



REDE DE VISITAÇÃO FLORAL *VERSUS* REDE DE TRANSPORTE DE PÓLEN ENTRE ABELHAS E PLANTAS NA FLORESTA ATLÂNTICA DO SUL DO BRASIL

Caroline Ribeiro^{1}, Jana Magaly Tesserolli de Souza² & Isabela Galarda Varassin³*

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, CEP 81280-340. Curitiba, PR, Brasil.

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Química e Biologia, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, CEP 81280-340, Curitiba, PR, Brasil.

³ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Botânica, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Laboratório de Interações e Biologia Reprodutiva, Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 100, Jardim das Américas, CEP 81530-000, Curitiba, PR, Brasil.

E-mails: crmeostradoeco@gmail.com (*autor correspondente); janamagaly@yahoo.com.br; isagalarda@gmail.com

Resumo: O estabelecimento das interações planta-polinizador é de grande importância para o funcionamento dos ecossistemas. Estas interações podem ser registradas diretamente, por observação focal, ou indiretamente, pela carga polínica presente no corpo do polinizador. Assim, a avaliação da especialização e da dependência de parceiros mutualísticos, propriedades que podem ser estudadas por meio de redes complexas, depende do método empregado no registro das interações. O principal objetivo deste estudo foi comparar uma rede de visitação floral e uma rede de transporte de pólen construídas a partir de interações entre plantas e abelhas amostradas em 16 parcelas em estágios iniciais de sucessão ecológica na Floresta Atlântica, em Antonina, Paraná, sul do Brasil. O registro das interações foi realizado inicialmente por observação focal, e posteriormente foram amostrados os grãos de pólen aderidos ao corpo de seis espécies de abelha, ficando as duas redes restritas às interações realizadas por estas seis espécies. A rede de transporte de pólen foi subdividida em uma rede de alimentação, utilizando apenas o pólen aderido às corbículas ou escopas das abelhas, e uma rede de polinização, com o pólen presente no corpo, exceto pernas, das abelhas. Estas redes foram comparadas em relação ao grau (k), ao índice de especialização (d') e à força das espécies (F), por meio de testes t pareados. A rede de transporte de pólen apresentou maior número de interações, maior k , menor d' e maior número de espécies de planta que a rede de visitação floral. Não houve variação da F . As redes de alimentação e de polinização apresentaram propriedades semelhantes. A análise polínica revelou que as abelhas tendem a realizar turnos de forrageio exclusivos em flores de pólen. As interações adicionadas a partir da análise polínica resultaram em diferenças nas métricas avaliadas e complementaram o registro das interações observadas na comunidade. Portanto, a informação associada de ambos os tipos de redes pode ampliar a compreensão das interações, aproximando-se, dessa forma, à descrição da rede real.

Palavras-chave: flor de pólen; interações planta-polinizador; polinização; recursos florais; redes de interação.

FLORAL VISITATION NETWORK *VERSUS* POLLEN-TRANSPORT NETWORK BETWEEN BEES AND FLOWERS IN THE ATLANTIC FOREST IN SOUTH BRAZIL. The establishment of plant-pollinator interactions is of great importance for the functioning of ecosystems. These interactions can be recorded directly, by focal observation, or indirectly, by the pollen load on the pollinator body. Thus, the evaluation

of the specialization and dependence of mutualistic partners, properties that can be assessed through complex networks, depends on the method used for interaction record. The main objective of this study was to compare a floral-visitation network and a pollen-transport network constructed from interactions between plants and bees sampled in 16 plots in early successional areas in the Atlantic Forest, in Antonina, Paraná, southern Brazil. We initially recorded these interactions by focal observation and we sampled the pollen grains on the bees' body of six bees, and the two networks were restricted to the interactions of these six species. We subdivided the pollen-transport network into a feeding-pollen network, using only the pollen adhered to the bees' corbicules or scopes, and a pollination network, with the pollen present on the bees' body, except the legs. These networks were compared in relation to the degree (k), the specialization index (d') and species strength (F), through paired t -tests. The pollen-transport network showed a higher number of interactions, higher k , lower d' and a greater number of plant species than the floral visitation network. There was no variation in F . The feeding- and pollination networks presented similar properties. Pollen analysis revealed that bees tend to perform exclusive foraging flights on pollen flowers. The interactions added from the pollen analysis resulted in differences in the metrics evaluated and complemented the record of the interactions observed in the community. Therefore, the associated information of both types of networks can broaden the understanding of the interactions, thus approaching the actual network description.

Keywords: flower resources; interactions network; plant-pollinator interactions; pollen flower; pollination.

INTRODUÇÃO

O estabelecimento de interações mutualísticas entre plantas e insetos é um dos fatores cruciais para a reprodução de muitas angiospermas, das quais cerca de 85% dependem de animais, principalmente insetos, para polinização (Buchmann & Nabhan 1996, Klein *et al.* 2007, Ollerton *et al.* 2011). Dentre os visitantes florais, as abelhas são consideradas os polinizadores mais importantes (Faegri & Pijl 1971, Endress 1994, Michener 2007) devido à sua elevada eficiência, grande número de espécies e ampla distribuição geográfica (Winfrey *et al.* 2011). Os principais recursos florais procurados pelas abelhas são néctar e pólen (Endress 1994, Michener 2007, Muth *et al.* 2017). Algumas flores apresentam ambos os recursos, enquanto outras apresentam apenas pólen, variando em suas estratégias de atração e recompensa de polinizadores (Muth *et al.* 2017). O forrageio por estes recursos pode ocorrer na mesma flor ou em flores distintas, a depender, entre outros fatores, do sexo da flor e da disponibilidade dos recursos (Buchmann 1983, Goulson 1999, Muth *et al.* 2017).

No forrageio por pólen para provisão do ninho (Roubik 1992), as abelhas compactam os grãos em uma massa e a movem para estruturas

especializadas localizadas nas pernas traseiras (escopa/corbícula) ou no metassoma (escopa ventral em alguns grupos) (Michener 1944, Buchmann 1983, Muth *et al.* 2017). O pólen compactado torna-se indisponível para polinização (Roubik 1992, Michener 2007), porém é possível que pólen residual fique aderido ao restante do corpo. Alternativamente, no forrageio por néctar o toque nas estruturas reprodutivas tende a ser involuntário, podendo haver deposição de pólen em qualquer parte do corpo (Endress 1994, Goulson 1999). Ao visitar outra flor, caso esta parte do corpo da abelha encoste no estigma, pode ocorrer a polinização (Faegri & Pijl 1971). Portanto, o local de deposição de pólen no corpo dos visitantes florais depende de seu comportamento na flor, da morfologia da flor (como disposição dos órgãos reprodutivos) e do tamanho e da morfologia do visitante (Michener 2007).

Estas interações mutualísticas desempenham importante papel na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas (MacLeod *et al.* 2016) e podem ser descritas e investigadas como redes complexas (Bascompte & Jordano 2007). O registro das interações pode ser obtido a partir de redes de visitação floral ou de redes de transporte de pólen. As redes de visitação floral representam uma perspectiva fitocêntrica, nas quais as interações

são registradas a partir da observação focal das plantas (Bosch *et al.* 2009, Alarcón 2010, Jordano 2016) e consideradas quando ocorre toque nas estruturas reprodutivas (Bosch *et al.* 2009). É possível obter também a informação do recurso procurado pelos visitantes florais baseando-se na observação do comportamento na flor (Ballantyne *et al.* 2015). Em contrapartida, as redes de transporte de pólen representam uma perspectiva zoocêntrica e podem ser obtidas a partir da análise do pólen aderido ao corpo de visitantes florais (Bosch *et al.* 2009, Alarcón 2010, Jędrzejewska-Szmek & Zych 2013, Ramírez-Burbano *et al.* 2017), ou do pólen encontrado diretamente no ninho (Dorado *et al.* 2011).

A análise polínica no estudo das interações amplia o espectro temporal ao fornecer o histórico de visitas do visitante floral (Forup & Memmott 2005, Bosch *et al.* 2009, Diniz & Buschini 2015), modificando também a escala espacial de amostragem, provavelmente maior que a estipulada na observação focal (Freitas *et al.* 2014, Ramírez-Burbano *et al.* 2017). A partir da identidade das plantas registradas no histórico de visitas, é possível investigar padrões de comportamento de forrageio, como preferências por determinados tipos de planta em cada turno de voo, *i.e.*, entre a saída do ninho e o retorno para o mesmo. Ao detectar interações não observadas na visitação floral, é possível que a rede de transporte de pólen apresente maior resolução (Alarcón 2010, Dorado *et al.* 2011, Jędrzejewska-Szmek & Zych 2013), permitindo estimativas quantitativas mais acuradas sobre as interações.

Considerando isto, foi construída uma rede de visitação floral e uma rede de transporte de pólen com base nas interações entre plantas e abelhas registradas em áreas de Floresta Atlântica no Sul do Brasil, com o objetivo de comparar grau (k), índice de especialização (d') e força das espécies (F) entre estes distintos métodos (observação focal ou análise polínica). Com o registro polínico foram construídas também uma rede de polinização e uma rede de alimentação, para as quais as métricas (k , d' e F) foram calculadas e comparadas.

Adicionalmente, por meio da análise polínica e do recurso oferecido pelas plantas registradas nesta análise, buscou-se responder às seguintes questões: (i) a análise do pólen possibilita detectar

padrões no comportamento de forrageio das abelhas, como turnos de voo separados para coleta de néctar e para coleta de pólen? (ii) abelhas que visitaram por último uma flor de pólen, transportam menor riqueza polínica do que abelhas que visitaram por último uma flor que apresentava também néctar? Abelhas podem exibir preferências por cores ou odores (Faegri & Pijl 1971), condicionadas por mecanismos de atração e sinalização das plantas, os quais diferem entre flores de pólen e flores de néctar (*e.g.*, coloração das anteras e guias de néctar, respectivamente) (Buchmann 1983, Muth *et al.* 2017). Além disso, o padrão de comportamento de forrageio é condicionado pela visibilidade/acessibilidade dos recursos (Faegri & Pijl 1971), o que pode gerar turnos de voo associados com o tipo de recurso. Portanto, espera-se observar no histórico de visitas das abelhas padrões de visita que confirmem turnos separados para coleta de pólen e para coleta de néctar, ou seja, indivíduos que visitaram apenas ou preferencialmente flores de pólen e indivíduos que visitaram apenas ou preferencialmente flores de néctar antes de serem capturados. Flores de pólen são caracterizadas por oferecerem apenas este recurso e apresentarem, em geral, quantidade maior de pólen em comparação a plantas que oferecem outros recursos (Faegri & Pijl 1971, Vogel 1978, Buchmann 1983). Devido à grande quantidade de recursos, espera-se uma otimização dos voos de forrageio para obter maior quantidade de pólen em um menor número de visitas (Kleinert *et al.* 2009), resultando em menor diversidade polínica em abelhas coletadas em flores de pólen.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem

A amostragem das interações foi realizada na Reserva Natural Guaricica e na Reserva Natural das Águas, localizadas no município de Antonina, Paraná, litoral sul do Brasil. O registro ocorreu em 16 parcelas circulares, com 14 m de raio (9.847,04 m² ao total), distribuídas em áreas de Floresta Atlântica em estágio sucessional inicial (3-6 anos de idade) (MS1). As observações focais foram realizadas de agosto de 2009 a julho de 2010, das 7h às 18h. Cada planta foi monitorada por 2 horas/dia, em repetições de 20 minutos (960 horas

de observação ao total). Foram monitoradas todas as plantas com flores dentro da parcela (em um estrato de 5 cm a 7 m). Usando rede entomológica, foram capturadas as abelhas que tocaram as estruturas reprodutivas das flores. Todas as espécies foram identificadas até o menor nível taxonômico possível, com o auxílio de especialistas. As plantas foram herborizadas e depositadas no Herbário UPCB (Universidade do Paraná, Setor de Ciências Biológicas) (MS2), e as abelhas foram depositadas na Coleção Padre Jesus Santiago Moure (MS3), ambos na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Foram registradas 76 espécies de planta e 100 espécies de abelha. Das abelhas, foram selecionadas para este estudo as espécies *Augochloropsis* sp., *Bombus morio* (Swederus, 1787), *Augochlora cephalica* (Moure, 1941), *Partamona helleri* (Friese, 1900), *Megachile (Austromegachile) susurrans* Haliday, 1836 e *Scaptotrigona* cf. *xanthotricha*, com base em um gradiente de interações, levando em conta o grau das espécies ($k = 25; 14; 10; 6; 3; 2$, respectivamente). Essas espécies interagiram com 38 espécies de planta de acordo com os resultados da observação focal.

Para análise polínica, os grãos aderidos ao corpo das abelhas foram removidos com o auxílio de estiletos entomológicos e armazenados em ácido acético glacial, em amostras separadas de acordo com o local de deposição: corpo (cabeça, mesossoma e/ou metassoma, aqueles disponíveis para a polinização), e perna (escopa ou corbícula, aqueles com a função de alimentação). As amostras foram desidratadas em série alcóolica (50, 60, 70, 80, 90 e 100%) intercalada com centrifugações a 1200 rpm por dez minutos, e então coladas em fita de cobre em *stub* (suporte para microscopia eletrônica de varredura - MEV). A metalização foi realizada no Centro de Microscopia Eletrônica (CEM) da Universidade Federal do Paraná, onde foi realizada a MEV. As fotografias foram geradas em um aparelho *Tescan Vega 3*[®], no CEM-UFPR. Foram fotografados todos os tipos polínicos encontrados em cada amostra (para exemplos, ver MS4). A identificação dos tipos polínicos ocorreu com o auxílio de um catálogo polínico da Floresta Atlântica (MS5) e com fotografias de pólen em MEV (MS6) que não constavam no catálogo. A identificação foi confirmada com base nos dados de fenologia das plantas, e os tipos polínicos não

identificados foram agrupados em morfotipos e denominados nas redes como NI (não identificados).

Grãos de pólen de *Pinus* spp. foram registrados na análise polínica, contudo não foram considerados para construção das redes e cálculo das métricas, uma vez que *Pinus* é um gênero anemófilo e visitas de abelha são improváveis. Considerando a grande produção de pólen em muitas plantas anemófilas (Faegri & Pijl 1971, Rech *et al.* 2014), é provável que o registro de *Pinus* spp. na análise polínica deva-se à deposição deste tipo polínico no corpo das abelhas em voo, através do vento, ou então que ele tenha sido adquirido a partir da superfície das flores que as abelhas visitaram.

Redes de interação

Os dados quantitativos de observação focal geraram uma rede de visitação floral, e os dados quantitativos da análise polínica uma rede de transporte de pólen. Com os dados de interação coletados por ambos os métodos, foi construída uma rede combinando-se as interações registradas pelas abelhas na observação focal e na análise polínica (daqui para frente denominada como “rede combinada”). Para a construção da rede de transporte de pólen, foram utilizados apenas os indivíduos de abelha para os quais havia amostra de pólen disponível (MS7). Portanto, o número de indivíduos utilizados foi menor que o amostrado na observação focal.

Todas as redes de interação foram ponderadas pela abundância, salvo a rede combinada, que foi binária devido à dificuldade de obtenção de uma medida equivalente para os diferentes métodos de quantificação das interações. A frequência de interações na rede de visitação floral foi determinada pelo número de vezes em que uma determinada espécie de abelha foi observada interagindo com uma determinada espécie de planta. A frequência de interações na rede de transporte de pólen foi determinada pela porcentagem de indivíduos de uma dada espécie de abelha apresentando pólen de determinada espécie de planta ou morfotipo polínico.

Adicionalmente, a rede de transporte de pólen foi subdividida em duas redes distintas: rede de transporte de pólen de polinização (quando o pólen foi extraído do corpo da abelha – cabeça,

mesossoma e/ou metassoma, exceto pernas; chamada a partir daqui apenas como “rede de polinização”) e rede de transporte de pólen de alimentação (quando o pólen foi extraído das pernas – escopa/corbícula; chamada a partir daqui apenas como “rede de alimentação”). Por apresentar escopa ventral, onde seria difícil distinguir pólen de polinização e pólen de alimentação, a espécie *M. susurrans* não foi considerada para a construção das duas últimas redes. Os grafos das redes foram gerados usando o pacote *bipartite* (Dormann 2011) do R (R Development Core Team 2017).

Para as espécies de abelha de cada uma das redes, à exceção da rede combinada, foram calculadas as métricas em nível de espécie: grau (k), índice de especialização das espécies (d') e força (F). O grau (k) representa o número de espécies com as quais cada parceiro interagiu (Bascompte & Jordano 2007), sendo uma medida simples da generalização (Chacoff *et al.* 2012). O índice de especialização das espécies (d') representa a especialização de uma espécie, avaliando se as interações que ela realiza correspondem à disponibilidade de parceiros mutualísticos (aproximado como totais marginais das linhas e colunas da própria matriz de interações) e variando de 0 (completo generalista) a 1 (completo especialista) (Blüthgen *et al.* 2006). O cálculo da força (F) considera a dependência das espécies obtida a partir da frequência de interação (Vázquez *et al.* 2005, Bascompte *et al.* 2006). A força de uma espécie de abelha, por exemplo, é calculada pela soma das dependências das espécies de planta que são visitadas por esta abelha (Bascompte & Jordano 2007), sendo a dependência a fração de todas as interações da planta que é realizada com esta espécie de abelha (Bascompte *et al.* 2006). A comparação das métricas entre os pares de rede foi realizada por testes t pareados, após o teste dos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias. Os dados que não atenderam aos pressupostos (rede de alimentação \times rede de polinização) foram logaritimizadas. Para a rede combinada, apenas o grau (k) e o grau normalizado foram calculados, sendo este último o grau de uma espécie (abelha) dividido pelo número total de espécies do outro nível (plantas) (González *et al.* 2010, Dormann

2011).

Foi calculado, ainda, para a rede de visitação floral e para a rede de transporte de pólen, o estimador Chao 1, que avalia a suficiência amostral (Chacoff *et al.* 2012). O estimador Chao 1 demonstra o quanto o esforço amostral realizado em campo reflete o potencial de interações na natureza. O número total de interações observadas em cada rede e o número de interações estimadas, ambos fornecidos pelo estimador Chao 1, foram plotados em uma curva de rarefação (Chao *et al.* 2014, Ramírez-Burbano *et al.* 2017). O cálculo do estimador Chao 1, bem como a curva de rarefação, foram realizados com o pacote *iNETX* (Hsieh *et al.* 2014).

Turnos de forrageio

Para responder às questões sobre o comportamento de forrageio das abelhas, as plantas foram categorizadas de acordo com o recurso oferecido. Por meio de consultas à bibliografia específica e à observação de exsicatas das espécies da comunidade, categorizou-se em espécies que oferecem apenas pólen (denominadas de flores de pólen) e espécies que oferecem tanto pólen quanto néctar (denominadas aqui de flores de pólen/néctar). As espécies com nectários exclusivamente extraflorais foram consideradas como flores de pólen. A partir disso, os tipos polínicos presentes no corpo de cada indivíduo de abelha foram classificados em tipo polínico proveniente de flor de pólen e tipo polínico proveniente de flor de pólen/néctar. Um teste de qui-quadrado foi feito para avaliar se a categoria floral (flor de pólen ou flor de pólen/néctar) da última planta visitada por cada indivíduo de abelha está associada à categoria das flores visitadas anteriormente, através da informação obtida a partir do registro polínico. Adicionalmente, o número de tipos polínicos presentes no corpo (incluindo pernas) dos indivíduos que foram capturados ao visitar flores de pólen foi comparado ao número encontrado naqueles capturados em flores de pólen/néctar, por meio de teste t (segundo os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias). Para estas análises foram removidos os tipos polínicos não identificados (morfotipos). Todas as análises foram realizadas no programa R.

RESULTADOS

Na rede de visitação floral (Figura 1a), foram registradas 228 interações (soma de todas as visitas), com 38 espécies de planta. Na rede de transporte de pólen (Figura 1b), foram registradas 522 interações (soma de todos os registros polínicos, sendo que tipos polínicos repetidos foram contabilizados apenas uma vez para cada amostra), com 88 espécies de planta (incluindo 39 morfotipos polínicos não identificados).

De todos os indivíduos de abelha que carregavam pólen, 75% apresentaram grãos de pólen da espécie de planta em que foram coletados, evidenciando habilidade em realizar transferência polínica. No entanto, isto não ocorreu de forma equivalente entre as espécies. Pelo menos 79% dos indivíduos de *Bombus morio*, *Partamona helleri*, *Megachile (Austromegachile) susurrans* e *Scaptotrigona cf. xanthotricha*

apresentaram grãos de pólen da última espécie de planta visitada, enquanto para *Augochlora cephalica* e *Augochloropsis* sp. esse percentual não passou de 63% e 42%, respectivamente.

Os principais parceiros mutualísticos das abelhas foram os mesmos nas duas redes, com exceção de *Augochlora cephalica*, para a qual o principal parceiro na rede de visitação floral foi *Vernonanthura beyrichii* (Less) H. Rob (Asteraceae), enquanto na de transporte de pólen foi *Desmodium adscendens* (Sw.) DC. (Fabaceae). Para *Augochloropsis* sp., *B. morio*, *M. susurrans*, *P. helleri* e *S. xanthotricha*, os principais parceiros foram, respectivamente, *Pleroma trichopoda* (DC.) Bail. (Melastomataceae), *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Fabaceae), *Rubus rosifolius* Sm. (Rosaceae), *Desmodium adscendens* (Sw.) DC. (Fabaceae) e *Psidium cattleianum* Sabine (Myrtaceae), em ambas as redes.

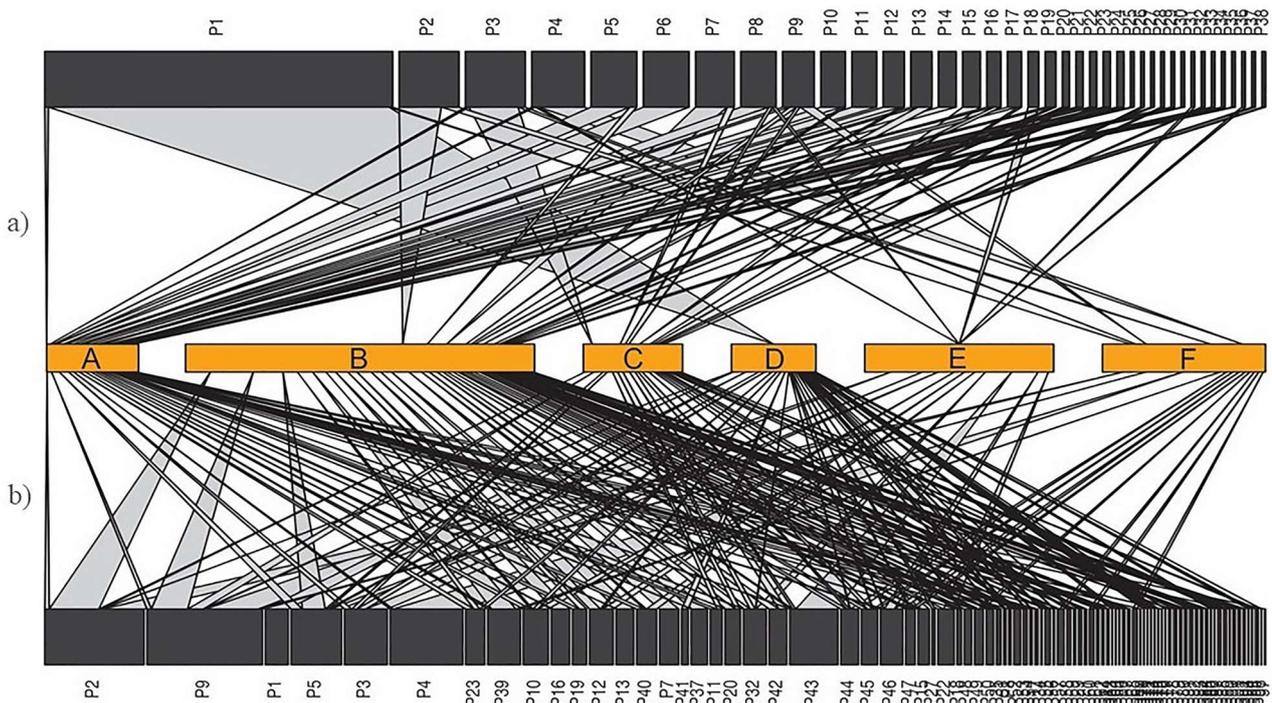


Figura 1. Redes planta-abelha de visitação floral (a) e de transporte de pólen (b) em áreas sucessionais iniciais de Floresta Atlântica em Antonina-Paraná. A - *Augochloropsis* sp.; B - *Bombus morio*; C - *Augochlora cephalica*; D - *Partamona helleri*; E - *Scaptotrigona cf. xanthotricha*; F - *Megachile (Austromegachile) susurrans*.

Figure 1. Plant-bee networks of floral visitation (a) and pollen-transport (b) in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina-Paraná. A - *Augochloropsis* sp.; B - *Bombus morio*; C - *Augochlora cephalica*; D - *Partamona helleri*; E - *Scaptotrigona cf. xanthotricha*; F - *Megachile (Austromegachile) susurrans*.

As abelhas apresentaram menor grau (k : $t = 3,38$; $gl = 5$; $p = 0,019$) e maior índice de especialização (d' : $t = -2,57$; $gl = 5$; $p = 0,049$) (Tabela 1) na rede de visitação floral que na rede de transporte de pólen (Figura 2). Não houve variação na força (F) das espécies entre as duas redes ($t = 1,82$; $gl = 5$; $p = 0,126$). O grau (k) na rede combinada (Figura 3) variou de 11 a 49, e o grau normalizado de 0,11 a 0,50 (Tabela 2). As redes também diferiram em relação à riqueza de interações observadas (Tabela 3), sendo 160 interações na rede de transporte de pólen e 60 na de visitação floral (Figura 4). No entanto, a rede de visitação floral apresentou

maior suficiência amostral (62%) que a rede de transporte de pólen (55%) (Tabela 3).

Em relação às redes de polinização e de alimentação, foi observado maior número de interações na rede de alimentação (309) (Figura 5a) que na de polinização (181) (Figura 5b). Entretanto, a riqueza de plantas com as quais as abelhas interagiram foi semelhante entre as duas redes (42 na de alimentação e 40 na de polinização). Não houve diferença nas métricas entre as redes (k : $t = 0,47$; $gl = 4,00$; $p = 0,660$; d' : $t = 0,44$; $gl = 4,00$; $p = 0,667$; F : $t = 0,18$; $gl = 4,00$; $p = 0,859$) (Tabela 4).

Tabela 1. Grau (k), índice de especialização da espécie (d') e força das espécies (F), calculados com base na rede de visitação floral e na rede de transporte de pólen, para espécies de abelha amostradas em áreas sucessionais iniciais de Floresta Atlântica em Antonina-Paraná.

Table 1. Degree (k), of specialization index (d') and species strength (F) calculated based on the floral visitation network and the pollen-transport network, for bee species sampled in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina-Paraná.

Espécies	Visitação floral			Transporte de pólen		
	k	d'	F	k	d'	F
<i>Augochloropsis</i> sp.	25	0,74	18,44	33	0,32	11,11
<i>Bombus morio</i> (Swederus, 1787)	15	0,69	7,70	51	0,42	31,63
<i>Augochlora cephalica</i> (Moure, 1941)	10	0,78	5,96	23	0,47	11,29
<i>Partamona helleri</i> (Friese, 1900)	6	0,92	4,14	43	0,62	21,50
<i>Megachile A. susurrans</i> Haliday, 1836	3	0,43	0,57	12	0,59	4,96
<i>Scaptotrigona</i> cf. <i>xanthotricha</i>	2	0,82	1,16	13	0,68	6,27

Tabela 2. Grau e grau normalizado das espécies de abelha na rede combinada (rede de visitação floral + rede de transporte de pólen), em áreas sucessionais iniciais de Floresta Atlântica em Antonina-Paraná.

Table 2. Degree and normalized degree of bee species in a combined network (floral visitation network + pollen-transport network), in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina-Paraná.

Espécies	Grau (k)	Grau normalizado
<i>Augochloropsis</i> sp.	45	0,46
<i>Augochlora cephalica</i> (Moure, 1941)	26	0,26
<i>Bombus morio</i> (Swederus, 1787)	49	0,50
<i>Megachile A. susurrans</i> Haliday, 1836	11	0,11
<i>Partamona helleri</i> (Friese, 1900)	40	0,41
<i>Scaptotrigona</i> cf. <i>xanthotricha</i>	13	0,13

Tabela 3. Características amostrais das interações registradas nas redes de visitação floral e de transporte de pólen em áreas sucessionais iniciais na Floresta Atlântica em Antonina-Paraná.

Table 3. Sample characteristics of the interactions recorded in the flower visitation and pollen-transport networks in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina-Paraná.

Riqueza de interações	Rede de visitação floral 60	Rede de transporte de pólen 160
Riqueza estimada das interações Chao 1 (\pm SE, 95% IC)	97,36 \pm 18,43	293,23 \pm 69,56
Suficiência amostral	62%	55%

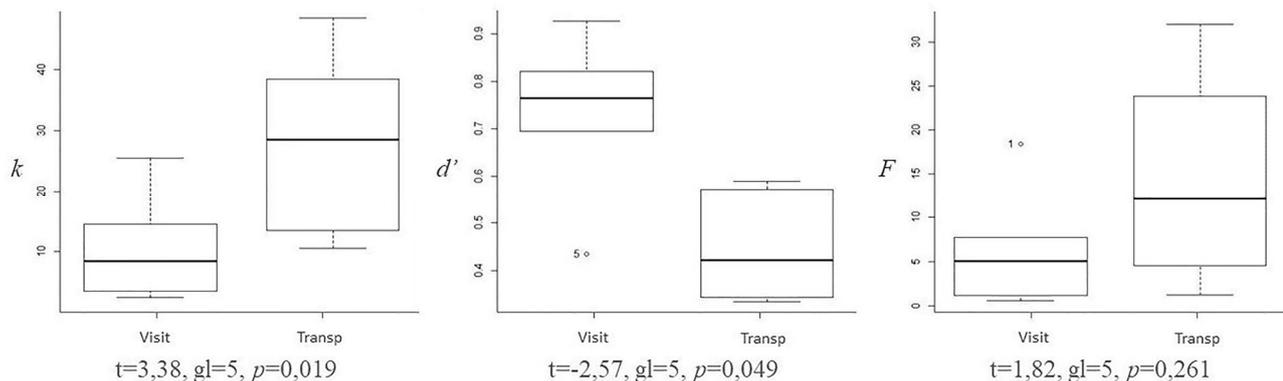


Figura 2. Variação do grau (k), especialização (d') e força (F) das abelhas em redes de visitação floral (Visit) e de transporte de pólen (Transp) em áreas sucessionais iniciais de Floresta Atlântica em Antonina-Paraná.

Figure 2. Variation of degree (k), specialization (d') and strength (F) for bees in floral visitation (Visit) and pollen-transport networks (Transp) in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina-Paraná.

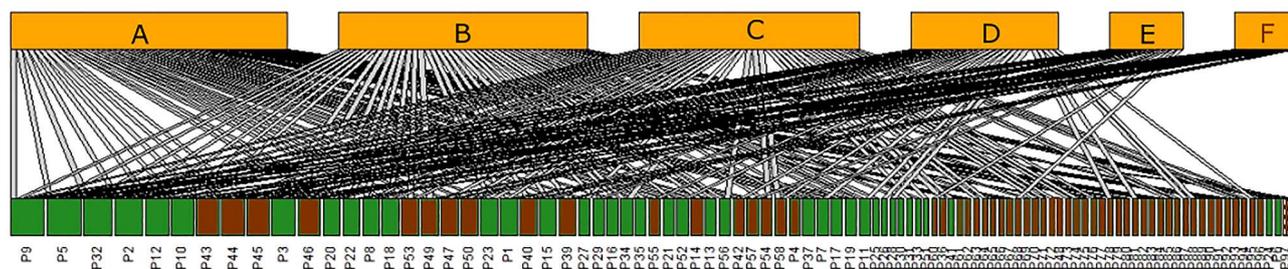


Figura 3. Rede combinada construída com as interações planta-abelha registradas na observação focal e no transporte de pólen, em áreas sucessionais iniciais na Floresta Atlântica em Antonina-Paraná. As barras marrons correspondem às plantas que foram registradas exclusivamente na rede de transporte de pólen e as barras verdes correspondem àquelas registradas em ambas as redes. A - *Bombus morio*; B - *Augochloropsis* sp.; C - *Partamona helleri*; D - *Augochlora cephalica*; E - *Scaptotrigona* cf. *xanthotricha*; F - *Megachile* (*Austromegachile*) *susurrans*.

Figure 3. Combined network constructed with plant-bee interactions recorded on focal observation and pollen transport, in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina-Paraná. Brown bars correspond to the plants that were registered exclusively in the pollen-transport network and green bars correspond to those registered in both networks. A - *Bombus morio*; B - *Augochloropsis* sp.; C - *Partamona helleri*; D - *Augochlora cephalica*; E - *Scaptotrigona* cf. *xanthotricha*; F - *Megachile* (*Austromegachile*) *susurrans*.

Tabela 4. Grau (k), índice de especialização das espécies (d') e força das espécies (F), calculados com base nas redes de transporte de pólen de alimentação (escopa/corbícula) e de polinização (cabeça/mesossoma/metassoma), para espécies de abelha amostradas em áreas sucessionais iniciais de Floresta Atlântica em Antonina-Paraná.

Table 4. Degree (k), specialization index (d') and species strength (F), calculated on the basis of pollen feeding (scopa / corbicula) and pollination networks (head / mesosome / metasome) for bee species sampled in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina - Paraná.

Espécies	Escopa/corbícula			Cabeça/mesossoma/metassoma		
	k^*	d'	F^*	k^*	d'	F^*
<i>Augochloropsis</i> sp.	11	0,40	5,73	1,07	0,29	0,71
<i>Bombus morio</i>	25	0,42	20,78	1,50	0,44	1,43
<i>Augochlora cephalica</i>	3	0,30	0,77	0,69	0,66	0,48
<i>Partamona helleri</i>	14	0,57	9,99	0,90	0,54	0,75
<i>Scaptotrigona</i> cf. <i>xanthotricha</i>	6	0,57	3,70	0,90	0,66	0,76

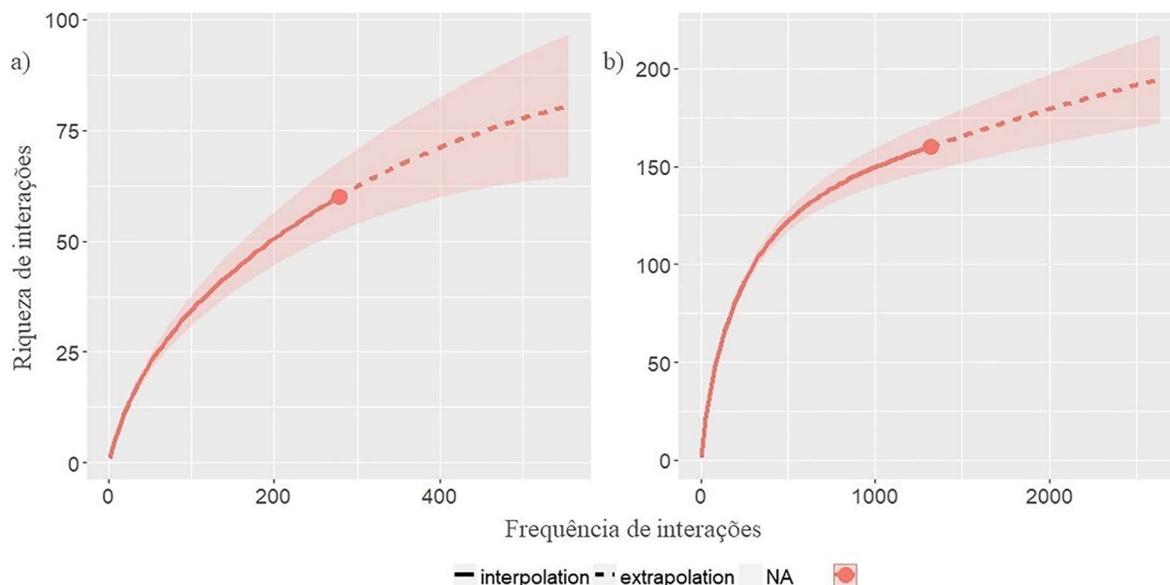


Figura 4. Curvas de rarefação das interações planta-abelha observadas (linha contínua) e estimadas (linha tracejada), em rede de visitação floral (a) e em rede de transporte de pólen (b) em áreas sucessionais iniciais na Floresta Atlântica em Antonina-Paraná.

Figure 4. Rarefaction curves of plant-bee interactions observed (continuous line) and estimated (dashed line), in floral visitation network (a) and pollen-transport network (b) in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina-Paraná.

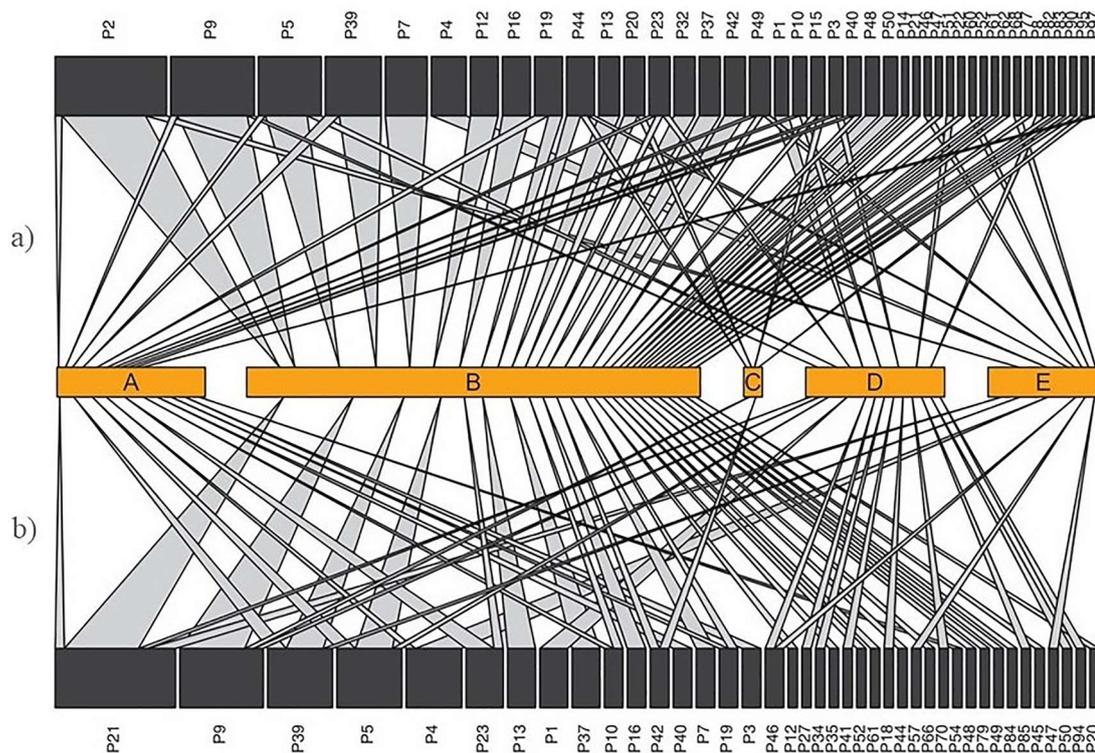


Figura 5. Redes de alimentação (a) e de polinização (b) em áreas sucessionais iniciais de Floresta Atlântica em Antonina-Paraná. A – *Augochloropsis* sp.; B – *Bombus morio*; C – *Augochlora cephalica*; D – *Partamona helleri*; E – *Scaptotrigona* cf. *xanthotricha*.

Figure 5. Feeding (a) and pollination (b) networks in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina-Paraná. A - *Augochloropsis* sp.; B - *Bombus morio*; C - *Augochlora cephalica*; D - *Partamona helleri*; E - *Scaptotrigona* cf. *xanthotricha*.

Ao investigar a existência de turnos de voo associados com o tipo de recurso floral coletado, observou-se associação entre a categoria da última planta visitada e a categoria dos tipos polínicos encontrados no corpo de cada indivíduo de abelha ($\chi^2 = 54,284$, $gl = 1,00$; $p < 0,001$), indicando a existência de turnos de voo específicos para coleta de pólen ou de néctar. Contudo, a diversidade polínica transportada por abelhas visitando flores de pólen e por abelhas visitando flores de pólen/néctar foi semelhante ($t = 0,76$; $gl = 122,00$; $p = 0,444$) (Tabela 5).

DISCUSSÃO

A rede de transporte de pólen, em comparação à rede de visitação floral, registrou mais interações, com um número maior de espécies de planta, como reportado em outros estudos (Alarcón 2010, Dorado *et al.* 2011, Jędrzejewska-Szmek & Zych 2013), resultando em redução da especialização. O acréscimo de espécies de planta é evidenciado na rede combinada (Figura 4), na qual mais da metade das espécies foi registrada exclusivamente por meio da análise polínica. A inclusão de dados polínicos aumenta a resolução da detecção de interações realizadas com diferentes espécies (k) e do nível de especialização das interações (d), corroborando o que foi observado tanto em redes de polinização por insetos (Forup & Memmott 2005, Bosch *et al.* 2009, Jędrzejewska-Szmek & Zych 2013), quanto em redes planta-beija-flor (Ramírez-Burbano *et al.* 2017). Portanto, o método de amostragem das interações afeta as métricas em nível de espécie.

Parte das interações reveladas na rede de transporte de pólen foi detectada por meio dos morfotipos polínicos não identificados. Na análise polínica, é comum a dificuldade na identificação dos grãos de pólen (Jędrzejewska-Szmek & Zych 2013, Ramírez-Burbano *et al.* 2017). A elevada quantidade de morfotipos polínicos (39) evidencia a necessidade de construção de catálogos polínicos mais completos para a Floresta Atlântica, dada a alta diversidade de angiospermas neste bioma (BFG 2015, Stehmann *et al.* 2009).

O resultado do cálculo de suficiência amostral demonstrou que a análise polínica, em comparação à observação focal, se aproximou menos do número de interações estimado, corroborando o que foi reportado em um estudo realizado com interações planta-beija-flor (Ramírez-Burbano *et al.* 2017). A análise polínica inclui interações com plantas cuja distribuição espacial provavelmente seja maior que a área delimitada para a observação focal (Freitas *et al.* 2014, Ramírez-Burbano *et al.* 2017), ampliando a escala espacial onde as interações são possíveis (Freitas *et al.* 2014, Ramírez-Burbano *et al.* 2017). Indivíduos de abelha podem carregar pólen de espécies de planta que estejam distantes das parcelas amostrais e que não tenham sido detectadas na observação focal, elevando expressivamente o número de interações possíveis. Além disso, o elevado número de interações únicas, provavelmente resultante desta situação, também pode ter contribuído para elevar o número estimado de interações (Chacoff *et al.* 2012, Ramírez-Burbano *et al.* 2017). Portanto, estimativas de suficiência amostral disponíveis na literatura necessitam ser aprimoradas para levar

Tabela 5. Número de indivíduos de abelha que visitaram uma flor de pólen ou uma flor de pólen/néctar e que carregaram grãos de pólen destas categorias de flor em áreas sucessionais iniciais de Floresta Atlântica em Antonina-Paraná.

Table 5. Number of bee individuals that visited a pollen flower or a pollen/nectar flower and carried pollen grains of these flower categories in early successional areas of an Atlantic Forest in Antonina-Paraná.

		Categoria de flor dos tipos polínicos encontrados nas abelhas	
		Flor de pólen	Flor de pólen/néctar
Categoria de flor visitada pela abelha no momento da captura	Flor de pólen	165	33
	Flor de pólen/néctar	76	87

em conta propriedades intrínsecas de dados de interações amostradas de diferentes maneiras (Jordano 2016).

Nem todos os visitantes florais carregaram pólen das últimas plantas visitadas (registradas na rede de visitação floral), resultado já observado em outros estudos (Forup & Memmott 2005, Bosch *et al.* 2009, Popic *et al.* 2012, Ballantyne *et al.* 2015). A ausência de pólen da última planta visitada pode ser resultante de visitas ilegítimas (Olesen *et al.* 2011). Isto reforça a importância da análise polínica para inferir se os visitantes estão de fato transferindo pólen (Popic *et al.* 2012, Ballantyne *et al.* 2015). Vale destacar que estudos mais detalhados, como investigações sobre acoplamento morfológico entre parceiros mutualísticos (Vázquez *et al.* 2009), contabilização e identificação do pólen que chega ao estigma, e realização de testes reprodutivos, seriam necessários para avaliar com maior precisão a efetividade do visitante floral como polinizador (Forup & Memmott 2005, Alarcón 2010, Popic *et al.* 2012, Ballantyne *et al.* 2015).

Embora o número de interações registradas nas redes de alimentação seja maior, as propriedades das redes de alimentação e de polinização foram semelhantes. Portanto, apesar de o pólen compactado ficar indisponível para a polinização (Roubik 1992, Michener 2007), as estratégias das plantas para que o pólen seja depositado em outras partes do corpo (Endress 1994) parecem compensar esta perda.

A diversidade de pólen transportada por abelhas que visitaram por último flores de pólen e abelhas que visitaram por último flores de pólen/néctar foi similar, o que contrariou uma das hipóteses propostas. Contudo, conforme o esperado, os resultados sugerem haver constância no tipo de recurso buscado em um mesmo turno de forrageio. Isto pode ser decorrente de um processo de aprendizagem mediada pelo recurso (Faegri & Pijl 1971, Goulson 1999, Muth *et al.* 2017), a partir de mecanismos de sinalização floral que podem minimizar o custo energético na busca por recursos (Goulson 1999). Sabe-se que algumas abelhas (como algumas espécies de *Bombus*) podem fazer coleta concomitante de pólen e néctar na mesma flor, enquanto outras fazem

coleta em turnos separados (Faegri & Pijl 1971). No entanto, todas as flores de pólen/néctar amostradas são hermafroditas, sendo impossível afirmar qual recurso as abelhas estavam buscando. Análises do comportamento das abelhas em campo são necessárias para a resolução desta questão. Além disso, estudos de constância floral de polinizadores (Waser 1986) em grupos funcionais de plantas agrupadas pela oferta de recursos também seriam importantes para ampliar o entendimento da existência de turnos de forrageio em função do recurso buscado. Outra limitação do estudo é o desconhecimento da fase do turno de voo das abelhas no momento da captura, se haviam saído recentemente do ninho ou se estavam finalizando o forrageio para retornar ao ninho quando foram capturadas, o que poderia influenciar a quantidade e diversidade de grãos de pólen encontrados em cada indivíduo. Para inferências a partir do pólen, seria indicado coletar as abelhas quando retornam ao ninho, de forma a garantir dados de um turno de voo completo.

Em suma, este estudo demonstrou que a análise polínica revela maior número de interações, mesmo considerando sua menor suficiência amostral, evidenciando que a observação focal pode subestimar as interações. Adicionalmente, a informação polínica tem a vantagem de fornecer evidência mais robusta sobre a transferência polínica (Bosch *et al.* 2009, Alarcón 2010). Embora a observação focal apresente algumas limitações práticas, como a reduzida escala espacial em que é possível ao pesquisador realizar o monitoramento das plantas, por meio dela é possível obter informações valiosas, como detalhes sobre o comportamento de forrageio e sobre o recurso coletado pelo visitante floral. Além disto, a associação das duas fontes de informação somada à pesquisa do recurso floral oferecido pelas plantas permitiu fazer inferências sobre os turnos de voo para forrageamento realizados pelas abelhas. Portanto, a observação focal e a análise polínica são métodos complementares para o registro de interações, sendo recomendável que ambos sejam utilizados para uma melhor compreensão das interações dentro da comunidade avaliada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Ana Julia Donatti, pelo auxílio na coleta de abelhas; à Ana de Angelo Sanchez, pela elaboração do mapa de distribuição das parcelas amostrais; ao professor Gabriel A.R. Melo, pela identificação das espécies de abelha; aos especialistas na identificação das angiospermas: Olavo Araújo Guimarães, Renato Goldenberg, Osmar dos Santos Ribas, Cristiane Snak, Fabrício Schmitz Meyer, Julia Meirelles, Marília Borgo, Piero Delprete; à SPVS, pelo suporte logístico e permissão de estudo nas reservas; à CAPES, pela bolsa para JMTS; ao CNPq, pela bolsa para CR, pela bolsa PQ #309453/2013-5 e #313801/2017-7 para IGV e pelo financiamento #475127/2008-0; e aos revisores anônimos, que contribuíram para a melhoria do manuscrito.

REFERENCES

- Alarcón, R. 2010. Congruence between visitation and pollen-transport networks in a California plant-pollinator community. *Oikos*, 119(1), 35–44. DOI: 10.1111/J.1600-0706.2009.17694.X
- Ballantyne, G., Baldock, K. C. R., & Willmer, P. G. 2015. Constructing more informative plant-pollinator networks: visitation and pollen deposition networks in a heathland plant community. *Proceedings of the Royal Society B*, 282(1814), 1–9. DOI: 10.1098/rspb.2015.1130
- Bascompte, J., Jordano, P., & Olesen, J. M. 2006. Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. *Science*, 312(5772), 431–433. DOI: 10.1126/science.1123412
- Bascompte, J., & Jordano, P. 2007. Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38(1), 567–593. DOI: 1543-592X/07/1201-0567
- BFG - The Brazil Flora Group. 2015. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. *Rodriguésia*, 66(4), 1085–1113. DOI: 10.1590/2175-7860201566411
- Blüthgen, N., Menzel, F., & Blüthgen, N. 2006. Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecology*, 6, 1–12. DOI: 10.1186/1472-6785-6-9
- Bosch, J., González, A. M., Rodrigo, A., & Navarro, D. 2009. Plant-pollinator networks: adding the pollinator's perspective. *Ecology Letters*, 12(5), 7–24. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01296.x
- Buchmann, S. L. 1983. Buzz pollination in angiosperms. In: C. E. Jones & R. J. Little (Eds.), *Handbook of experimental pollination biology*. pp. 73-113. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Buchmann, S. L., & Nabhan, G. P. 1996. *The forgotten pollinators*. Washington D.C.: Island Press: p. 292.
- Chacoff, N. P., Vázquez, D. P., Lomáscolo, S. B., Stevani, E. L., Dorado, J., & Padrón, B. 2012. Evaluating sampling completeness in a desert plant-pollinator network. *Journal of Animal Ecology*, 81(1), 190–200. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2011.01883.x
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. I., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45–67. DOI: 10.1890/13-0133.1
- Diniz, M. E. R., & Buschini, M. L. T. 2015. Pollen analysis and interaction networks of floral visitor bees of *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae), in Atlantic Forest areas in southern Brazil. *Arthropod-Plant Interactions*, 9(6), 623–632. DOI: 10.1007/s11829-015-9400-1
- Dorado, J., Vázquez, D. P., Stevan, E. I., & Chacoff, N. P. 2011. Rareness and specialization in plant-pollinator networks. *Ecology*, 92(1), 19–25. DOI: 10.1890/10-0794.1
- Dormann, C. F. 2011. How to be a specialist? Quantifying specialization in pollination networks. *Network Biology*, 1(1), 1–20
- Endress, P. K. 1994. *Diversity and evolutionary biology of tropical flowers*. New York: Cambridge University Press: p. 511.
- Faegri, K., & Pijl, L. V. D. 1971. *Principles of pollination ecology*. Oxford: Pergamon Press: p. 291.
- Forup, M. L., & Memmott, J. 2005. The restoration of plant-pollinator interactions in hay meadows. *Restoration Ecology*, 13(2), 265–274. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2005.00034.x
- Freitas, L., Vizentin-Bugoni, J., Wolowski, M., Souza, J. M. T., & Varassin, I. G. 2014. Interações planta-polinizador e a estruturação de comunidades. In: A. R. Rech, K. Agostini, P. E.

- Oliveira & I. C. Machado, I. C. (Eds.), *Biologia da polinização*. pp. 373-397. Rio de Janeiro: Projeto Cultural.
- González, A. M. M., Dalsgaard, B., & Olesen, J. M. 2010. Centrality measures and the importance of generalist species in pollination networks. *Ecological Complexity*, 7(1), 36–43. DOI: 10.1016/j.ecocom.2009.03.008
- Goulson, D. 1999. Foraging strategies of insects for gathering nectar and pollen, and implications for plant ecology and evolution. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2(2), 185–209. DOI: 10.1078/1433-8319-00070
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. 2014. CRAN - Package iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity. R package version 2.0. Disponível em: <<http://chao.stat.nthu.edu.tw/blog/software-download>>. Acesso em 20/11/2017.
- Jędrzejewska-Szmeke, K. J., & Zych, M. 2013. Flower-visitor and pollen transport networks in a large city: structure and properties. *Arthropod-Plant Interactions*, 7(5), 503–516. DOI: 10.1007/s11829-013-9274-z
- Jordano, P. 2016. Sampling networks of ecological interactions. *Functional Ecology*, 30(12), 1883–1893. DOI: 10.1111/1365-2435.12763
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. DOI: 10.1098/rspb.2006.3721
- Kleinert, A. M. P., Ramalho, M., Cortopassi-Laurino, M., Ribeiro, M. F., & Imperatriz-Fonseca, V. L. 2009. Abelhas Sociais (Meliponini, Apinini, Bombini). In: A. R. Panizzi & J. R. P. Parra (Eds.), *Bioecologia e nutrição de insetos. Base para o Manejo Integrado de Pragas*. pp. 371-424. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Macleod, M., Genung, M. A., Ascher, J. S., & Winfree, R. 2016. Measuring partner choice in plant–pollinator networks: using null models to separate rewiring and fidelity from chance. *Ecology Society of America*, 97(11), 2925–2931. DOI: 10.1002/ecy.1574
- Michener, C. D. 1944. Comparative external morphology, phylogeny, and a classification of the bees (Hymenoptera). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 82(6), 151–326.
- Michener, C. D. 2007. *Bees of the World*. Johns Hopkins Baltimore: University Press: p. 972.
- Muth, F., Papaj, D. R., & Leonard, A. S. 2017. Multiple rewards have asymmetric effects on learning in bumblebees. *Animal Behaviour*, 126, 123–133. DOI: 10.1016/j.anbehav.2017.01.010
- Olesen, J. M., Bascompte, J., Dupont, Y. L., Elberling, H., Rasmussen, C., & Jordano, P. 2011. Missing and forbidden links in mutualistic networks. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1706), 725–732. DOI: 10.1098/rspb.2010.1371
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x
- Popic, T. J., Wardle, G. M., & Davila, I. C. 2012. Flower-visitor networks only partially predict the function of pollen transport by bees. *Austral Ecology*, 38(1), 76–86. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2012.02377.x
- R Development Core Team. 2017. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <http://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Burbano, M., Stiles, G. F., Gonzáles, C., Amorim, F. W., Dalsgaard, B., & Maruyama, P. K. 2017. The role of the endemic and critically endangered Colorful Puffleg *Eriocnemis mirabilis* in plant-hummingbirds networks of the Colombian Andes. *Biotropica*, 49(4), 555–564. DOI: 10.1111/btp.12442
- Rech, A., Bergamo, P. J., Figueiredo, R. A. 2014. Polinização abiótica. In: A. R. Rech, K. Agostini, P. E. Oliveira & I. C. Machado (Eds.). *Biologia da polinização*. pp. 183–204. Rio de Janeiro: Projeto Cultural.
- Roubik, D. W. 1992. *Ecology and natural history of tropical bees*. New York: Cambridge University Press: p. 592.
- Stehmann, J. R., Forzza, R. C., Salino, A., Sobral, M., Costa, D. P., & Kamino, L. H. Y. 2009. *Plantas da Floresta Atlântica*. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro: p. 516.
- Vázquez, D. 2005. Degree distribution in plant-animal mutualistic networks: forbidden links or

random interactions? *Oikos*, 108(2), 421–426. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2005.13619.x.

Vázquez, D., Blüthgen, N., Cagnolo, L., & Chacoff, N. 2009. Uniting pattern and process in plant-animal mutualistic network: a review. *Annals of Botany*, 103(9), 1445–1457. DOI: 10.1093/aob/mcp057

Vogel, S. T. 1978. Evolutionary shifts from reward to deception in pollen flowers. In: A. J. Richards (Ed.). *The pollination of flowers by insects*. pp. 89–96. London: Linnean Society Symposium Series.

Waser, N. M. 1986. Flower constancy: definition, cause and measurement. *American Naturalist*, 127(5), 593–603.

Winfree, R., Bartomeus, I., & Cariveau, D. P. 2011. Native pollinators in anthropogenic habitats. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42, 1–22. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-102710-145042.

Material suplementar 1. Distribuição das parcelas amostrais em duas reservas naturais de Floresta Atlântica no município de Antonina, Paraná, Brasil.

Material suplementar 2. Materiais testemunho das espécies tombadas no Herbário UPCB, da Universidade Federal do Paraná.

Material suplementar 3. Materiais testemunho de espécies de abelha depositados na Coleção Padre Jesus Santiago Moure, do Departamento de Zoologia da Universidade Federal do Paraná.

Material suplementar 4. Exemplos de grãos de pólen transportados por seis espécies de abelha em duas reservas naturais na Floresta Atlântica, no município de Antonina, Paraná, Brasil.

Material suplementar 5. Catálogo de pólen da Mata Atlântica - Espécies que ocorrem nas áreas de restauração da SPVS, no município de Antonina, Paraná, Brasil.

Material suplementar 6. Grãos de pólen de quatro espécies de plantas que ocorrem em duas reservas naturais na Floresta Atlântica, no município de Antonina, Paraná, Brasil, ausentes no Catálogo de pólen da Mata Atlântica.

Material suplementar 7. Espécies de abelha selecionadas para composição da rede de visitação floral e da rede de transporte de pólen em duas reservas naturais na Floresta Atlântica, no município de Antonina-Paraná. Abundância para rede de transporte de pólen = número de amostras disponíveis por espécie de abelha.

Submetido em: 14/07/2017

Aceito em: 10/08/2018

Editores Associados: Marina Wolowski & Vinícius L.G. Brito