

## Modularidade em uma rede mutualística esfingídeo-planta e a importância do comportamento e da morfologia

ANDREZA DE ÁVILA LAUTENSCHLEGER<sup>1</sup>; LIS CAVALHEIRO<sup>2</sup>; CRISTIANO AGRA ISERHARD<sup>3</sup>; JEFFERSON VIZENTIN-BUGONI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – andrezaalauten@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – lisbdc@hotmail.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas – cristianoagra@yahoo.com.br*

<sup>4</sup>*University of Illinois at Urbana-Champaign (EUA) – jbugoni@yahoo.com.br*

### 1. INTRODUÇÃO

A polinização é uma das interações mutualísticas mais elementares para a estrutura das comunidades e para o funcionamento dos ecossistemas. (RECH et al., 2014). Esta estreita relação ecológica pode desencadear um processo coevolutivo de adaptação convergente entre o aparelho bucal do polinizador e as características florais (AMORIM, 2012). A soma de atributos florais relacionados à polinização por um determinado vetor de pólen é conhecida como síndrome de polinização. Dentre essas síndromes há a chamada síndrome de esfingofilia, apresentada por plantas polinizadas por Sphingidae (Lepidoptera) (RECH et al., 2014) responsável pela manutenção de, pelo menos, 20 famílias de angiospermas (AMORIM, 2008).

Tipicamente, plantas esfingófilas apresentam antese noturna, cores albas, ausência de guia de néctar, liberação de odor e tubos florais longos e estreitos cobertos por tricomas (RECH et al., 2014), que restringem o acesso ao recurso aos visitantes com língua longa, tais como esfingídeos (OLIVEIRA et al., 2014). Esfingídeos são mariposas exclusivamente nectarívoras, com probóscides longas e hábitos noturnos quando adultos. Existem, porém, espécies cujas probóscides são mais curtas que atuam no período crepuscular (RECH et al., 2014) podendo, assim, interagir com plantas de antese predominantemente diurna e com sistema de polinização misto (AMORIM, 2012).

A relação esfingídeo-planta pode ser descrita por meio de redes complexas de interações. Essas redes são representações gráficas das relações ecológicas entre assembleias de plantas e polinizadores em nível de comunidade. Através dessas redes é possível inferir processos e padrões organizadores de comunidades, sendo uma ferramenta analítica para o estudo de questões relacionadas à estrutura destas interações de polinização (FREITAS et al., 2014).

A estrutura dessas redes pode ser investigada por um conjunto de métricas, que são estatísticas agregadas da matriz de interações que descrevem padrões internos tais como a topologia. Dentre as principais métricas topológicas de redes está a modularidade, que descreve subconjuntos de espécies que interagem mais entre si do que com os demais membros da comunidade, formando módulos de interações. A ocorrência de módulos sugere a existência de certo nível de especialização das interações na comunidade e pode ser associada a processos ecológicos, históricos e/ou evolutivos, tais como a coevolução, sobreposição fenológica das espécies, barreiras morfológicas e/ou distribuição de nichos (FREITAS et al., 2014; MARUYAMA et al., 2014; RECH et al., 2014). Porém, a existência de modularidade nas redes de interações esfingídeo-planta e seus determinantes permanecem pouco compreendidos.

Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo (i) descrever a rede mutualística de interação esfingídeo-planta em uma área de Pampa e (ii) investigar a modularidade desta rede. Nossa hipótese é que a rede será modular,

e que esses módulos serão coerentes com as diferenças morfológicas (tamanho médio da probóscide) e comportamentais (horários de atuação) existentes entre as espécies na comunidade.

## 2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil, especificamente no Horto Botânico Irmão Teodoro Luís e arredores do campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). As coletas de dados foram realizadas entre novembro de 2015 e abril de 2017.

Para a elaboração da rede de interações esfingídeo-planta foram realizadas observações focais em plantas esfingófilas ou cujas flores fossem possivelmente visitadas por essas mariposas. Cada uma das 18 espécies de plantas acompanhadas foram observadas por, no mínimo, 10 horas. Foram consideradas apenas interações legítimas as quais os esfingídeos potencialmente tocaram as estruturas reprodutivas das flores. Em campo, as mariposas foram capturadas com rede entomológica e armazenadas em envelopes entomológicos, e em laboratório foram montadas, identificadas e acondicionadas no Laboratório de Ecologia de Lepidoptera (UFPel).

Para testar se a rede observada é modular foi utilizado o algoritmo de otimização QuanBiMo disponível no pacote *bipartite* do R (DORMANN et al. 2008). Este algoritmo busca módulos na rede quantitativa através de subdivisões aleatórias da rede, aceitando progressivamente os maiores valores de modularidade encontrados em  $10^6$  tentativas. Como o algoritmo é de otimização, pode haver variações sutis no valor de modularidade encontrada, dessa forma, repetimos a análise 10 vezes e consideramos o maior valor encontrado, como proposto por MARUYAMA et al. (2014). Os módulos formados foram interpretados para o maior valor de modularidade obtido, após o teste de significância. A significância foi estimada através da comparação do valor observado com o valor esperado ao acaso pelo nulo *vaznull* (intervalo de confiança de 95% baseado em 100 aleatorizações) que realoca aleatoriamente as interações dentro das matrizes mas mantém as mesmas dimensões e conectância da matriz observada.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 402 horas de esforço amostral foram observadas 18 espécies de plantas, sendo que destas 13 tiveram registro de visitações por 17 espécies de Sphingidae. Foram registradas 233 visitas em 46 *links* (pares esfingídeo-planta) que representam 20% das interações possíveis (conectância = 0,20). A rede foi modular com  $Q_{obs} = 0,49$  ( $Q_{modelo\_nulo} = 0,17 - 0,25$ ; 95% Intervalo de Confiança) com a detecção de quatro módulos (Figura 1). O módulo A é composto apenas por *Aellopos tantalus* (Linnaeus, 1758) e cinco plantas. Esta mariposa é tipicamente crepuscular e quatro das cinco espécies de plantas deste módulo não apresentam flores esfingófilas. O módulo B é constituído por quatro espécies de esfingídeos com probóscides relativamente curtas e três espécies de plantas com antese diurna, sendo dessas, duas com morfologia de pincel, considerada uma característica esfingófila (AVILA JR., 2009; RECH et al., 2014). Os módulos C e D contiveram mariposas com probóscides relativamente mais longas e exclusivamente flores esfingófilas de antese noturna. O módulo C apresenta sete esfingídeos e três espécies de plantas, enquanto o módulo D possui quatro espécies de esfingídeos e duas espécies vegetais (Figura 1).

Estes resultados sugerem que a formação de módulos está diretamente associada à morfologia e ao comportamento, relacionados (i) ao comprimento das probóscides e a profundidade da corola, e (ii) ao horário de forrageio dos esfingídeos e o período de antese das flores, respectivamente. Isso é ilustrado

pela notável segregação da espécie *Aellopos tantalus* em relação às demais mariposas. Além de crepuscular sua probóscide é curta (em média 1,5 cm) em relação à maioria das espécies de Sphingidae. Dessa forma, tanto o acoplamento morfológico probóscide-flor quanto o horário de forrageio e período de antese das flores visitadas inviabiliza a interação entre *A. tantalus* e a maioria das plantas esfingófilas, o que é chamado de “links proibidos” (Vizentin-Bugoni et al. 2014). Os outros módulos foram compostos por espécies compatíveis em termos de morfologias e comportamentos. Demonstramos que esses “links proibidos” são fundamentais para formação destes módulos, possuindo papéis determinantes no arranjo topológico nesta rede de interações. Este resultado é compatível com o encontrado para uma rede de interação planta-beija-flor no cerrado brasileiro (MARUYAMA et al. 2014), onde a morfologia e a distribuição espacial são os principais fatores estruturadores dos módulos.

O fato de *A. tantalus* atuar em períodos crepusculares pode ser uma adaptação para minimizar a competição com esfingídeos noturnos. Porém, ao visitar flores com corola curta e antese diurna configurando, um sistema de polinização misto (AMORIM 2012), ela também sofre competição com diversos polinizadores de diferentes grupos taxonômicos, incluindo besouros, abelhas, vespas, outras mariposas e beija-flores (LAUTENSCHLEGER; ISERHARD, comunicação pessoal). Pelo fato de *A. tantalus* utilizar cinco das oito espécies de plantas com antese diurna e mais de 1/3 das plantas na rede de interações, sendo todos os links com forte relação (Figura 1), sugerimos um hábito alimentar generalista (ASHWORTH et al., 2004) ser uma estratégia evolutiva adquirida para minimizar esta competição obtendo néctar de diversas fontes alimentares. Neste caso, ser generalista traz mais benefícios do que manter um hábito noturno e eventualmente competir com demais esfingídeos adaptados ao uso de flores claramente esfingófilas. Neste último caso, a interação entre esfingídeos noturnos e plantas esfingófilas é facilitada pela exploração de recursos mais exclusivos. O acoplamento morfológico e a sobreposição do horário de forrageamento/antese geram possivelmente uma especialização no hábito alimentar ao visitarem poucas espécies vegetais (ASHWORTH et al. 2004), formando “níchos exclusivos” (AMORIM 2012). Esta estratégia favorece plantas com corolas compridas e esfingídeos com probóscides longas (Figura 1).

#### 4. CONCLUSÕES

Até onde sabemos, esta é a primeira vez que módulos em redes esfingídeo-planta são demonstrados com a abordagem integrada de redes, evidenciando que os módulos são fortemente determinados não só pelo comportamento desses insetos e horário de antese de flores, mas também pelas morfologias de probóscides e flores. Por meio dos módulos formados é possível averiguar que a síndrome de esfingofilia é mais estreita entre as mariposas e flores noturnas do que mariposas crepusculares e flores diurnas, sendo este último não inserido em um cenário de esfingofilia.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, F. W. A **Floras esfingófila de uma Floresta Ondrófila Densa Montana no sudeste brasileiro e rede mutualísticas com a fauna de Sphingidae**. 2012. Tese (doutorado em Biologia Animal) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas
- ASHWORTH, L. GALETTO, L. AIZEN, M. A. Why do pollination generalist and specialist plant species show similar reproductive susceptibility to habitat fragmentation? Journal of Ecology. v. 92. p. 717-719. 2004.

AVILA JR., R.S. A guilda de plantas esfingófilas e a comunidade de Sphingidae em uma área de Floresta Atlântica do Sudeste do Brasil. 2009.

Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas.

DORMANN, B. CARSTEN, F. JOCHEN F. Introducing the *bipartite* Package: Analysing Ecological Networks. **R News**. v.8. n.2. p. 8-11. 2008.

FREITAS, L. VIZENTIN-BUGONI, J. WOLOWSKI, M. SOUZA T. VARASSIN, I. Interações planta-polinizador e a estruturação das comunidades. In: RECH, A.

OLIVEIRA, R. DUARTE JUNIOR, J. RECH, A. AVILA JR, R. Polinização por lepidópteros. In: RECH, A. AGOSTINI, K. OLIVEIRA, P. MACHADO, I. (Org.). **Biologia da polinização**, 1 ed. Rio de Janeiro, 2014. Cáp 10 p.235-258.

RECH, A. WESTERKAMP, C. Biologia da polinização: uma síntese histórica. In: RECH, A. AGOSTINI, K. OLIVEIRA, P. MACHADO, I. (Org.). **Biologia da polinização**, 1 ed. Rio de Janeiro, 2014. Cáp 1. Pág 24-44.

RECH, A. ÁVILA, R. SCHLINDWEIN, C. Síndromes de polinização: especialização e generalização RECH, A. AGOSTINI, K. OLIVEIRA, P. MACHADO, I. (Org.). **Biologia da polinização**, 1 ed. Rio de Janeiro, 2014. Cáp 8. Pág 171-180.

MARUYAMA, P. K. VIZENTIN-BUGONI, J. OLIVEIRA, G. M. OLIVEIRA, E. DALSGAARD, P.E. Morphological and spatio-temporal mismatches shape a Neotropical Savanna plant-hummingbird network. **Biotropica** V.46 n.6 p.740–747 2014

VIZENTIN-BUGONI, J., MARUYAMA, P.K. & SAZIMA, M. Processes entangling interactions in communities: forbidden links are more important than abundance in a hummingbird–plant network. **Proceedings of the Royal Society B**, Londres, v. 281, n.1 p. 1-8. 2014.

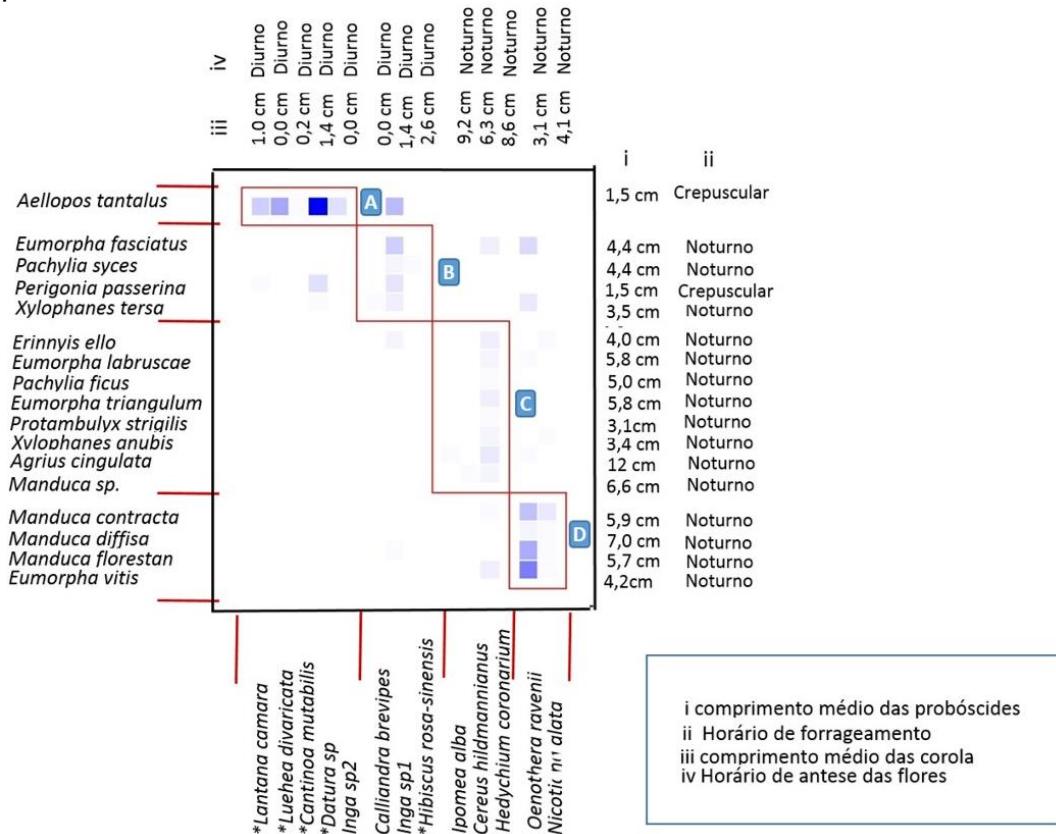


Figura 1: Rede de interações esfingídeo-planta no extremo sul do Brasil com quatro módulos (A, B, C e D). Tons escuros de azul representam links fortes e tons claros links fracos. Asteriscos indicam as plantas não esfingófilas.