 2016. Cerrado to Rupestrian Grasslands: Patterns of Species Distribution and the Forces Shaping Them Along an Altitudinal Gradient. In: *Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil*. Springer, São Paulo, p. 345-377.
- Fernandes GW, Barbosa NPU, Negreiros D, Paglia AP. 2014. Challenges for the conservation of vanishing megadiverse rupestrian grasslands. *Natureza & Conservação* 12: 162-165.
- Ferraz ACP, Gadella BQ, Aguiar-Coelho VM. 2009. Análise faunística de Calliphoridae (Diptera) da Reserva Biológica do Tinguá, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Entomologia* 53: 620-628.
- Fleishman E, Austin GT, Weiss AD. 1998. An empirical test of Rapoport's rule: elevation gradients in montane butterfly communities. *Ecology* 79: 2482-2493.
- Forister ML, Shapiro AM. 2003. Climatic trends and advancing spring flight of butterflies in lowland California. *Global Change Biology* 9: 1130-1135.
- Freitas AVL, Leal IR, Uehara-Prado M, Iannuzzi L. 2006. Insetos como indicadores de conservação da paisagem. In: *Biologia da conservação: essências*. Rima, São Carlos, p. 357-384.
- Freitas AVL. 2010. Impactos potenciais das mudanças propostas no Código Florestal Brasileiro sobre as borboletas. *Biota Neotropica* 10: 53-58.
- Giovenardi R, Di Mare RA, Sponchiado J, Roani SH, Jacomassa FAF, Jung AB, Porn MA. 2008. Diversidade de Lepidoptera (Papilionoidea e Hesperioidea) em dois fragmentos de floresta no município de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia* 52: 599-605.

- Gonzaga APD, Oliveira-Filho AT, Machado ELM, Hargreaves P, Machado JNM. 2008. Diagnóstico florístico-estrutural do componente arbóreo da floresta da Serra de São José, Tiradentes, MG, Brasil. *Acta botanica brasílica* 22: 505-520.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 9 pp.
- Hunter ML, Yonzon P. 1993. Altitudinal distributions of birds, mammals, people, forests and parks in Nepal. *Conservation Biology* 7: 420-423.
- Iserhard CA. 2003. Levantamento da diversidade de borboletas (Lepidoptera: Rhopalocera) e sua variação ao longo de um gradiente altitudinal em uma região de Mata Atlântica, município de Maquiné, RS. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 168 p.
- IUCN – International Union for Conservation of Nature. 2016. The IUCN Brazil Red Book of Threatened Species of Fauna. Realized by ICMbio and MMA.
- Janzen DH. 1973. Sweep Samples of Tropical Foliage Insects: Effects of Seasons, Vegetation Types, Elevation, Time of Day, and Insularity. *Ecology* 54: 687-708.
- Marchiori MO, Romanowski HP. 2006. Species composition and diel variation of a butterfly taxonece (Lepidoptera, Papilionoidea and Hesperioidea) in a restinga forest at Itapuã State Park, Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 23: 443-454.
- Morais ABB, Lemes R, Ritter CD. 2012. Borboletas (Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) de Val de Serra, região central do Rio Grande do Sul, Brasil. *Biota Neotropica* 12: 1-9.
- Motta PC. 2002. Butterflies from the Uberlândia region, Central Brazil: species list and biological comments. *Brazilian Journal of Biology* 62: 151:163.
- Nery I, Carvalho N, Paprocki H. 2014. Checklist of butterflies (Insecta: Lepidoptera) from Serra do Intendente State Park – Minas Gerais, Brazil. *Biodiversity data journal* 2: 1-23.
- Nobre CEB, Schlindwein C, Mielke OH. 2008. The butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) of the Catimbau National Park, Pernambuco, Brazil. *Zootaxa* 1751: 35-45.
- Oliveira-Filho AT, Machado JNM. 1993. Composição florística de uma Floresta Semidecídua Montana, na Serra de São José, Tiradentes, Minas Gerais. *Acta botanica brasílica* 7: 71-88.
- Pereira GCN, Coelho MS, Beirão MV, Braga F, Fernandes GW. 2017. Diversity of fruit-feeding butterflies in a mountaintop archipelago of rainforest. *PLoS ONE* 12: e0180007.
- Pereira HA, Silva JR, Marques GDV, Germanos E, Camargo AJA, Stefani V. 2011. Levantamento de lepidópteros (Insecta: Lepidoptera) diurnos em mata mesófila semi decídua de um fragmento urbano. *Bioscience Journal* 27: 839-848.
- Pinheiro CEG, Malinov IC, Andrade TO, Maravalhas JB, Andrade MBM, Deus LPA, Pedrosa LGP, Zanatta GV. 2008. As borboletas (Lepidoptera, Papilionoidea) do Campus Universitário Darcy Ribeiro (Distrito Federal, Brasil). *Biota Neotropica* 8: 139-144.

- Pires ACV. 2014. Distribuição de borboletas nectarívoras ao longo do gradiente altitudinal de uma montanha tropical: padrões e mecanismos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, 46 p.
- Pywell RF, Warman EA, Sparks TH, Greatorex-Davies JN, Walker KJ, Meek WR, Carvell C, Petit S, Firbank LG. 2004. Assessing habitat quality for butterflies on intensively managed arable farmland. *Biological Conservation* 118: 313-325.
- Rapini A, Ribeiro PL, Lambert S, Pirani JR. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade* 4: 15-23.
- Ribeiro DB, Williams MR, Specht A, Freitas AVL. 2016. Vertical and temporal variability in the probability of detection of fruit-feeding butterflies and moths (Lepidoptera) in tropical forest. *Austral Entomology* 55:112-120.
- Ribeiro JF, Walter BMT. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In Cerrado: ambiente e flora* (Sano SM, Almeida SP, Eds). Emrapa-CPAC, Planaltina, p. 89-166.
- Ritter CD, Lemes R, Morais ABB, Dambros CS. 2011. Borboletas (Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) de fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biota Neotropica* 11: 361-368.
- Santos JP, Iserhard CA, Teixeira MO, Romanowski HP. 2011. Fruit-feeding butterflies guide of subtropical Atlantic Forest and Araucaria Moist Forest in State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Biota Neotropica* 11: 253-274.
- Santos JP, Marini-Filho OJ, Freitas AVL, Uehara-Prado M. 2015. Monitoramento de Borboletas: o Papel de um Indicador Biológico na Gestão de Unidades de Conservação. *Biodiversidade Brasileira* 6: 87-99.
- Sawchik J, Dufrene M, Lebrun P. 2003. Estimation of habitat quality based on plant community, and effects of isolation in a network of butterfly habitat patches. *Acta Oecologica* 24: 25-33.
- Schluter D, Pennell MW. 2017. Speciation gradients and the distribution of biodiversity. *Nature* 546: 48-55.
- Silva ARM, Castro CO, Mafia PO, Mendonça MOC, Alves TCC, Beirão MV. 2012. Borboletas frugívoras (Lepidoptera: Nymphalidae) de uma área urbana (Área de Proteção Especial Manancial Cercadinho) em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Biota Neotropica* 12: 292-297.
- Silva ARM, Landa GG, Vitalino RF. 2007. Borboletas (Lepidoptera) de um fragmento de mata urbano em Minas Gerais, Brasil. *Lundiana* 8: 137-142.
- Silva ARM, Pontes DV, Guimarães MP, Oliveira MV, Assis LTF, Uehara-Prado M. 2015. Fruit-feeding butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae) of the Área de Proteção Especial Manancial Mutuca, Nova Lima and Species list for the Region of Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotropica* 15: e20140118.
- Silva Jr, MC. 2012. 100 Árvores do Cerrado: sentido restrito. Guia de campo. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado. 303 p.
- Silveira FAO, Negreiros D, Barbosa NPU, Buisson E, Carmo FF, Carstensen DW, Conceição AA, Cornelissen TG, Echternacht L, Fernandes GW, Garcia QS, Gerra TJ, Jacobi CM, Lemos-Filho JP, Stradic S, Morellato LPC, Neves FS, Oliveira RS, Schaefer CE, Viana PL, Lambers H. 2016. Ecology and evolution of plant diversity in

- the endangered *campo rupestre*: a neglected conservation priority. *Plant and Soil* 403: 129-152.
- Souza MM, Ladeira TE, Assis NRG, Campos AE, Carvalho P, Louzada JNC. 2010. Ecologia de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) no Campo Rupestre na Área de Proteção Ambiental, APA, São José, Tiradentes, MG.
- Thomas JA. 2005. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of The Royal Society* 360: 339-357.
- Uehara-Prado M, Fernandes JO, Bello AM, Machado G, Santos AJ, Vaz-de-Mello FZ, Freitas AVL. 2009. Selecting terrestrial arthropods as indicators of small-scale disturbance: A first approach in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation* 142: 1220-1228.
- Uehara-Prado M, Freitas AVL, Francini RB, Brown KSJr. 2004. Guia das borboletas frugívoras da Reserva Estadual do Morro Grande e região de Caucaia do Alto, Cotia (São Paulo). *Biota Neotropica* 4: 1-25.
- Uehara-Prado M, Ribeiro DB. 2012. Borboletas em Floresta Atlântica: métodos de amostragem e inventário de espécies na Serra do Itapeti. Pp. 167-186. In: Morini MSC, Miranda VFO. Serra do Itapeti: aspectos históricos, sociais e naturalísticos. Bauru: Canal6, v 1, 400 p.
- Van Swaay CAM, Nowicki P, Settele J, Van Strien AJ. 2008. Butterfly monitoring in Europe: methods, applications and perspectives. *Biodiversity and Conservation* 17: 3455-3469.
- Vasconcelos MF. 2011. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? *Revista Brasileira de Botânica* 34: 241-246.
- Veech JA, Crist TO. 2009. PARTITION 3.0, User's Manual (Unpublished document). Available at: <http://www.users.muohio.edu/cristto/partition.htm>.
- Wilkinson L. 1992. SYSTAT for Windows: statistics, graphics, data, getting started. Systat, Evanston.
- Willig MR, Presley SJ. 2015. Biodiversity and metacommunity structure of animals along altitudinal gradients in tropical montane forests. *Journal of Tropical Ecology*, Available on CJO 2015 doi:10.1017/S0266467415000589.

## **Capítulo II:** Assimetria flutuante de borboletas de campo rupestre ao longo de um gradiente altitudinal tropical

**Nathália Ribeiro Henriques<sup>1\*</sup> e Tatiana Garabini Cornelissen<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade Federal de São João del-Rei. \*h.nathaliaribeiro@gmail.com*

---

### **Resumo**

A assimetria flutuante (AF) é uma importante ferramenta de biomonitoramento que pode ser medida como desvios de simetria perfeita em caracteres bilaterais, assumindo-se que fatores genéticos e/ou ambientais são fonte de instabilidade de desenvolvimento. Neste estudo foi avaliado o efeito do gradiente altitudinal na assimetria das asas das borboletas, testando a hipótese que a AF é um indicativo de estresse ambiental e deve estar positivamente correlacionada com a altitude em ambientes montanhosos. As borboletas foram capturadas principalmente por coleta ativa em um gradiente de 800 a 1.400 m de altitude na Serra de São José – MG. Foram analisadas 370 borboletas que tiveram suas asas superiores destacadas, escaneadas, digitalizadas e avaliadas no software ImageJ. Avaliou-se como medidas de AF os caracteres comprimento e largura das asas direita e esquerda. A distribuição da frequência de valores dos caracteres direito menos esquerdo e teste-t de uma amostra indicaram padrões verdadeiros de AF no comprimento e largura das asas. Entretanto, não houve relação da assimetria flutuante com a altitude para esta comunidade de borboletas. Este estudo foi pioneiro nas análises de AF para uma comunidade de borboletas e mostrou que a AF foi eficiente na detecção da instabilidade indicada por imperfeições nas asas das borboletas, mas o fato da assimetria não ter apresentado relação com a altitude indica que ela sozinha não foi capaz de funcionar como



fonte de estresse ambiental. Outros fatores, que não a altitude, exercem maior influência na assimetria dessa comunidade de borboletas e devem ser investigados.

**Palavras-Chave:** Ecologia de comunidades, Estresse ambiental, Instabilidade de desenvolvimento, Lepidoptera.

Fluctuating asymmetry of rupestrian grasslands butterflies along a tropical altitudinal gradient

**Nathália Ribeiro Henriques<sup>1\*</sup> e Tatiana G. Cornelissen<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade Federal de São João del-Rei. \*h.nathaliaribeiro@gmail.com*

---

**Abstract**

Fluctuating asymmetry (FA) is an important biomonitoring tool that can be measured as deviations of perfect symmetry in bilateral characters, assuming that genetic and/or environmental factors are a source of developmental instability. This study evaluated the effects of the altitudinal gradient on the symmetry of butterfly wings, testing the hypothesis that FA is an indicator of environmental stress and should be positively correlated with altitude in mountainous environments. The butterflies were captured mainly by active collection on an altitudinal gradient of 800 to 1,400 m in the Serra de São José – MG. A total of butterflies were analyzed and had their upper wings detached, scanned and evaluated in ImageJ software. The length and width of the right and left wings were measured as surrogates for asymmetry measurements. The frequency distribution of signed right minus left and one sample t-tests that did not deviate from zero indicated true patterns of FA in the length and width of the wings. There was no relationship, however, between asymmetry levels for the community and altitude. This study pioneered the analysis of FA for a community of butterflies and FA was efficient in detecting the instability indicated by imperfections in the wings of butterflies. The fact that asymmetry had no relationship with altitude indicates that altitude alone was not enough to function as a source of environmental stress. Other factors, not the altitude,

might exert a greater influence on the asymmetry of this community of butterflies and should be investigated.

**Key-Words:** Community ecology, Developmental instability, Environmental stress, Lepidoptera.

---

## Introdução

Diversas ferramentas têm sido propostas para avaliar características populacionais e de comunidades ecológicas que se modificam ao longo de gradientes ambientais. A assimetria flutuante (AF) é uma medida da instabilidade de desenvolvimento que vem sendo amplamente utilizada para o monitoramento de populações (Cornelissen & Stiling 2011). A simetria em animais bilaterais é um indicativo genético de aptidão e o esperado seria que caracteres bilaterais se mostrassem idênticos, porém observa-se, constantemente, que os organismos não são perfeitamente simétricos (Sanseverino & Nessimian 2008). A AF é uma importante ferramenta para medir os desvios do eixo de simetria em caracteres bilaterais, que ocorrem normalmente devido à inabilidade do indivíduo em corrigir pequenas alterações de desenvolvimento devido a fatores de ordem ambiental e/ou genético que funcionam como fonte de estresse (Møller 1997, Wilsey *et al.* 1998, Cornelissen & Stiling 2005, 2011).

A AF expressa o grau de adaptação das populações, sendo um importante mecanismo de avaliação da qualidade das mesmas, e é um indicador confiável para avaliar o estresse (Breuker & Brakefield 2003, Graham *et al.* 2010, Lima *et al.* 2016, Telhado *et al.* 2017). Em um mesmo indivíduo, diferentes caracteres podem manifestar níveis distintos de assimetria. Aqueles com maior habilidade de contornar o estresse ao qual são submetidos apresentariam também maior aptidão, uma vez que disporiam de mais energia para crescer e sobreviver (Møller 1997, Telhado *et al.* 2017).

As condições do ambiente exercem influência sobre a dinâmica, distribuição e sobrevivência de organismos. Espécies mais sensíveis à adequação do habitat apresentariam uma resposta negativa ao estresse gerado por fatores ambientais e/ou genéticos (Anciães & Marini 2000, Vogel *et al.* 2012). Dentre os fatores ambientais, os

graus de competição intra e interespecífica, a disponibilidade de alimento e a variação de temperatura, por exemplo, podem atuar como fonte de instabilidade de desenvolvimento (e.g., Møller 1997, Sanseverino & Nessimian 2008, Cornelissen & Stiling 2010, Fernandes *et al.* 2016, Telhado *et al.* 2017). Alterações antrópicas no ambiente, como perda de habitat por desmatamento ou poluição, também podem causar danos na expressão de simetria no desenvolvimento. Portanto, a qualidade ambiental afeta diretamente o nível de estresse ao qual os organismos estão expostos, uma vez que a assimetria geralmente se intensifica de modo proporcional ao aumento do estresse ambiental (Møller 1997, Tsubaki & Matsumoto 1998, Breuker & Brakefield 2003, Weller & Ganzhorn 2004, Sanseverino & Nessimian 2008).

Como as mudanças no ambiente estão ocorrendo de forma acelerada nas últimas décadas, estudos de biomonitoramento são importantes para o entendimento dos fatores que interferem no crescimento populacional, na dinâmica das comunidades e no funcionamento de ecossistemas. As populações nas quais muitos indivíduos sofrem instabilidades de desenvolvimento devido a qualquer tipo de estresse estão mais sujeitas a declínio (Eterovick *et al.* 2016). A AF tem servido como base para diversos estudos ecológicos e evolutivos, tanto em plantas como em animais, em uma tentativa de demonstrar de forma eficiente e barata, mudanças na morfometria como indicativo de estresse ambiental e/ou genético (Cornelissen & Stiling 2005). É um ótimo recurso para caracterizar o estado de estresse das populações por ser um método de avaliação relativamente simples e rápido, podendo ser muito útil para modelos de conservação de populações e ambientes (Sarre *et al.* 1994, Windig *et al.* 2000, Windig & Nylin 2002).

Existem também fatores genéticos (e.g., mutações, alterações fenotípicas e genotípicas) que afetam a ontogenia dos organismos: quanto menor a variação genética, maior a instabilidade de desenvolvimento (Palmer & Strobeck 1986, Møller 1997,

Tsubaki & Matsumoto 1998, Sanseverino & Nessimian 2008, Cornelissen & Stiling 2010). A baixa movimentação de genes causada, por exemplo, pela endogamia em populações isoladas pode gerar deformações físicas que afetam negativamente o *fitness* destes indivíduos, tornando-os mais assimétricos e, talvez, menos aptos (Vogel *et al.* 2012). Os fatores genéticos e ambientais podem, inclusive, ser cumulativos, agindo ao mesmo tempo como fonte de estresse para os organismos (Anciães & Marini 2000). Apesar da conhecida intercessão entre fatores ambientais e genéticos na expressão da AF, este estudo avaliará como características ambientais que mudam ao longo do gradiente altitudinal interferem na assimetria de asas de borboletas, considerando-se uma comunidade de campo rupestre.

A escolha dos traços a serem testados para estudos de AF deve levar em consideração a condição de interesse. Para borboletas, por exemplo, caracteres de morfometria de asas (e.g., tamanho, largura, comprimento) mais simétricos devem ser representativos de maior *fitness* do animal, já que a maior simetria permitiria aos indivíduos realizar atividades relacionadas ao acasalamento ou à fuga com mais estabilidade (Lens *et al.* 2002, Ladeira 2016). Tais caracteres, por estarem fortemente conectados ao fator de interesse – a capacidade de voo das borboletas –, são muito pertinentes para análises de AF. Em relação à seleção sexual, os insetos expressam alta predileção por parceiros simétricos, o que mostra que a assimetria influencia diretamente no sucesso reprodutivo (Møller 1997, Kanegae & Lomônaco 2003). As fêmeas percebem a simetria do macho como sinal de qualidade genética para a prole e de melhor desempenho em relação à disputa corporal (Tsubaki & Matsumoto 1998, Windig & Nylin 2002). Neste caso, caracteres atrativos como os ocelos das asas, por exemplo, seriam mais interessantes para medições de AF por poderem exercer maior influência na seleção de parceiros. As fêmeas das borboletas selecionam, dentre outras características, a

velocidade e habilidade do voo em machos (Moura & Azevedo 2011). Portanto, a maior simetria nas asas representa não apenas influência direta no voo, mas também na seleção sexual e medidas futuras de *fitness*.

Telhado *et al.* (2017) citam estudos em que a altitude foi uma das variáveis ambientais que aumentou a AF em plantas. Entretanto, estudos envolvendo a AF como indicativo de estresse ambiental em borboletas e seu uso como ferramenta de bioindicação são ainda escassos, especialmente no Brasil, e os poucos trabalhos existentes envolvem análises morfométricas em populações e não em comunidades ecológicas ao longo de gradientes. Uma exceção é o estudo de Anciães & Marini (2000), que trata da AF de uma comunidade de passeriformes em relação a aspectos ligados à fragmentação e efeito da área sobre a simetria de asas de aves. Considerando-se a enorme lacuna nas informações do uso dessa ferramenta em avaliações de comunidades de borboletas, este trabalho teve como objetivo analisar o efeito do gradiente altitudinal na assimetria das asas das borboletas, tendo a assimetria flutuante como indicativo de estresse ambiental. A hipótese testada foi que a AF aumentaria proporcionalmente ao aumento da altitude, indicando maior estresse da comunidade nos locais mais elevados no gradiente.

## **Materiais e Métodos**

### ***Área de estudo***

A Serra de São José localiza-se na porção centro-sul de Minas Gerais, abrangendo os municípios de Prados, Tiradentes, São João del-Rei, Santa Cruz de Minas e Coronel Xavier Chaves. Pertence ao sistema da Serra da Mantiqueira, porém sua vegetação e características geológicas são bastante semelhantes às da Cadeia do Espinhaço (Oliveira-Filho & Machado 1993, Vasconcelos 2011). Situada no Campo das Vertentes, a Serra apresenta fitofisionomias dos domínios Cerrado e Atlântico, sendo a vegetação do último

classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana. Possui elevações que vão de 800 m a pouco mais de 1.400 m de altitude, sendo o Campo Rupestre a fitofisionomia de Cerrado mais representativa ao longo do gradiente altitudinal. Apresenta extensão e largura aproximadas de 12 km e 1,2 km, respectivamente. O clima é mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagens de inverno (tipo Cwb na classificação Köppen). A precipitação média anual é em torno de 1.500 mm e a temperatura média varia de 19 a 20°C. Pela identificação de áreas prioritárias para conservação de Minas Gerais, a Serra de São José é classificada como sendo de importância muito alta para conservação (Gonzaga *et al.* 2008, Souza *et al.* 2010, Bedê *et al.* 2015). Para a amostragem de borboletas ao longo do gradiente altitudinal foram demarcados sete pontos em contas com intervalos de 100 m (Tabela 1).

**Tabela 1:** Cotas altitudinais e suas coordenadas na Serra de São José – MG, onde as borboletas deste estudo foram amostradas.

<b>Altitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<b>800 m</b>	21° 7' 8.87'' S	44° 12' 1.46'' W
<b>900 m</b>	21° 7' 5.94'' S	44° 12' 1.94'' W
<b>1000 m</b>	21° 6' 46.9'' S	44° 12' 6.61'' W
<b>1100 m</b>	21° 5' 3.17'' S	44° 9' 57.00'' W
<b>1200 m</b>	21° 5' 0.67'' S	44° 9' 48.58'' W
<b>1300 m</b>	21° 3' 44.51'' S	44° 7' 10.68'' W
<b>1400 m</b>	21° 3' 45.62'' S	44° 7' 22.84'' W



### ***Coleta de dados***

Este estudo foi realizado para toda a comunidade de borboletas amostrada ao longo do gradiente altitudinal da Serra de São José. Apenas dois requisitos básicos foram estabelecidos: 1) As espécies amostradas deveriam apresentar pelo menos três indivíduos para serem selecionadas para a análise de assimetria e 2) As asas direita e esquerda deveriam estar igualmente em condições de serem medidos os caracteres selecionados. Para tal, o ideal seria uma amostragem mais representativa possível, com a coleta do máximo de indivíduos possível para medições das asas.

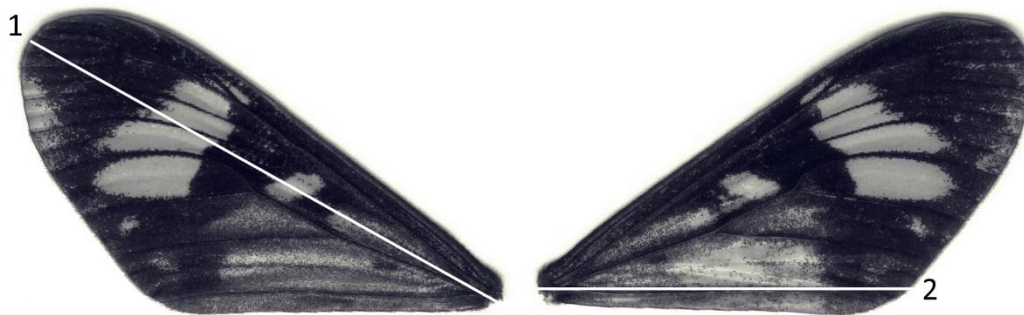
Devido às características intrínsecas do Campo Rupestre de grande parte da Serra, poucos locais apresentam árvores ou fragmentos de mata (Silva Jr 2012) que permitem a colocação e uso de armadilhas. Nas áreas com vegetação propícia para tal, foram utilizadas para a captura de borboletas frugívoras armadilhas do tipo Van-Someren Rydon, que ficaram expostas em campo por 72 horas. Tais armadilhas possuem as dimensões exigidas pelo padrão da RedeLep (Rede Nacional de Pesquisa e Conservação dos Lepidópteros) do ICMBio, e continham iscas atrativas de banana fermentadas por 48 horas (Uehara-Prado *et al.* 2009, Santos *et al.* 2011). Porém, a principal forma de captura das borboletas neste estudo se deu por coleta ativa com redes entomológicas (puçás), que permitiu a captura de espécies frugívoras e nectarívoras. Os indivíduos capturados foram acondicionados em envelopes entomológicos, contendo altitude, data e horário da coleta. As borboletas foram sacrificadas, devidamente montadas e posteriormente identificadas com o auxílio de guias e/ou consulta a especialistas. As borboletas foram organizadas em uma coleção de referência depositada na Coleção Zoológica do Departamento de Ciências Naturais da Universidade Federal de São João del-Rei (DCNat - UFSJ), e as réplicas das espécies foram utilizadas para a medição da assimetria das asas.

As coletas foram realizadas nos meses de março, abril, junho, julho, novembro e dezembro de 2016 e de janeiro a março de 2017. Para avaliar se a altitude exerce influência na assimetria das asas da comunidade de borboletas da Serra de São José, foram realizadas amostragens ao longo do gradiente altitudinal, entre 800 e 1.413 m, em todas as estações de coleta. Com auxílio de GPS e altímetro, a cada 100 m de altitude foram realizadas amostragens por caminhadas nas cotas altitudinais marcadas e repetições horizontais em cada cota foram realizadas por esforço-hora. Foram anotados os pontos de altitude com suas respectivas coordenadas, data e hora.

As borboletas foram amostradas em horários alternados ao longo do dia, com ênfase nos períodos da manhã e início da tarde, que são os momentos de maior atividade da maioria das borboletas (Casagrande *et al.* 1998, Basset *et al.* 2011, Ritter *et al.* 2011). Cada cota altitudinal teve aproximadamente 5 horas de coleta ativa por estação de coleta e foram realizadas mais de 100 horas efetivas ao longo do gradiente, seguindo o proposto por Uehara-Prado *et al.* (2004).

### ***Análise de dados***

Dois caracteres da face dorsal das asas superiores - o comprimento e a largura - foram medidos e avaliados para as asas direita e esquerda de um mesmo indivíduo. O caractere largura foi medido a partir da nervura que conecta a asa ao corpo até a maior medida horizontal da asa, seguindo um ângulo de 180°, e o comprimento partiu do mesmo ponto até a maior medida diagonal da asa (Figura 1).



**Figura 1:** Caracteres bilaterais avaliados para as asas das borboletas da Serra de São José, Minas Gerais, onde são mostradas as medidas de comprimento (1) e largura (2) para uma borboleta modelo.

Foram analisadas 370 borboletas pertencentes a 29 espécies das famílias Hesperiiidae (S = 6, N = 92), Lycaenidae (S = 2, N = 22), Nymphalidae (S = 14, N = 164, Papilionidae (S = 2, N = 10) e Pieridae (S = 5, N = 82). As borboletas de cada cota altitudinal foram admitidas como constituindo uma comunidade independente, como exposto na Tabela 2. Houve grande substituição de espécies ao longo do gradiente altitudinal, mas muitas das espécies selecionadas para a medição da assimetria foram encontradas em várias cotas. Portanto, o número de espécies mostrado na tabela não é acumulativo para todo o gradiente.

**Tabela 2:** Relação da comunidade de borboletas avaliadas quanto à assimetria flutuante na Serra de São José, Minas Gerais, separadas por altitude.

Altitude (m)	Indivíduos (N)	Espécies (S)
800	123	20
900	42	17
1000	53	17

<b>1100</b>	28	14
<b>1200</b>	27	12
<b>1300</b>	70	17
<b>1400</b>	27	14

Para avaliar o efeito do gradiente altitudinal na assimetria das asas, estas foram cuidadosamente destacadas e escaneadas, tendo as imagens calibradas para medições em mm (Ladeira 2016) no software ImageJ (Rasband 1997). A assimetria nos dois caracteres foi calculada como a diferença média entre os lados esquerdo e direito das asas com base nos seguintes índices (Palmer & Strobeck 1986, Anciães & Marini 2000):

$$FA_L = V \left| \frac{LD-LE}{(LD+LE)/2} \right| \quad FA_W = V \left| \frac{WD-WE}{(WD+WE)/2} \right|$$

Onde: FA = Assimetria Flutuante, V = Variância, L = Comprimento, W = Largura, D = Lado Direito, E = Lado Esquerdo. Os índices são corrigidos pelo tamanho dos órgãos, calculados como os valores absolutos dos lados direito menos o esquerdo (LD - LE) divididos pela média (LD + LE) / 2, para corrigir o efeito do tamanho: asas maiores poderiam apresentar maior valores de AF do que asas menores, gerando uma interpretação errônea.

Foi testada a distribuição de frequência de valores dos caracteres avaliados nos lados direito e esquerdo de cada indivíduo, pelos testes *t* e Liliefors, e estes foram utilizados para calcular um índice de assimetria flutuante para a comunidade (Anciães & Marini 2000) de cada cota altitudinal, utilizando os valores médios de cada espécie como réplica. Os índices de assimetria para a comunidade de borboletas de cada ponto altitudinal foram então regressados contra a altitude através de regressão linear simples. Todas as análises estatísticas foram feitas no software SYSTAT 12.0 (Wilkinson 1992).

Para contornar a possibilidade de erros de medida, após a medição dos caracteres de comprimento e largura para as 370 borboletas, 111 borboletas (30% das amostras)

foram escolhidas ao acaso e tiveram suas medidas refeitas para teste duplo-cego e cálculo de um índice de repetibilidade (Falconer 1981).

## Resultados

A comunidade de borboletas apresentou padrões verdadeiros de assimetria flutuante, de forma que a distribuição de frequência de valores dos dois caracteres amostrados nos lados direito e esquerdo das asas apresentaram distribuição normal. Os valores médios não desviaram significativamente de zero (*one-sample t-test*), onde  $p > 0.05$  para ambos os caracteres, como era esperado (Comprimento:  $t = -1,326$  e  $p = 0.186$ ; Largura:  $t = 1.751$  e  $p = 0.081$ ). Os valores de AF das asas variaram entre 0 e 2.29 mm para o comprimento e entre 0 e 1.3 mm para a largura, considerando-se todas as borboletas amostradas. O índice de repetibilidade calculado para cada caractere apresentou valores altos (comprimento:  $R^2 = 0.81$ ;  $p < 0.0001$  e largura:  $R^2 = 0.72$ ;  $p < 0.0001$ ), indicando que as medidas de AF foram precisas e descartando a possibilidade de valores que refletem erros de medida. Os valores da estatística descritiva para a AF da comunidade em cada altitude são mostrados na Tabela 3. Das 370 borboletas amostradas, somente 12 e 8 indivíduos apresentaram simetria perfeita ( $AF = 0$ ) para o comprimento e largura das asas, respectivamente, mas nenhum apresentou os dois caracteres simétricos simultaneamente.

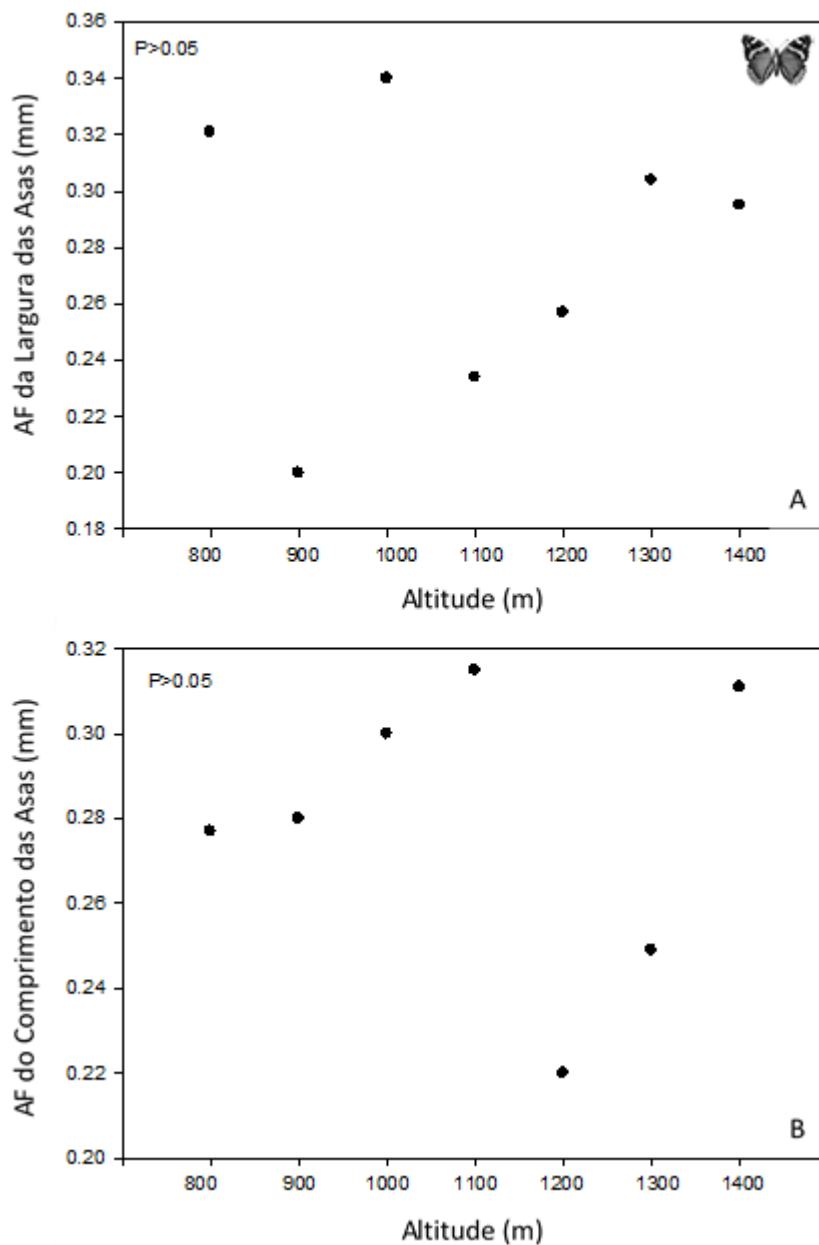
**Tabela 3:** Análises da assimetria flutuante no comprimento e largura das asas da comunidade de borboletas da Serra de São José, Minas Gerais. Para cada cota altitudinal são mostrados os valores da média, erro padrão (EP) e os valores de variância (IV) calculados com o índice de assimetria  $\text{Index} = LD-LE / [(LD+LE) / 2]$ .

Altitude	Comprimento			Largura		
	Média	EP	IV	Média	EP	IV
<b>800m</b>	0.277	0.027	0.022	0.321	0.025	0.024
<b>900m</b>	0.280	0.057	0.037	0.200	0.026	0.005
<b>1000m</b>	0.300	0.043	0.028	0.340	0.035	0.021
<b>1100m</b>	0.315	0.078	0.051	0.234	0.042	0.011
<b>1200m</b>	0.220	0.165	0.011	0.257	0.036	0.008
<b>1300m</b>	0.249	0.023	0.008	0.304	0.034	0.022
<b>1400m</b>	0.311	0.066	0.035	0.295	0.050	0.017

Com relação ao efeito do gradiente na assimetria, as duas medidas das asas mostraram padrões verdadeiros de AF em cada cota altitudinal. Contudo, não foi encontrado nenhum padrão estatisticamente significativo e não houve aumento da AF com o aumento da elevação (Figura 2), indicando que a altitude não age como fator de estresse ambiental para a comunidade de borboletas da Serra de São José. Na relação das medidas do comprimento das asas (Figura 2 - B), há uma tendência do aumento dos valores de AF da cota mais baixa até 1100 m de altitude, onde há uma quebra dessa tendência com os valores encontrados em 1200 m. A AF do comprimento se mostra maior na altitude mais elevada, porém não há uma relação estatisticamente significativa com o gradiente altitudinal ( $p > 0.05$ ).

Em cada altitude, os valores da AF do comprimento das asas variaram (em mm) de 0.003 a 2.233 em 800 m, de 0.009 a 2.229 em 900 m, de 0.007 a 1.557 em 1000 m, de 0 a 1.818 em 1100 m, de 0.011 a 0.991 em 1200 m, de 0.001 a 0.776 em 1300 m e de 0.005 a 1.448 em 1400 m. Para a largura das asas, a AF variou (em mm) de 0 a 1.305 em 800 m, de 0.008 a 0.569 em 900 m, de 0.026 a 0.963 em 1000 m, de 0.007 a 0.887 em

1100 m, de 0 a 0.786 em 1200 m, de 0.008 a 1.086 em 1300 m e de 0.014 a 0.809 em 1400 m.



**Figura 2:** Relação entre assimetria flutuante (AF) na largura (A) e comprimento (B) das asas da comunidade de borboletas ao longo do gradiente altitudinal na Serra de São José, Minas Gerais. São apresentados os valores médios de assimetria, sem correção pela variância, a título de compreensão.

## **Discussão**

As borboletas da Serra de São José apresentaram alterações morfológicas expressas como assimetria, mostrando padrões verdadeiros de assimetria flutuante para os dois caracteres avaliados, o comprimento e a largura das asas. Porém, não existe nenhuma relação da assimetria com a altitude para esta comunidade de borboletas, refutando a hipótese inicialmente apresentada de que haveria aumento da assimetria com o aumento da altitude.

A AF descreve variações pequenas e não direcionais e assume que a diferença entre os caracteres morfológicos direito e esquerdo é exibida, em sua maioria, próxima à média zero (Breuker & Brakefield 2003, Weller & Ganzhorn 2004, Vogel *et al.* 2012, Nikiforou & Manetas 2017). É uma forma prática e eficiente de se avaliar a saúde do ambiente e a vulnerabilidade de organismos (Windig & Nylin 2002, Beasley *et al.* 2013), funcionando como um índice de biomonitoramento para a proteção de ecossistemas (Anciães & Marini 2000, Ladeira 2016). Como detectado neste estudo, as borboletas da Serra de São José apresentaram AF, indicando que essa pode ser facilmente detectada através das medidas de largura e comprimento das asas superiores das borboletas avaliadas.

Recentemente, Ladeira (2016) analisou como a assimetria flutuante de asas pode funcionar como indicativo de estresse ambiental avaliando três espécies de borboletas frugívoras ao longo de gradientes ambientais de fragmentação e sucessão secundária. No estudo, a autora encontrou padrões verdadeiros de AF quando realizou medidas da largura e comprimento das asas, assim como foi encontrado para as borboletas da Serra de São José, mas somente dois caracteres que mediam distâncias de venações nas asas superiores apresentaram valores significativamente maiores de AF quando comparados os estágios sucessionais. Em conjunto com nossos dados, esses poucos estudos de borboletas têm



mostrado a presença de AF em populações (Ladeira 2016) e comunidades (este estudo), mas os fatores ambientais responsáveis pela expressão da assimetria e as variações no nível de assimetria merecem melhor investigação. Nosso estudo demonstra que a variação na altitude apenas não é suficiente para explicar a variação na AF para uma comunidade de 29 espécies de borboletas.

Anciães & Marini (2000) realizaram um estudo de AF a nível de comunidade avaliando a assimetria de dois caracteres morfológicos, a asa e o tarso, em uma comunidade de passeriformes de uma região florestal no sudeste do Brasil. Este estudo mostrou que existe ligação da AF com mudanças no ambiente e que a fragmentação florestal induziu o aumento da AF em comunidades isoladas de passeriformes. Entretanto, para borboletas, não existem estudos que tenham avaliado a AF a nível de comunidade para permitir a comparação de valores.

Alterações antrópicas (e.g., fragmentação, poluição, urbanização) podem afetar diretamente o desenvolvimento dos indivíduos. Tais alterações são relacionadas a valores mais altos de AF em alguns estudos (e.g., Lens *et al.* 1999, Weller & Ganzhorn 2004, Sanseverino & Nessimian 2008, revisão em Beasley *et al.* 2013) e sabe-se que a estrutura da comunidade de borboletas se altera diante de perturbações (Fermon *et al.* 2003, Freitas 2010). Apesar de ser uma área protegida, a Área de Proteção Ambiental da Serra de São José não é uma unidade de conservação de proteção integral. Em suas menores altitudes (800 e 900 m) há muita visitação, sendo esta a parte com maior influência antrópica na Serra. Este pode ser um dos fatores que justificam os altos valores de AF no comprimento das asas nestes pontos e de AF da largura das asas em 800 m, tendo sido, juntamente com a cota de 1.000 m, os maiores valores de assimetria encontrados para este caractere. Esta ausência de padrão na assimetria das borboletas mostra que várias são as causas de estresse para esta comunidade e não somente a altitude deve ser avaliada. Mudanças

climáticas ou de composição florística que ocorrem ao longo do gradiente, ou mesmo mudanças a nível de microhabitats, podem ser suficientes para causar assimetria na comunidade de borboletas, independente da variação na altitude.

Diversos fatores restringem o nicho das espécies. McCain & Grytnes (2010) sugerem que em ambientes de altitude, o modelo de paisagem mais comum são serras e montanhas em forma de triângulo, em que a base apresenta maior área e esta vai diminuindo até o topo. Como as espécies apresentam estreita relação com a área, é provável que este fator exerça grande influência na distribuição das espécies e no estresse ao qual elas são submetidas ao longo de sua vida. Sendo assim, as borboletas amostradas na Serra de São José podem apresentar diferentes valores de AF não pelo gradiente altitudinal, mas talvez pela área disponível. Utilizando o mesmo raciocínio da relação espécie-área, espera-se que exista maior diversidade e/ou disponibilidade de espécies vegetais também nas altitudes que possuam maior área horizontal. Sabe-se que as borboletas têm forte ligação com as espécies vegetais - com a porção foliar quando jovens e com as flores e frutos quando adultas (Sawchik *et al.* 2003, Carvalho *et al.* 2013, Carvalho & Morais 2015). Anciães & Marini (2000) citam estudos que indicam que a baixa disponibilidade de alimento pode funcionar como fonte de estresse ambiental e causar aumentos da AF. Portanto, a busca e competição por recursos alimentares podem exercer maior influência na assimetria das borboletas, expondo-as a um maior nível de estresse.

Algumas espécies de borboletas apresentam baixa capacidade de deslocamento (Ladeira 2016), o que poderia ser um fator de impedimento para que habitantes dos extremos altitudinais da Serra não se encontrassem, sugerindo que as borboletas apresentassem características e comportamentos diferentes entre as cotas e, para tanto, poderiam ser avaliadas como comunidades distintas. Contudo, apesar de haver grande

substituição de espécies ao longo do gradiente da Serra, a altitude parece não ter exercido influência no isolamento das comunidades de cada cota e algumas espécies da comunidade são comuns a todas as cotas altitudinais e serão objeto de avaliação da AF a nível populacional em estudos futuros.

Existe uma grande escassez de informações sobre a assimetria flutuante em comunidades. Este estudo foi pioneiro nas análises de AF para uma comunidade de borboletas e contribui para o aumento do conhecimento da área. As borboletas da Serra de São José apresentaram AF no comprimento e largura das asas, porém não existiu nenhum vínculo da assimetria com a altitude, não sendo este um fator de estresse para esta comunidade. A ausência dessa relação pode ser explicada pelo fato da Serra não apresentar gradiente altitudinal elevado, o que pode facilitar a movimentação das borboletas entre as cotas altitudinais, indicando que sua área de nidificação não se restringe a determinadas cotas. Outros fatores que não a altitude (e.g., disponibilidade de recursos alimentares, diferenças no tamanho do habitat, heterogeneidade do habitat, fatores genéticos) podem exercer maior influência na assimetria dessas borboletas e serão investigados.

## Referências Bibliográficas

- Anciães M, Marini MÁ. 2000. The effects of fragmentation on fluctuating asymmetry on passerine birds of Brazilian tropical forests. *Journal of Applied Ecology* 37: 1013-1028.
- Basset Y, Eastwood R, Sam L, Lohman DJ, Novotny V, Treuer T, Miller SE, Weiblen GD, Pierce NE, Bunyavejchewin S, Sakchoowong W, Kongnoo P, Osorio-arenas MA. 2011. Comparison of rainforest butterfly assemblages across three biogeographical regions using standardized protocols. *The Journal of Research on the Lepidoptera* 44: 17-28.
- Beasley DAE, Bonisoli-Alquati A, Mousseau TA. 2013. The use of fluctuating asymmetry as a measure of environmentally induced developmental instability: A meta-analysis. *Ecological Indicators* 30: 218-226.
- Bedê LC, Machado ABM, Piper W, Souza MM. 2015. Odonata of the Serra de São José – Brazil's first Wildlife Reserve aimed at the conservation of dragonflies. *Notulae odonatologicae* 8: 117-155.
- Breuker CJ, Brakefield PM. 2003. Heat shock in the developmentally sensitive period of butterfly eyespots fails to increase fluctuating asymmetry. *Evolution & Development* 5: 231-239.
- Carvalho APS, Gottschalk MS, Morais ABB. 2013. Identificação de Catalogação de Borboletas (Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) da Coleção Entomológica da Universidade Federal do Rio Grande. *EntomoBrasilis* 6: 227-231.
- Carvalho APS, Morais ABB. 2015. Borboletas associadas a ambientes de restinga no extremo sul do Brasil (Lepidoptera: Papilionoidea). *SHILAP Revista de Lepidopterología* 43: 349-363.
- Casagrande MM, Mielke OHH, Brown KSJr. 1998. Borboletas (Lepidoptera) ameaçadas de extinção em Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 15: 241-259.
- Cornelissen T, Stiling P. 2005. Perfect is best: low leaf fluctuating asymmetry reduces herbivory by leaf miners. *Oecologia* 142: 46-56.
- Cornelissen T, Stiling P. 2010. Small variations over large scales: fluctuating asymmetry over the range of two oak species. *International Journal of Plant Sciences* 3: 303-309.
- Cornelissen T, Stiling P. 2011. Similar responses of insect herbivores to leaf fluctuating asymmetry. *Arthropod-Plant Interactions* 5: 59-69.
- Eterovick PC, Sloss BL, Scalzo JAM, Alford RA. 2016. Isolated frogs in a crowded world: Effects of human-caused habitat loss on frog heterozygosity and fluctuating asymmetry. *Biological Conservation* 195: 52-59.
- Falconer DS. 1981. *Introduction to quantitative genetics*, 2nd edn., Longman, New York.
- Fermon H, Waltert M, Mühlenberg M. 2003. Movement and vertical stratification of fruit-feeding butterflies in a managed West African rainforest. *Journal of Insect Conservation* 7: 7-19.
- Fernandes GW, Almeida HA, Nunes CA, Xavier JHA, Cobb NS, Carneiro MAA, Cornelissen T, Neves FS, Ribeiro SP, Nunes YRF, Pires ACV, Beirão MV. 2016. Cerrado to Rupestrian Grasslands: Patterns of Species Distribution and the Forces

- Shaping Them Along an Altitudinal Gradient. In: Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil. Springer, São Paulo, p. 345-377.
- Freitas AVL. 2010. Impactos potenciais das mudanças propostas no Código Florestal Brasileiro sobre as borboletas. *Biota Neotropica* 10: 53-58.
- Gonzaga APD, Oliveira-Filho AT, Machado ELM, Hargreaves P, Machado JNM. 2008. Diagnóstico florístico-estrutural do componente arbóreo da floresta da Serra de São José, Tiradentes, MG, Brasil. *Acta botanica brasílica* 22: 505-520.
- Graham JH, Raz S, Hel-Or H, Nevo E. 2010. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. *Symmetry* 2: 466-540.
- Kanegae AP, Lomônaco C. 2003. Plasticidade morfológica, reprodutiva e assimetria flutuante de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) sob diferentes temperaturas. *Neotropical Entomology* 32: 37-43.
- Ladeira FA. 2016. Uso da assimetria flutuante em borboletas como bioindicador de mudanças ambientais em fragmentos florestais e gradiente de regeneração. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, 60 p.
- Lens L, van Dongen S, Wilder CM, Brooks TM, Matthysen E. 1999. Fluctuating asymmetry increases with habitat disturbance in seven bird species of a fragmented afro-tropical forest. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 266: 1241-1246.
- Lens L, Van-Dongen S, Kark S, Matthysen E. 2002. Fluctuating asymmetry as an indicator of fitness: can we bridge the gap between studies? *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society* 77: 27-38.
- Lima CBS, Nunes LA, Carvalho CAL, Ribeiro MF, Souza BA, Silva CSB. 2016. Morphometric differences and fluctuating asymmetry in *Melipona subnitida* Ducke 1910 (Hymenoptera: Apidae) in different types of housing. *Brazilian Journal of Biology* 76: 845-850.
- McCain CM, Grytnes JA. 2010. Elevation gradients in species richness. *Encyclopedia of Life Science*, 10 p.
- Møller AP. 1997. Developmental stability and fitness: a review. *The American Naturalist* 149: 916-932.
- Moura FO, Azevedo CS. 2011. Comportamento de vôo de borboletas frugívoras do Parque Natural Municipal Chácara do Lessa, Sabará / MG. *e-Scientia* 4: 27-36.
- Nikiforou C, Manetas Y. 2017. Ecological stress memory: Evidence in two out of seven species through the examination of the relationship between leaf fluctuating asymmetry and photosynthesis. *Ecological Indicators* 74: 530-534.
- Oliveira-Filho AT, Machado JNM. 1993. Composição florística de uma Floresta Semidecídua Montana, na Serra de São José, Tiradentes, Minas Gerais. *Acta botanica brasílica* 7: 71-88.
- Palmer AR, Strobeck C. 1986. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. *Annual Review of Ecology and Systematics* 391:421.
- Rasband WS. 1997. ImageJ software. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland.
- Ritter CD, Lemes R, Morais ABB, Dambros CS. 2011. Borboletas (Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) de fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biota Neotropica* 11: 361-368.

- Sanseverino AM, Nessimian JL. 2008. Assimetria flutuante em organismos aquáticos e sua aplicação para avaliação de impactos ambientais. *Oecologia Brasiliensis* 12: 382-405.
- Santos JP, Iserhard CA, Teixeira MO, Romanowski HP. 2011. Fruit-feeding butterflies guide of subtropical Atlantic Forest and Araucaria Moist Forest in State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Biota Neotropica* 11: 253-274.
- Sarre S, Dearn JM, Georges A. 1994. The application of fluctuating asymmetry in the monitoring of animal populations. *Pacific Conservation Biology* 1: 118-122.
- Sawchik J, Dufrière M, Lebrun P. 2003. Estimation of habitat quality based on plant community, and effects of isolation in a network of butterfly habitat patches. *Acta Oecologica* 24: 25-33.
- Silva Jr, MC. 2012. 100 Árvores do Cerrado: sentido restrito. Guia de campo. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado. 303 p.
- Souza MM, Ladeira TE, Assis NRG, Campos AE, Carvalho P, Louzada JNC. 2010. Ecologia de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae) no Campo Rupestre na Área de Proteção Ambiental, APA, São José, Tiradentes, MG.
- Telhado C, Silveira FAO, Fernandes GW, Cornelissen T. 2017. Fluctuating asymmetry in leaves and flowers of sympatric species in a tropical montane environment. *Plant Species Biology* 32: 3-12.
- Tsubaki Y, Matsumoto K. 1998. Fluctuating asymmetry and male mating success in a sphragis-bearing butterfly *Luehdorfia japonica* (Lepidoptera: Papilionidae). *Journal of Insect Behavior* 11: 571-582.
- Uehara-Prado M, Fernandes JO, Bello AM, Machado G, Santos AJ, Vaz-de-Mello FZ, Freitas AVL. 2009. Selecting terrestrial arthropods as indicators of small-scale disturbance: A first approach in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation* 142: 1220-1228.
- Uehara-Prado M, Freitas AVL, Francini RB, Brown KSJr. 2004. Guia das borboletas frugívoras da Reserva Estadual do Morro Grande e região de Caucaia do Alto, Cotia (São Paulo). *Biota Neotropica* 4: 1-25.
- Vasconcelos MF. 2011. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? *Revista Brasileira de Botânica* 34: 241-246.
- Vogel HF, Zawadzki CH, Silva GS, Ramos CCO, Bechara FC. Assimetria Flutuante: dados iniciais de uma taxocenose de sabiás (Passeriformes, Turdidae) ocorrentes em um parque urbano na região centro-sul do estado do Paraná, Brasil. *Publicatio UEPG: Ciências Biológicas e da Saúde* 18: 25-30.
- Weller B, Ganzhorn JU. 2004. Carbid beetle community composition, body size, and fluctuating asymmetry along an urban-rural gradient. *Basic and Applied Ecology* 5: 193-201.
- Wilkinson L. 1992. SYSTAT for Windows: statistics, graphics, data, getting started. Systat, Evanston.
- Wilsey BJ, Haukioja E, Koricheva J, Sulkinoja M. 1998. Leaf fluctuating asymmetry increases with hybridization and elevation in tree-line birches. *Ecology* 79: 2092-2099.

- Windig JJ, Nylin S. 2002. Genetics of fluctuating asymmetry in pupal traits of the Speckled Wood butterfly (*Pararge aegeria*). *Heredity* 89: 225-234.
- Windig JJ, Rintamäki PT, Cassel A, Nylin S. 2000. How useful is fluctuating asymmetry in conservation biology: Asymmetry in rare and abundant *Coenonympha* butterflies. *Journal of Insect Conservation* 4: 253-261.

## **Conclusão Geral**

São poucos os estudos sobre borboletas em Minas Gerais, especialmente em Campos Rupestres e regiões montanhosas. Este estudo é o primeiro na microrregião de São João del-Rei do Campo das Vertentes e contribui para o conhecimento de borboletas em gradientes altitudinais. A distribuição de borboletas na Serra de São José - MG, onde foi realizado o estudo, não apresentou um padrão em relação à altitude, contrariando o esperado que a riqueza de espécies diminuiria com a elevação do gradiente. A riqueza de borboletas encontrada na Serra de São José foi alta, apesar de ainda existirem espécies a serem descobertas na região, e a composição de espécies se mostrou bastante distinta ao longo do gradiente. Foi encontrada uma grande quantidade de espécies raras na Serra, sugerindo que este local seja importante para a conservação dessa comunidade de borboletas.

Diversos fatores ambientais exercem influência no desenvolvimento das borboletas. Dentre estes fatores, a altitude foi testada como fonte de estresse por meio de análises de assimetria flutuante (AF). Este estudo foi pioneiro nas análises de AF para uma comunidade de borboletas e contribui para o preenchimento das enormes lacunas existentes em estudos de assimetria a nível de comunidade. As borboletas da Serra de São José apresentaram padrões verdadeiros de AF no comprimento e largura das asas, porém não houve correlação da assimetria com a altitude, indicando que este não é um fator de estresse para essa comunidade. A ausência dessa relação indica que outros fatores, como disponibilidade de habitat e de recursos alimentares, por exemplo, exercem maior influência na assimetria dessas borboletas e devem ser investigados.