

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

POLINIZAÇÃO POR ABELHAS *APIS MELLIFERA* EM SOJA
TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL

Autor: Pedro da Rosa Santos
Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo

MARINGÁ
Estado do Paraná
fevereiro – 2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

POLINIZAÇÃO POR ABELHAS *APIS MELLIFERA* EM SOJA
TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL

Autor: Pedro da Rosa Santos
Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo

Tese apresentada, como parte das exigências
para obtenção do título de DOUTOR EM
ZOOTECNIA, no Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia da Universidade
Estadual de Maringá - Área de concentração:
Produção Animal

MARINGÁ
Estado do Paraná
fevereiro - 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S237p Santos, Pedro da Rosa
Polinização por abelhas *Apis mellifera* em soja transgênica e convencional / Pedro da Rosa Santos. - Maringá, 2020.
xii, [4], 73 f. : figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2020.

1. Abelha africanizada (*Apis mellifera*) - Polinização - Cultivo de soja. 2. Polinização biótica. 3. Soja (*Glycine max*) - Produtividade - Polinização - Abelhas. I. Toledo, Vagner de Alencar Arnaut de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. III. Título.

CDD 23.ed. 638.13

Síntique Raquel de C. Eleuterio - CRB 9/1641



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

POLINIZAÇÃO POR ABELHAS *APIS MELLIFERA* EM
SOJA TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL

Autor: Pedro da Rosa Santos
Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo

TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

APROVADO em 19 de fevereiro de 2020.

Prof^a Dr^a Maria Claudia Colla
Ruvolo Takasusuki

Prof^a Dr^a Regina Conceição
Garcia

Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de
Oliveira

Prof. Dr. Jorge Euclides Tello
Durán

Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo
Orientador

“Primeiro foi necessário civilizar o homem em relação ao próprio homem. Agora é necessário civilizar o homem em relação à natureza e aos animais”

Victor-Marie Hugo

Aos que procuram compreender seus erros e acertos, evoluindo para que o mundo se torne um lugar melhor e justo.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPZ) e a todos professores que tive a oportunidade de conhecer ao longo da minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante todo período de estudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo, pela dedicação com seus alunos, seu entusiasmo com a apicultura e sua capacidade de ensinar seus orientandos a se tornarem melhores, tanto profissional quanto pessoalmente.

À minha esposa Camila de Carvalho, pelo seu amor incondicional, apoio, compreensão e companheirismo em todos os momentos da minha vida, desde que nos conhecemos.

Aos meus pais e familiares (que são muitos para serem citados) pelo apoio, dedicação, amor, carinho e sabedoria. Vocês são e sempre serão fundamentais para que eu continue com vontade de conquistar novos desafios.

Ao Prof. Dr. Diogo Francisco Rossoni, pelos cafés e os ensinamentos com a parte da estatística do trabalho.

À Prof^a Dr^a. Maria Cláudia Colla Ruvollo-Takasusuki e aos professores Dr. Carlos Antônio Lopes de Oliveira e Dr. Ferenc Istvan Bánkuti, por todo ensinamento nas disciplinas e pelas valiosas sugestões na qualificação.

Aos pesquisadores da Embrapa Soja, Dr. Samuel Roggia e Dr. Décio Gazzoni, pelos ensinamentos, apoio financeiro e orientação nos experimentos.

Aos técnicos e funcionários da Embrapa Soja, Miguel de Souza, Antônio Pavão, Oriverto Tonon, Adriano, Wilson, Nivaldo e Elias, pela disposição e por todo auxílio prestado ao longo do projeto.

À Mariana Turcatto da Embrapa Soja, pela dedicação em resolver a parte burocrática do projeto.

À Solange Iung, pela dedicação e competência em assuntos relacionados ao PPZ.

Aos meus amigos e colegas que, mesmo distantes, sempre estão ao meu lado. Um agradecimento especial ao Dr. Heber Luiz Pereira, pelo apoio e parceria nos projetos relacionados à apicultura, e ao Rodolfo Cecílio pela cooperação durante o experimento.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

PEDRO DA ROSA SANTOS, filho de Pedro Mendonça dos Santos e Dinara Donisete da Rosa Santos, nasceu em Cambará do Sul, Rio Grande do Sul, no dia 13 de agosto de 1988. Realizou os estudos do Ensino Fundamental na Escola Municipal de Ensino Fundamental Érico Veríssimo, em Esteio – RS; e Ensino Médio no Colégio Marajoara, em São Paulo - SP, concluindo em 2005.

Em 2007, ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Estadual de Maringá, participou como bolsista de iniciação científica (PIBIC) na área de apicultura, concluindo os estudos em 2011.

Em 2012, ingressou na escola de inglês International Language Academy of Canada (ILAC), em Toronto – Canadá. Posteriormente, mudou-se para o Arizona, EUA, onde residiu até março de 2013.

Em fevereiro de 2017, obteve o título de Mestre em Zootecnia, área de concentração Produção Animal, pela Universidade Estadual de Maringá.

Em março de 2017, iniciou seus estudos no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Doutorado, área de concentração Produção Animal, na Universidade Estadual de Maringá, realizando estudos na área de Produção Animal – Apicultura.

No dia 19 de fevereiro de 2020, submeteu-se à banca para defesa da tese.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 A importância da soja.....	1
1.2 Agricultura e sustentabilidade.....	3
1.3 Polinização entomófila.....	4
1.4 Desenvolvimento das colônias na polinização.....	6
1.5 Mudanças antropogênicas.....	7
1.6 Referências.....	10
2. OBJETIVO GERAL.....	24
3. Artigo I – Abelhas africanizadas e sua contribuição para a produtividade de soja no Brasil	25
Resumo.....	25
Abstract.....	25
Introdução.....	26
Material e métodos.....	27
Resultados e discussão.....	28
Conclusão.....	31
Agradecimentos.....	31
Referências.....	31

4.	Artigo II – Influência das abelhas africanizadas e nativas na biologia floral da soja (<i>Glycine max</i>)	34
	Resumo.....	34
	Abstract.....	34
	Introdução.....	35
	Material e métodos.....	36
	Resultados e discussão.....	37
	Conclusão.....	42
	Agradecimentos.....	43
	Referências.....	43
5.	Artigo III – Comportamento de abelhas africanizadas em flores de soja (<i>Glycine max</i>) e desenvolvimento da colônia durante o serviço de polinização	47
	Resumo.....	47
	Abstract.....	47
	Introdução.....	48
	Material e métodos.....	49
	Resultados e discussão.....	51
	Conclusão.....	55
	Agradecimentos.....	56
	Referências.....	56
6.	Apêndice.....	60
	6.1 Fotos.....	61
	6.2 Normas da revista.....	66

LISTA DE TABELAS

Artigo I - **Abelhas africanizadas e sua contribuição para a produtividade de soja no Brasil**

	Página
<p>Tabela 1. Média de produção de sementes (kg/ha) de soja (<i>Glycine max</i>) com seus respectivos desvios-padrão, cv. BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina – PR.....</p>	28
<p>Tabela 2. Média do número total de vagens e vagens com 1, 2, 3 ou 4 sementes em soja (<i>Glycine max</i>) cv. BRS 284 e BRS 1001 IPRO, sob três tratamentos de polinização, na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina – PR.....</p>	29
<p>Tabela 3. Média de peso de 1000 sementes e seus respectivos desvios-padrão, cv. BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina – PR.....</p>	30

Artigo II - **Influência das abelhas africanizadas e nativas na biologia floral da soja (*Glycine max*)**

<p>Tabela 1. Média do período de antese (horas) das flores de soja (<i>Glycine max</i>) em diferentes cultivares para os tratamentos: área livre para visitação dos insetos, área coberta sem abelhas e área coberta com abelhas, na área de experimenta�o da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR.....</p>	37
--	----

Tabela 2.	Viabilidade polínica do pólen das flores e soja (<i>Glycine max</i>) nas cultivares BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), para os tratamentos: área coberta com abelhas, área livre para visitação e área coberta sem abelhas, na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina - PR.....	39
Tabela 3.	Média da taxa de aborto (%) das flores de soja (<i>Glycine max</i>) em diferentes cultivares para os tratamentos: área livre para visitação dos insetos, área coberta sem abelhas e área coberta com abelhas, na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina - PR.....	40
Tabela 4.	Volume de néctar coletado (em µL) nas flores de soja (<i>Glycine max</i>) em diferentes cultivares para os tratamentos: área livre para visitação dos insetos, área coberta sem abelhas e área coberta com abelhas, na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina - PR.....	41
Artigo III - Comportamento de abelhas africanizadas em flores de soja (<i>Glycine max</i>) e desenvolvimento da colônia durante o serviço de polinização		
Tabela 1.	Quantidade de açúcares no conteúdo da vesícula melífera em grau Brix (°Bx) de abelhas forrageiras africanizadas em flores de soja (<i>Glycine max</i>), nas cultivares BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina -PR.....	54

LISTA DE FIGURAS

Artigo II - **Influência das abelhas africanizadas e nativas na biologia floral da soja (*Glycine max*)**

Página

- Figura 1.** Curva de regressão obtida por meio da equação: $Y = \exp^{(0,27854 + 0,379 \times h - 0,1318 \times h^2)}$ da receptividade do estigma (escore de 0 a 2) observada nas flores de soja *Glycine max*, cultivares BRS 284 e BRS 1001 IPRO, na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR..... 38
- Figura 2.** Volume de néctar coletado por flor observado nas flores de soja (*Glycine max*) cultivar BRS 284 e BRS 1001 IPRO nas áreas sem a presença de insetos polinizadores, na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR..... 42
- Artigo III - **Comportamento de abelhas africanizadas em flores de soja (*Glycine max*) e desenvolvimento da colônia durante o serviço de polinização**
- Figura 1.** Quantidade de insetos forrageando as flores de soja (*Glycine max*) nas áreas cobertas com abelhas *Apis mellifera* nas cultivares BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR..... 52
- Figura 2.** Quantidade de açúcares, em grau Brix (°Bx), mensuradas a partir do conteúdo das vesículas melíferas de abelhas africanizadas capturadas coletando recursos nas flores de soja, nas cultivares BRS 284 e BRS 1001 IPRO..... 55

Apêndice

Figura 1.	Área do experimento na Embrapa Soja, Londrina - PR.....	62
Figura 2.	Área coberta com abelhas.....	62
Figura 3.	Abelha africanizada coletando néctar na flor de soja (<i>Glycine max</i>).....	63
Figura 4.	Abelha solitária coletando néctar na flor de soja (<i>Glycine max</i>).....	63
Figura 5.	Retirada da vesícula melífera para avaliação do conteúdo de açúcares.....	64
Figura 6.	Coleta de pólen em flores de soja (<i>Glycine max</i>) para avaliar a viabilidade polínica.....	65
Figura 7.	Coleta de abelhas forrageiras para avaliar a carga de pólen nas corbículas.....	65
Figura 8.	Avaliação do número de vagens na soja (<i>Glycine max</i>) após a colheita.....	66

RESUMO

A soja (*Glycine max* L. Merril) é uma das *commodity* mais importantes do Brasil e do mundo, sendo que apenas no país, são aproximadamente 35 milhões de hectares destinados ao plantio dessa cultura. As áreas cultivadas de soja em nosso território têm aumentado exponencialmente a cada colheita e o mercado de sementes caminha na mesma direção, lançando novas cultivares a cada ano. Para aumentar não apenas a área plantada, mas também a produtividade, é necessário usar tecnologias e sistemas de integração. Como existem referências muito discrepantes em relação à contribuição de polinizadores, em especial da *Apis mellifera*, para a produtividade da soja, entende-se como fundamental estudar a relação entre a presença de polinizadores, a biologia floral e os componentes de produção da cultura agrícola. A literatura apresenta dados variando desde a ausência de contribuição, até aumentos na produção de grãos superiores a 30%. Mesmo não sendo uma espécie dependente de polinizadores para completar o ciclo reprodutivo, a soja constitui importante fonte de néctar e pólen aos visitantes florais. Neste estudo, avaliou-se o efeito da polinização por abelhas africanizadas sobre duas cultivares de soja durante dois anos consecutivos, sendo uma cultivar convencional (BRS 284) e outra transgênica (BRS 1001 IPRO). Três tratamentos foram estabelecidos: gaiolas com abelhas *Apis mellifera*, gaiolas sem abelhas e áreas livres para visitação de insetos. Os resultados mostraram aumento de 6,45% do rendimento de soja em áreas com livre acesso à visitação de insetos e, nas gaiolas com a introdução de colônias, o aumento foi de 13,64%. No tratamento com a presença de abelhas, o período de antese foi de 53,85 horas, no campo aberto e, nas gaiolas sem a presença de abelhas, foi 63,10 e 63,60 horas, respectivamente. A taxa de aborto de flores nas plantas foi menor nas áreas com a presença de abelhas. A receptividade do estigma e viabilidade polínica não apresentaram diferenças estatística entre os tratamentos e nem entre as cultivares. O volume de néctar

na flor foi maior na parte da manhã até as 13h. O tempo de coleta de néctar e/ou pólen foi avaliado com auxílio de um cronômetro, acompanhando a abelha em sua atividade. Também foi cronometrado o tempo de permanência da abelha na flor e o número de visitas por minuto. Verificou-se que as abelhas ficam, em média 2,42 segundos coletando néctar na cultivar transgênica e 2,54 na cultivar convencional, não havendo diferença estatística entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de significância. Em nenhum tratamento foi observado o comportamento de coleta de pólen nas flores. Com relação ao número de floras visitadas por minuto, observou-se que, em média, as abelhas africanizadas visitam 12 flores por minuto. Estes resultados indicaram que, mesmo nas cultivares de soja desenvolvidas mais recentemente, a polinização cruzada pode mostrar ganhos de produtividade, ainda que seja uma espécie autógama e com baixo índice de polinização cruzada.

Palavras-chave: *Glycine max*, polinização biótica, polinização de culturas, serviço de polinização

ABSTRACT

POLLINATION BY *APIS MELLIFERA* HONEYBEES IN TRANSGENIC AND CONVENTIONAL SOYBEAN

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* L. Merrill) is one of the most important commodities in Brazil and in the world, and in the country alone, there are approximately 35 million hectares destined for its planting. Soybean cultivated areas in our territory have increased exponentially with each harvest and the seed market is moving in the same direction, launching new cultivars every year. To increase not only the planted area, but also the productivity, it is necessary to use integration technologies and systems. As there are very different references in relation to the pollinators contribution, especially *Apis mellifera*, to soybean productivity, it is fundamental to study the relationship between the pollinators presence, floral biology and the components of production of this agricultural crop. The literature presents data ranging from the absence of contribution to increases in grain production above 30%. Even though it is not a pollinator-dependent species to complete the reproductive cycle, soybean is an important source of nectar and pollen for floral visitors. In this study, the pollination effect by Africanized honeybees on two soybean cultivars for two consecutive years was evaluated, one conventional cultivar (BRS 284) and another transgenic (BRS 1001 IPRO). Three treatments were established: cages with *Apis mellifera* honeybees, cages without honeybees and free areas for visiting insects. The results showed an increase of 6.45% in soybean yield in areas with free access to insect visits and, for cages with the introduction of colonies, the increase was 13.64%. In treatment with honeybees presence the anthesis period was 53.85 hours, in the open field

and in the cages without honeybees presence it was 63.10 and 63.60 hours, respectively. The flower abortion rate on plants was lower in areas with honeybees presence. The stigma receptivity and pollen viability did not show statistical differences between treatments or between cultivars. The nectar volume in the flower was higher in the morning until 1 pm. The nectar and/or pollen collection time was evaluated with the aid of a stopwatch, following the bee in its activity. The time spent by the honeybee on the flower and the number of visits per minute were also timed. It was found that honeybees spend a mean of 2.42 seconds collecting nectar in the transgenic cultivar and 2.54 in the conventional cultivar, with no statistical difference between means by the Tukey test at 5% significance. The pollen collection behavior of flowers was not observed in any treatment. Regarding the number of flowers visited per minute, it was observed that, on mean, Africanized honeybees visit 12 flowers per minute. These results indicated that, even in the most recently developed soybean cultivars, cross-pollination can show productivity gains, even though it is an autogamous species and with a low cross-pollination index.

Keywords: biotic pollination, crop pollination, *Glycine max*, pollination service, transgenic soybean

1. INTRODUÇÃO

1.1 A importância da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta pertencente à família Fabaceae e, do ponto de vista biológico, possui como característica a alta atratividade de insetos, tanto aqueles considerados pragas, quanto os polinizadores (Gazzoni 2016). Do ponto de vista produtivo, é um dos grãos mais importantes do mundo devido ao seu alto conteúdo de óleo e proteína de alto valor biológico (Adak e Kibritci 2016), com grande possibilidade de expansão comercial devido ao aumento contínuo de demanda e, além disso, continua atrás de culturas como trigo, arroz e milho (Gao et al. 2018; Ma et al. 2018).

Tanto no Brasil quanto no mundo, a soja tem apresentado rápido crescimento no mercado de produtos agrícolas e passou a ser um dos principais protagonistas no campo. Atualmente, a soja constitui a principal *commodity* agrícola do mundo, contribuindo principalmente para a produção de óleo e para a alimentação animal (Agarwal et al. 2013). No Brasil, o cultivo da soja aumentou de 640 hectares na década de 1940, para mais de 35 milhões de hectares em 2018 (Gazzoni e Dall'agnol 2018), um avanço exponencial em menos de 80 anos.

A maior parte da produção de soja no mundo se concentra em três países: Brasil, Estados Unidos e Argentina, responsáveis por mais de 80% da safra mundial, enquanto a China é o maior importador. No Brasil, os estados com maior produção de soja são: Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul (Conab 2018), respectivamente. Os três estados juntos são responsáveis por aproximadamente 57% da produção nacional.

O crescimento da área destinada à cultura foi acompanhado pela supressão da vegetação natural. Esse desmatamento muitas vezes prejudica a própria agricultura, uma vez que florestas e áreas naturais abrigam uma grande diversidade de polinizadores

(Blitzer et al. 2012). O serviço de polinização é essencial para a manutenção dos ecossistemas, já que 90% das plantas com flores (Ollerton et al. 2011) e 35% das culturas agrícolas do mundo dependem da polinização para se reproduzir (Klein et al. 2007).

Embora algumas espécies de plantas sejam autopolinizadas, como a soja, suas flores mantiveram, ao longo da evolução, estruturas anatômicas e recursos florais compatíveis com estruturas desenvolvidas por plantas dependentes da polinização por insetos. As estruturas mais comuns para atrair os polinizadores de insetos são os guias de néctar e os nectários florais (Palmer et al. 2009). Ainda que autógamias, parte das flores de soja se autopolinizam e outras se reproduzem por autofecundação, possivelmente para aumentar a diversidade genética. Ray et al. (2003) observaram que a taxa de polinização cruzada na soja varia de 0,65 a 6,32%, dependendo a cultivar.

Erickson (1975a) observou que as cultivares de soja que possuem os alelos E_3 são as mais atrativas para as abelhas. Todavia, como existem centenas de cultivares de soja e nem todas são atrativas para as abelhas, de acordo com Alves et al. (2010), é necessário estudar a associação das principais cultivares plantadas com o comportamento das abelhas, pois são os insetos mais eficientes na polinização da soja (Chiari et al. 2008). No entanto, o nível de contribuição das abelhas na produtividade de soja ainda é controverso e as diferenças encontradas nos diferentes estudos podem ser atribuídas ao manejo da cultura agrícola, à dependência de polinização cruzada mediada por insetos da cultivar estudada, à quantidade e espécies de insetos disponíveis para polinizar a área analisada e à densidade de plantas (Lindstrom et al. 2015). Na soja, os componentes de produtividade são formados pela densidade de plantas na área de cultivo, número de vagens por planta, número de sementes por vagem e o peso das sementes.

As flores de soja, embora produzam baixa quantidade de néctar, aproximadamente 0,2 a 0,5 uL por flor (Erickson 1984), são bastante numerosas, podendo chegar até 800 flores (van Shaik e Probst 1958) durante o ciclo reprodutivo. As flores apresentam guias de néctar bem definidos e facilmente visíveis a olho nu, nas cultivares que apresentam flores de coloração roxa (Erickson e Garment 1979).

Apesar da grande quantidade de flores que se abrem durante o ciclo reprodutivo, a soja apresenta alta taxa de aborto de flores, podendo ser superior a 70% quando não há polinização cruzada mediada por abelhas (Chiari et al. 2013). O primeiro estudo científico sobre a polinização por abelhas em flores de soja foi realizado por Piper e Morse (1910), e desde então, há grande debate sobre os benefícios do serviço de polinização nessa cultura. Erickson et al. (1978) concluíram que a presença de abelhas acarretou aumentos

significativos na produção de sementes. Resultados semelhantes foram observados por (Milfont et al. 2013), e alguns autores, tais como Woodhouse e Taylor (1913), não observaram diferenças no peso total das sementes, comparando os tratamentos com abelhas com o tratamento sem a presença de polinizadores.

1.2 Agricultura e sustentabilidade

O tamanho das áreas cultivadas com espécies agrícolas que dependem direta ou indiretamente da polinização vem crescendo anualmente, enquanto o serviço de polinização dos insetos tem sofrido riscos de diminuir ou desaparecer devido a inúmeros fatores (Aizen e Harder 2009). Isso ocorre porque o serviço de polinização dos insetos não costuma fazer parte do planejamento e muito menos das práticas agrícolas adotadas na maioria dos países (Breeze et al. 2014).

Um dos motivos que contribui para que os insetos polinizadores não façam parte do manejo agrícola é a falta de estudos consistentes e atualizados sobre a importância dessas espécies na produtividade das principais culturas agrícolas (Abrol 2007). Em muitos casos, os estudos são complexos pois é difícil avaliar a contribuição de polinizadores que não são manejados racionalmente. Garibaldi et al. (2013) verificou que, de todas as culturas cultivadas no mundo, pelo menos 41 dependem da polinização realizada por polinizadores silvestres.

Os estudos para estimar a contribuição dos polinizadores, tanto economicamente, quanto para a qualidade de vida humana e dos ecossistemas, surgiu nos anos 1980 (Gomez-Baggethun e Ruiz-Perez 2011). No Brasil, Gianini et al. (2015) concluíram que 29% das espécies agrícolas dependem da polinização para alcançar produção significativa. Além disso, os mesmos autores observaram que o incremento agrícola devido aos polinizadores representa 30% do valor total de mercado. Contudo, a contribuição de produção, devido à polinização realizada por polinizadores silvestres, depende diretamente da abundância dessas espécies nas proximidades da lavoura (Garibaldi et al. 2011).

Devido a mudanças climáticas (Kerr et al. 2015) e impacto dos pesticidas (Dicks 2013), a diminuição da quantidade de polinizadores se tornou uma das principais preocupações ambientais (Gilbert 2014). Além do mais, plantas que dependem de um polinizador específico podem entrar em extinção juntamente com o polinizador, pois o

agravamento de problemas ambientais, tais como pragas e doenças, desmatamento, falta de alimento e uso indiscriminado de pesticidas (Goulson et al. 2015) acentuam o declínio de polinizadores silvestres. Por isso, os sistemas de agricultura que utilizem o serviço de polinização e ao mesmo tempo preservem os habitats para nidificação desses polinizadores (Batáry et al. 2015), tornam-se muito importantes uma vez que os esforços de preservação e conservação ainda são capazes de recuperar grande parte do prejuízo (Cavalheiro et al. 2013).

O declínio de polinizadores pode acarretar consequências catastróficas para a sociedade, uma vez que a demanda por alimentos tende a crescer em 70% até 2050 (FAO 2010) e, além disso, impacta a biodiversidade e ecossistemas. Uma das formas de diminuir ou minimizar os impactos ambientais sobre a saúde dos polinizadores é por meio do uso de agricultura sustentável (Mutzke et al. 2015).

O termo sustentabilidade surgiu no final dos anos 1980 (Dixon e Fallon 1989) e até os dias atuais está ocorrendo a transição da “sociedade do consumo” para o uso sustentável dos recursos naturais. Embora o planeta tenha mais de 7 bilhões de pessoas que precisam se alimentar, existe a conscientização sobre a necessidade de modelos de agricultura que aliem a produtividade e à preservação de ecossistemas, incluindo os polinizadores. Isto é, a agricultura deve investir em tecnologias de produção, visando proteger a biodiversidade dos ecossistemas sem causar danos ao ambiente (UNEP 2011). Além de assegurar a produtividade de boa parte dos vegetais cultivados, o serviço de polinização dos insetos pode ainda aumentar a qualidade dos frutos produzidos, agregando valor ao produto (Garrat et al. 2014).

1.3 Polinização entomófila

A polinização consiste na transferência dos grãos de pólen das anteras até o estigma das flores (Rech et al. 2014), sendo que a polinização entomófila facilita esse processo. Porém, para que haja fecundação, é necessário que o estigma esteja receptivo, permitindo a germinação dos grãos de pólen e posterior desenvolvimento do tubo polínico (Raven et al. 2014). Dentre a gama de espécies vegetais que dependem em certo grau da polinização entomófila, existe grande quantidade de plantas produtoras de alimentos de alto valor nutricional, cultivados na agricultura, que pertencem a essa classe, tais como frutas, sementes e vegetais (Ellis et al. 2015). Entre os polinizadores bióticos, os insetos são os

mais eficientes devido à sua abundante quantidade na natureza e à adaptabilidade as diferentes estruturas florais (Free 1993). A evolução de milhares de anos foi um processo que beneficiou tanto os polinizadores quanto as plantas (Del-Claro e Torezan-Silingardo 2012).

Entre os polinizadores, as abelhas são os principais em nível mundial (Calderone 2012), sendo que existem mais de 20 mil espécies de abelhas no mundo (Michener 2007), e são responsáveis por aproximadamente 84% da polinização entomófila (McGregor 1976). As abelhas são altamente eficientes na polinização, pois ao longo da evolução se adaptaram perfeitamente à morfologia das flores, como por exemplo, as abelhas capazes de vibrar o tórax para liberar o pólen das anteras (Michener 2007). Lima et al. (2016) demonstraram que colônias de abelhas africanizadas com alta demanda por proteína aumentaram a área de pólen armazenado em mais de 200%, em apenas duas semanas.

Além do mais, existem abelhas que são generalistas, as quais visitam uma grande diversidade de flores de diferentes espécies, e as abelhas especialistas, que apresentam preferência por uma ou poucas flores (Waser e Ollerton 2006). Geralmente, as abelhas preferem visitar flores que estão localizadas em um raio cerca de 300 m de distância do ninho (Zurbuchen et al. 2010).

No entanto, para que aumente o interesse do agricultor em utilizar abelhas na polinização de determinada cultura, os polinizadores devem ser de fácil manejo, confiáveis e eficazes (Andrikopulos e Cane 2018). Muitas vezes, a falta de implemento do serviço de polinização entomológica ocorre devido à falta de métodos de comparação de resultados a campo, que comprovem a eficiência da contribuição desses polinizadores para a cultura (Portman 2013).

Existem várias metodologias para avaliar a polinização nas áreas agrícolas, sendo mais comuns as que consistem na utilização de gaiolas de polinização ou sistemas de isolamento das flores (Hudewenz et al. 2013). Por isso, são necessários novos estudos, avaliando não somente as espécies de abelhas envolvidas no serviço de polinização, mas também as cultivares da cultura a ser polinizada. Tanto as diferentes cultivares da espécie vegetal podem influenciar o incremento pelos polinizadores, quanto o arranjo espacial no plantio Klatt et al. (2014), o ambiente e as práticas de manejo adotadas na lavoura (Melathopoulos et al. 2014).

Santos et al. (2019) observaram diferenças de produção em diversas cultivares de soja, indicando que cada cultivar possui características genéticas próprias e, conseqüentemente, apresentam diferentes resultados a campo. Como as áreas cultivadas

e a demanda por alimento crescem constantemente, a exigência pelo serviço de polinização também tende a crescer (Lautenbach et al. 2012), caso haja conscientização sobre o uso sustentável da terra. Logo, terão que ser estudadas as contribuições de espécies domésticas e silvestres na polinização dessas novas cultivares que surgem ano após ano.

Entre os exemplos de culturas agrícolas que se beneficiam do serviço de polinização podemos destacar incrementos de produtividade na soja *G. max* (Blettler et al. 2018; Zelaya et al. 2017; Monasterolo et al. 2015; Milfont et al. 2013; Santos et al. 2013; Chiari et al. 2008; Erickson 1975b), canola *Brassica napus* (Chambó et al. 2018; Chambó et al. 2014; Chambó et al. 2011; Durán et al. 2010), girassol *Helianthus annuus* (Perrot et al. 2019; Chambó et al. 2014; Toledo et al. 2011), acerola *Mapighia emarginata* (Oliveira et al. 2015), melão *Cucumis melo* (Sousa et al. 2013), laranja *Citrus sinensis* (Toledo et al. 2013), maçã *Malus domestica* (Garrat et al. 2014; Ramírez e Davenport 2013), abóbora *Cucurbita pepo* (Vidal et al. 2010), mirtilo *Vaccinium myrtillus* (Nicholson e Ricketts 2019), lichia *Litch chinensis* (Sapir et al. 2019), entre outros.

Porém, para se alcançar resultados significativos de aumento de produtividade e/ou qualidade dos frutos, o ideal é que haja mais de uma espécie de abelha polinizando a cultura. Brittain et al. (2013) demonstraram que a presença de abelhas silvestres competindo pelos mesmos recursos florais aumentou a eficiência de polinização das abelhas *A. mellifera*. Por esse motivo, a preservação dos habitats próximos as áreas de plantio é essencial para a manutenção dos ecossistemas, uma vez que a perda desse habitat pode fazer com que uma espécie de polinizador se sobressaia em relação a outra, podendo causar declínio da espécie menos adaptada à mudança no ambiente (Carré et al. 2009).

1.4 Desenvolvimento das colônias na polinização

Para se obter dados confiáveis sobre a contribuição do serviço de polinização realizado por insetos polinizadores nas áreas de cultivo, é necessário utilizar uma área amostral representativa e com plantas padronizadas da cultura a ser avaliada (Cunningham e Le Feuvre 2013). Do mesmo modo, se o objetivo for avaliar o efeito da polinização de colônias de abelhas instaladas na lavoura, as colônias devem ser padronizadas quanto à quantidade de abelhas e à força da colônia. A força da colônia é

um dos principais métodos utilizados pelos apicultores para determinar se a colônia está em condições ideais para realizar o serviço de polinização (Nasr et al. 1990).

Em alguns países, como nos Estados Unidos, apicultores têm relatado perdas significativas na quantidade de colônias, com perda média de 30% anualmente (Kulhanek et al. 2017). Podem ser relacionados inúmeros fatores à diminuição na quantidade de colônias, o que levou os pesquisadores a classificar tal característica como distúrbio do colapso das colônias (vanEngelsdorp et al. 2009). Entre os fatores estressantes estão o déficit nutricional, mudanças antropogênicas no ambiente e falta de pasto apícola (Smart et al. 2016), entre outros.

A qualidade do pasto apícola e as características ambientais afetam diretamente a saúde da colônia (Dolezal et al. 2016), influenciando a resistência ou maior susceptibilidade a agentes patógenos e parasitas (Di Pasquale et al. 2013). O pólen, por exemplo, é essencial para alimentação das larvas, pois é a principal fonte de proteína da colônia (Eckhardt et al. 2014). A falta de pólen pode prejudicar o desenvolvimento da colônia (Crailsheim 1990), e um dos primeiros sintomas de deterioração do desenvolvimento por falta de pólen é justamente a diminuição da área de cria (Hrassnigg e Crailsheim 2005), enquanto os ovos e as larvas mais jovens servem como fonte de proteína para alimentação das abelhas (Boes 2010).

Atividades apícolas intensivas e que exigem muito trabalho das abelhas, como é o caso do serviço de polinização, podem provocar efeitos negativos na quantidade de cria e desenvolvimento da colônia (Czakońska et al. 2015). Wiebold (2012) observou que nas flores de soja, o pólen fica alojado em locais com difícil acesso aos polinizadores, e assim, somente uma pequena quantidade de pólen fica aderida ao corpo do inseto. Por isso, a necessidade de novos estudos sobre a interação entre os polinizadores e as áreas de agricultura, elucidando não somente a contribuição dos insetos polinizadores para a planta, mas também o desenvolvimento das colônias durante o serviço de polinização.

1.5 Mudanças antropogênicas

O homem, de certa maneira, após observar a perfeição da natureza, passou a imitá-la, tentando criar um processo de mutualismo entre sociedade e o ambiente. O mutualismo nada mais é do que a associação entre dois seres vivos, na qual ambos são beneficiados (Boucher et al. 1982). Na natureza, o mutualismo aparece em diversos locais e entre os

diversos grupos de seres vivos, dos menos até os mais evoluídos. Um exemplo clássico de mutualismo natural é o processo de polinização feito pelas abelhas.

Ocorre que, muitas vezes, o serviço de polinização é gravemente prejudicado pela falta de preservação do homem com relação aos habitats naturais dos polinizadores, seja pelo desmatamento em prol da lavoura ou do manejo intensivo da agricultura. Muitas espécies de abelhas são altamente sensíveis a mudanças bruscas no ambiente ou ao princípio ativo de determinados defensivos agrícolas, sendo que a intensidade desse impacto depende do tamanho da área afetada (Karp et al. 2012).

Desse modo, fica evidente a necessidade da conscientização do homem do campo (Munyuli 2011) em preservar as florestas nativas, bem como a importância da sociedade em compreender as interações que ocorrem entre os ecossistemas naturais e os manejos agrícolas (Melathopoulos et al. 2015). Com o crescimento das áreas de monocultura, a presença de polinizadores silvestres depende não somente do manejo adequado, mas também da diversidade de habitats (Kennedy et al. 2013). Essa diversidade de habitat é importante para assegurar um serviço de polinização eficiente (Kremen et al. 2007) e pode ser recuperada em regiões onde houve supressão da vegetação nativa, por meio do plantio de plantas apícolas e utilização de troncos de árvores, para fornecer abrigo e locais de nidificação para as abelhas (Holzschuh et al. 2010).

Quando as áreas de plantio são muito extensas e há poucos espaços de mata nativa preservados, os polinizadores acabam ficando restritos em um pequeno espaço (Patrício-Roberto e Campos 2014), o que pode provocar uma competição entre as abelhas solitárias e as abelhas sociais nessa pequena área e, como consequência, o desaparecimento de uma ou mais espécies (González-Varo et al. 2009). Quanto menos espécies, maior o risco de ocorrer uma polinização ineficiente; no entanto, a maior parte dos contratos de serviço de polinização são atrelados ao aluguel de colônias de abelhas *A. mellifera* (Winfrey et al. 2011).

A monocultura em larga escala e a diminuição das áreas de matas contínuas tem provocado um isolamento entre as pequenas áreas de vegetação nativa, criando fragmentos que impactam a diversidade e quantidade de polinizadores (Patrício-Roberto e Campos 2014). Por isso, alguns estudos científicos (Farina 2006) e políticas públicas governamentais (Potts et al. 2010) têm indicado a importância de manter corredores ecológicos juntamente com as áreas destinadas a agricultura. Os corredores ecológicos nada mais são do que áreas de vegetação nativa mantidas intactas, próximas ou integradas com a lavoura, com a finalidade de facilitar a reprodução e aumentar a diversidade de

espécies de animais, entre eles os polinizadores (Harris 1984), permitindo o fluxo gênico. Outra vantagem da preservação dos corredores ecológicos é a possibilidade de floração em diferentes épocas do ano (Krewenka et al. 2011), considerando a maior diversidade botânica.

Em áreas de agricultura orgânica, o risco de declínio dos polinizadores é reduzido pois é vetado o uso de defensivos agrícolas e, geralmente, os agricultores que adotam esse sistema são menos exigentes quanto a erradicação de ervas daninha, que funcionam como fornecedores de recursos alimentares e abrigo para as abelhas (Wratten et al. 2012).

Uma das maiores dificuldades com relação a esse planejamento, baseia-se no cálculo de área mínima necessária para manter a população de polinizadores silvestres em proporção ao tamanho de área cultivada (Dover e Settele 2009).

Um consenso entre os pesquisadores que estudam o assunto tende para o fato que para manter um ecossistema saudável, em quantidade e diversidade de polinizadores silvestres, é essencial a coexistência das áreas agricultáveis com a vegetação nativa, formando mosaicos em que a distância entre uma área preservada e outra evite o isolamento dos polinizadores (Lentini et al. 2012). A introdução de espécies exóticas em determinada região pode promover uma nova interação e competição com os polinizadores locais, porém, desde que o ecossistema esteja saudável e equilibrado, essa nova interação pode se mostrar positiva e não trazer impactos prejudiciais às espécies nativas (Patrício-Roberto e Campos 2014).

Logo, com o surgimento de estudos mais precisos sobre o valor econômico do serviço de polinização, concomitante à preservação dos habitats naturais, será mais fácil conscientizar os agricultores e a sociedade sobre a importância da implantação de programas de agricultura sustentável, visando à conservação dos polinizadores (Winfrey 2010). Ainda são raros os casos em que os produtores adotaram práticas de conservação dos polinizadores sem que houvesse subsídio governamental (Sagoff 2011).

Baseado nisso, o objetivo deste estudo foi estimar a contribuição do serviço de polinização de abelhas africanizadas em relação aos componentes de produção da soja. Também foram avaliadas as respostas da biologia floral com e sem a presença de abelhas realizando a polinização, bem como o desenvolvimento das colônias durante o período de floração.

1.6 Referências

Abrol DP (2007) Honeybees and rapeseed: a pollinator-plant interaction. In: Gupta SK, Kader JC (eds) *Advances in botanical research*. Academic Press, London, pp 337–367. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(07\)45012-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(07)45012-1)

Adak MS, Kibritci M (2016) Effect of nitrogen and phosphorus levels on nodulation and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.). *Legume Research* 39:991–994. <https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.3773>

Agarwal DK, Billore SD, Sharma NA, Dupare BU, Srivastava SK (2013) Soybean introduction, improvement, and utilization in India-problems and prospects. *Agricultural Research* 2:293-300. <https://doi.org/10.1007/s40003-013-0088-0>

Aizen MA, Harder LD (2009) The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current Biology* 19:1–4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.03.071>

Alves EM, Toledo VAA, Oliveira AJ, Sereia MJ, Neves CA, Ruvolo-Takasusuki MCC (2010) Influência das abelhas africanizadas na concentração de açúcares no néctar de soja (*Glycine max* L. Merrill) var. Codetec 207. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 32(2):189-195. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i2.7930>

Andrikopoulos CJ, Cane JH (2018) Comparative pollination efficacies of five bee species on raspberry. *Journal of Economic Entomology* 111(6):1-7. <https://doi.org/10.1093/jee/toy226>

Batáry P, Dicks LV, Kleijn D, Sutherl WJ (2015) The role of agri-environment schemes in conservation and environmental management. *Conservation Biology* 29:1006-1016. <https://doi.org/10.1111/cobi.12536>

Bletter DC, Fagúndez GA, Caviglia OC (2018) Contribution of honeybees to soybean yield. *Apidologie* 49:101-111. <https://doi.org/10.1007/s13592-017-0532-4>

Blitzer EJ, Carsten FD, Holzschuh A, Klein AM, Rand TA (2012) Spillover of functionally important organisms between managed and natural habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 146:34-43. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.09.005>

Brittain C, Williams N, Kremen C, Klein AM (2013) Synergistic effects of non-*Apis* bees and honey bees for pollination services. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2767>

Breeze TD, Vaissière BE, Bommarco R, Petanidou T, Seraphides N, Kozák L, Scheper J, Biesmeijer JC, Kleijn D, Gyldenkerne S, Moretti M, Holzschuh A, Steffan-Dewenter I, Stout JC, Pärtel M, Zobel M, Potts SG (2014) Agricultural policies exacerbate honeybee pollination service supply-demand mismatches across Europe. *PLoS One* 9:e82996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082996>

Boes KE (2010) Honeybee colony drone production and maintenance in accordance with environmental factors: an interplay of queen and worker decisions. *Insectes Sociaux* 57:1–9. <https://doi.org/10.1007/s00040-009-0046-9>

Boucher DH, James S, Keeler KH (1982) The ecology of mutualism. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 13:315-347. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.001531>

Calderone NW (2012) Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: trend analysis of aggregate data for the period 1992–2009. *PLoS ONE* 7(5):e37235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037235>

Carré G, Roche P, Chifflet R, Morison N, Bommarco R, Harrison-Cripps J, Krewenka K, Potts SG, Roberts SP, Rodet G (2009) Landscape context and habitat type as drivers of bee diversity in European annual crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133:40–47. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.05.001>

Cavalheiro LG, Kunin WE, Keil P, Aguirre-Gutiérrez J, Ellis WN, Fox R, Groom Q, Hennekens S, Van Landuyt W, Maes D, Van de Meutter F, Michez D, Rasmont P, Ode

B, Potts SG, Reemer M, Roberts SPM, Schaminée J, WallisDeVries MF, Biesmeijer JC (2013) Species richness declines and biotic homogenisation have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecology Letters* 16:870–878. <https://doi.org/10.1111/ele.12121>

Chambó ED, Camargo SC, Garcia RC, Carvalho CAL, Ruvolo-Takasusuki MCC, Ronqui L, Silva Junior CG, Santos PR, Toledo VAA (2018) Benefits of entomophile pollination in crops of *Brassica napus* and aspects of plant floral biology. In: El-Esawi MA (ed) *Brassica Germplasm-Characterization, Breeding and Utilization*. Rijeka, IntechOpen, pp 95-106. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74569>

Chambó ED, Oliveira NTE, Garcia RC, Duarte-Júnior JB, Ruvolo-Takasusuki MCC, Toledo VAA (2014) Pollination of rapeseed (*Brassica napus*) by Africanized honeybees (Hymenoptera: Apidae) on two sowing dates. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 86:2087-2100. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201420140134>

Chambó ED, Garcia RC, Oliveira NTE, Duarte-Júnior JB (2011) Honeybee visitation to sunflower: effects on pollination and plant genotype. *Scientia Agricola* 68(6):647-651. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000600007>

Chiari WC, Hoffmann-Campo CB, Arias CA, Lopes TS, Toledo TCSOA, Chambó ED, Ruvolo-Takasusuki MCC, Toledo VAA (2013) Floral biology and Africanized honeybee behaviour in transgenic (Roundup Ready™ var. BR-245 RR) and conventional (var. BRS-133) soybean (*Glycine max* L. Merrill) flowers. In: Price AJ, Kelton JA. (eds). *Herbicides - Advances in Research*. Rijeka, IntechOpen, pp. 277-298. <http://dx.doi.org/10.5772/55847>

Chiari WC, Toledo VAA, Hoffmann-Campo CB, Ruvolo-Takasusuki MCC, Toledo TCSOA, Lopes TS (2008) Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [*Glycine max* (L.) Merrill] Roundup Ready™ cv. BRS 245 RR e convencional cv. BRS 133. *Acta Scientiarum. Agronomy* 30(2):267-271. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i2.178>

CONAB (2018) Acompanhamento da safra brasileira de grãos, 5(10):143p.

Crailsheim K (1990) The protein balance of the honey bee worker. *Apidologie* 21(5):417–429. <https://doi.org/10.1051/apido:19900504>

Cunningham SA, Le Feuvre D (2013) Significant yield benefits from honeybee pollination of faba bean (*Vicia faba*) assessed at field scale. *Field Crops Research* 149:269–275. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.019>

Czekońska K, Chuda-Mickiewicz B, Samborski J (2014) Quality of honeybee drones reared in colonies with limited and unlimited access to pollen. *Apidologie* 46:1-9. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0296-z>

Del-Claro K, Torezan-Silingardi HM (2012). *Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico evolutiva*. Rio de Janeiro: Technical Books.

Dicks L. (2013) Bees, lies and evidence-based policy. *Nature* 494:283-283. <https://doi.org/10.1038/494283a>

Di Pasquale G, Salignon M, Le Conte Y, Belzunces LP, Decourtye A, Kretzschmar A, Suchail S, Brunet JL, Alaux C (2013) Influence of pollen nutrition on honey bee health: do pollen quality and diversity matter? *PLoS ONE* 8:e72016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072016>

Dixon JA, Fallon LA (1989) The concept of sustainability: origins, extensions and usefulness for policy. *Society and Natural Resources* 2:73-84. <https://doi.org/10.1080/08941928909380675>

Dolezal AG, Carrillo-Tripp J, Miller WA, Bonning BC, Toth AL (2016) Intensively cultivated landscape and *Varroa* mite infestation are associated with reduced honey bee nutritional state. *PLoS ONE* 11:e0153531. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153531>

Dover J, Settele J (2009) The influences of landscape structure on butterfly distribution and movement: a review. *Journal of Insect Conservation* 13:3–27. <https://doi.org/10.1007/s10841-008-9135-8>

Durán XA, Ulloa RB, Carrillo JA, Contreras JL, Bastidas MT (2010) Evaluation of yield component traits of honeybee pollinated (*Apis mellifera* L.) rapeseed canola (*Brassica napus* L.). Chilean Journal of Agricultural Research 70(2):309-314. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000200014>

Eckhardt M, Haider M, Dorn S, Muller A (2014) Pollen mixing in pollen generalist solitary bees: A possible strategy to complement or mitigate unfavourable pollen properties? Journal of Animal Ecology 83:588–597. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12168>

Ellis AM, Myers SS, Ricketts TH (2015) Do pollinators contribute to nutritional health? PLoS ONE 10:e114805. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114805>

Erickson EH (1984) Soybean pollination and honey production a research progress report. American Bee Journal 124:775-779.

Erickson EH (1975a) Variability of floral characteristics influences honey bee visitation to soybean blossoms. Crop Science 15:767-771.

Erickson EH (1975b) Effect of honey bees on yield of three soybean cultivars. Crop Science 14:84-86.

Erickson EH, Berger GA, Shannon JG, Robin JM (1978) Honey bee pollination increases soybean yields in the Mississippi delta region of Arkansas and Missouri. Economic Entomology 71:601–603. <https://doi.org/10.1093/jee/71.4.601>

Erickson EH, Garment MB (1979) Soya-bean flowers: nectary ultra structure, nectar guides, and orientation on the flower by foraging honeybees. Journal of Apicultural Research, 18(1):1-11. <https://doi.org/10.1080/00218839.1979.11099935>

FAO - Food and Agriculture Organization (2010) ‘Climatesmart’ agriculture, policies, practices and finances for food security, adaptation and mitigation. FAO, Rome.

Farina A (2006) Principles and methods in landscape ecology: towards a science of landscape. Springer: Dordrecht.

Free JB (1993) Insect pollination of crops. Academic Press, London.

Gao J, Chen M, Meng F, Yan Y (2018) Effect of increasing panicle fertilizer on rice yield and nitrogen use efficiency. *Journal of Agricultural Sciences* 43:1–4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00999>

Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Winfree R, Aizen MA, Bommarco R, Cunningham SA, Kremen C, Carvalheiro LG, Harder LD, Afik O, Bartomeus I, Benjamin F, Boreux V, Cariveau D, Chacoff NP, Dudenhöffer JH, Freitas BM, Ghazoul J, Greenleaf S, Hipólito J, Holzschuh A, Howlett B, Isaacs R, Javorek SK, Kennedy CM, Krewenka KM, Krishnan S, Mandelik Y, Mayfield MM, Motzke I, Munyuli T, Nault BA, Otieno M, Petersen J, Pisanty G, Potts SG, Rader R, Ricketts TH, Rundlöf M, Seymour CL, Schüepp C, Szentgyörgyi H, Taki H, Tschardtke T, Vergara CH, Viana BF, Wanger TC, Westphal C, Williams N, Klein A-M (2013) Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 339:1608–1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>

Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Kremen C, Morales JM, Bommarco R, Cunningham SA, Carvalheiro LG, Chacoff NP, Dudenhöffer JH, Greenleaf SS, Holzschuh A, Isaacs R, Krewenka K, Mandelik Y, Mayfield MM, Morandin LA, Potts S, Ricketts TH, Szentgyörgyi H, Viana BF, Westphal C, Winfree R, Klein AM (2011) Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters* 14:1062–1072. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x>

Garratt MPD, Breeze TD, Jenner N, Polce C, Biesmeijer JC, Potts SG (2014) Avoiding a bad apple, Insect pollination enhances fruit quality and economic value. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 184:34–40. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.032>

Gazzoni DL (2016) Soybean and bees. Brasília, Embrapa.

Gazzoni DL, Dall'agnol A (2018) A saga da soja. De 1050 a.C. a 2050 d.C. Brasília, Embrapa.

Gianini TC, Cordeiro GD, Freitas BM, Saraiva AM, Imperatriz-Fonseca VL (2015) The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology* 108(3):1-9. <https://doi.org/10.1093/jee/tov093>

Gilbert N (2014) Life on Earth' project gets underway. *Nature* 510:455.

Gomez-Baggethun E, Ruiz-Perez M (2011) Economic valuation and the commodification of ecosystem services. *Progress in Physical Geography* 35:613–628. <https://doi.org/10.1177/0309133311421708>

González-Varo JP, Arroyo J, Aparicio A (2009) Effects of fragmentation on pollinator assemblage, pollen limitation and seed production of Mediterranean myrtle (*Myrtus communis*). *Biological Conservation* 142:1058–1065. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.017>

Goulson D, Nicholls E, Botías C, Rotheray EL (2015) Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 347(6229):1255957. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>

Harris LD (1984) The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity. The University of Chicago Press, Chicago.

Holzschuh A, Steffan-Dewenter I, Tschardt T (2010) How do landscape composition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? *Journal of Animal Ecology* 79:491–500. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01642.x>

Hrassnigg N, Crailsheim K (2005) Differences in drone and worker physiology in honeybees (*Apis mellifera*). *Apidologie* 36:255–277. <https://doi.org/10.1051/apido:2005015>

Hudewenz A, Pufal G, Bögeholz AL, Klein AM (2013) Cross-pollination benefits differ among oilseed rape varieties. *Journal of Agricultural Sciences* 152:770–778. <https://doi.org/10.1017/S0021859613000440>

Karp DS, Rominger AJ, Zook J, Ranganathan J, Ehrlich PR, Daily GC (2012) Intensive agriculture erodes β -diversity at large scales. *Ecology Letters* 15:963–970. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01815.x>

Kennedy CM, Lonsdorf E, Neel MC et al. (2013) A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters* 16(5):584–599. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>

Kerr JT, Pindar A, Galpern P, Packer L, Potts SG, Roberts SM, Rasmont P, Schweiger O, Colla SR, Richardson LL, Wagner DL, Gall LF, Sikes DS, Pantoja A (2015) Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science* 349:177–180. <https://doi.org/10.1126/science.aaa7031>

Klatt BK, Holzschuh A, Westphal C, Clough Y, Smit I, Pawelzik E, Tschardt T (2014) Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281:20132440. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2440>

Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tschardt T (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B* 274:303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>.

Kremen C, Williams NM, Aizen MA, Gemmill-Herren B, Lebuhn G, Minckley R, Packer L, Potts SG, Rouston T, Steffan-Dewenter I, Vázquez DP, Winfree R, Adams L, Crone EE, Greenleaf SS, Keitt TH, Klein AM, Regetz J, Ricketts TH (2007) Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: A conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters* 10:299–314. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>

Krewenka KM, Holzschuh A, Tschardt T, Dormann CF (2011) Landscape elements as potential barriers and corridors for bees, wasps and parasitoids. *Biological Conservation* 144(6):1816–1825. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.03.014>

Kulhanek K, Steinhauer N, Rennich K, Caron DM, Sagili RR, Pettis JS, Ellis JD, Wilson ME, Wilkes JT, Tarpy DR, Rose R, Lee K, Rangel J, vanEngelsdorp, D (2017) A national survey of managed honey bee 2015–2016 annual colony losses in the USA. *Journal of Apicultural Research* 56:328–40. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1344496>

Lautenbach S, Seppelt R, Liebscher J, Dormann CF (2012) Spatial and temporal trends of global pollination benefit. *PLoS ONE* 7:e35954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035954>.

Lentini PE, Martin TG, Gibbons P, Fischer J, Cunningham SA (2012) Supporting wild pollinators in a temperate agricultural landscape: Maintaining mosaics of natural features and production. *Biological Conservation* 149(1):84–92. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.02.004>

Lima EG, Camargo SC, Santos PR, Oliveira JWS, Toledo VAA (2016) Regulation of pollen foraging activity in *Apis mellifera* Africanized honeybee colonies. *Agricultural Sciences* 7:335–340. <https://doi.org/10.4236/as.2016.76034>

Lindstrom SAM, Herbertsson L, Rundlof M, Smith HG, Bommarco R (2015) Large-scale pollination experiment demonstrates the importance of insect pollination in winter oilseed rape. *Oecologia* 180(3):759–769. <https://doi.org/10.1007/s00442-015-3517-x>

Ma H, Sun R, Wu J, Zhang Y (2018) Effect of controlled release urea and Zn/Mn urea on wheat yield and fertilizer utilization rate. *Chinese Agricultural Science Bulletin* 34:8–13.

McGregor SE (1976) *Insect pollination of cultivated crop plants*. USDA, Washington.

Melathapoulos AP, Cutler GC, Tyedmers P (2015) Where is the value in valuing pollination ecosystems services to agriculture? *Ecological Economics* 109:59–70. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.11.007>

Melathopoulos AP, Tyedmers P, Cutler G (2014) Contextualising pollination benefits: effect of insecticide and fungicide use on fruit set and weight from bee pollination in lowbush blueberry. *Annals of Applied Biology* 165:387–394. <https://doi.org/10.1111/aab.12143>

Michener CD (2007) *The bees of the world*. John Hopkins University Press, Baltimore.

Milfont MDO, Rocha EEM, Lima AON, Freitas BM (2013) Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopollination. *Environmental Chemistry Letters* 11:335–341. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0412-8>

Monasterolo M, Musicante ML, Valladares GR, Salvo A (2015) Soybean crops may benefit from forest pollinators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202:217–222. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.012>

Motzke I, Tschardt T, Wanger TC, Klein AM (2015) Pollination mitigates cucumber yield gaps more than pesticide and fertilizer use in tropical smallholder gardens. *Journal of Applied Ecology* 52:261–269. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12357>

Munyuli T (2011) Farmers' perceptions of pollinators' importance in coffee production in Uganda. *Agricultural Sciences* 2(3):318–333. <https://doi.org/10.4236/as.2011.23043>

Nasr ME, Thorp RW, Tyler TL, Briggs DL (1990) Estimating honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony strength by a simple method: measuring cluster size. *Entomological Society of America* 83(3):748–754. <https://doi.org/10.1093/jee/83.3.748>

Nicholson CC, Ricketts TH (2019) Wild pollinators improve production, uniformity, and timing of blueberry crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 272:29–37. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.10.018>

Oliveira JEM, Nicodemo D, Oliveira FF (2015) Contribuição da polinização entomófila para a produção de frutos de aceroleira. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 45(1):56–65. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4529199>

Ollerton J, Winfree R, Tarrant S (2011) How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120:321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>

Palmer M, Perez PT, Ortiz-Perez E, Maalouf F, Suso MJ (2009) The role of crop-pollinator relationships in breeding for pollinator-friendly legumes: from a breeding perspective. *Euphytica* 170:35-52. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9953-0>

Patrício-Roberto GB, Campos MJO (2014) Aspects of landscape and pollinators – what is important to bee conservation? *Diversity* 6:158-175. <https://doi.org/10.3390/d6010158>.

Perrot T, Gaba S, Roncoroni M, Gautier JL, Saintilan A, Bretagnolle V (2019) Experimental quantification of insect pollination on sunflower yield, reconciling plant and field scale estimates. *Basic and Applied Ecology* 34:75-84. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.09.005>

Piper CV, Morse WJ (1910) The soybean: history, varieties, and field studies. USDA Plant Industry Bulletin, Urbana 197:1-84.

Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE (2010) Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution* 25:345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>

Portman ME (2013) Ecosystem services in practice, challenges to real world implementation of ecosystem services across multiple landscapes - a critical review. *Applied Geography* 45:185–192. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.09.011>

Ramírez F, Davenport TL (2013) Apple pollination: a review. *Scientia Horticulturae* 162:188-203. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.007>

Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE (2014) *Biologia vegetal*. 8th edn. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

Ray JD, Kilen TC, Abel CA, Paris RL (2003) Soybean natural cross-pollination rates under field conditions. *Environmental Biosafety Research* 2(2):133-138. <https://doi.org/10.1051/ebr:2003005>

Rech AR, Agostini K, Oliveira PE, Machado IC (2014) *Biologia da polinização*. Projeto Cultural, Rio de Janeiro.

Sagoff M (2011) The quantification and valuation of ecosystem services. *Ecological Economics* 70:497–502. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.10.00>

Santos E, Mendoza Y, Carrasco-Letelier L, Sebastián D, Invernizzi C (2013) Aumento em la producción de semillas de soja (*Glycine max*) empleando abejas melíferas (*Apis mellifera*). *Agrociencia Uruguay* 17(1):81-90.

Santos GXL; Bárbaro-Torneli I; Martins MH, Cordeiro PS, Polli KC, Correia A, Finoto EL, Barros VLNP, Gallo PB, Soares MBB, Dona S, Nakayama FT, Sá LAD, Leão PCL (2019) Avaliação regional de cultivares de soja no Estado de São Paulo - Safra 2018/19. *Nucleus* 3. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.3629>

Sapir G, Goldway M, Stern RA (2019) Supplementing bumblebees to ‘Mauritius’ lychee improves yield. *Scientia Horticulturae* 251:162-166. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.015>

Smart M, Pettis J, Rice N, Browning Z and Spivak M (2016) Linking measures of colony and individual honey bee health to survival among apiaries exposed to varying agricultural land use. *PLoS ONE* 11:e0152685. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152685>

Sousa RM, Aguiar OS, Andrade ABA, Medeiros AC, Maracajá PB (2013) Africanized honey bees (*Apis mellifera* L.) density for pollination in culture of the melon (*Cucumis melo* L.) in the state of Ceará – Brazil. *Acta Apicola Brasilica* 1(1):9-12. <http://dx.doi.org/10.18378/aab.v1i1.3586>

Toledo VAA, Ruvolo-Takasusuki MCC, Baitala TV, Costa-Maia FM, Pereira HL, Halak AL, Chambó ED, Marlebo-Souza DT (2013) Polinização por abelhas (*Apis mellifera* L.) em laranjeira (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Scientia Agraria Paranaensis* 12(4):236-246.

Toledo VAA, Chambó ED, Halak AL, Faquinello P, Parpinelli RS, Ostrowski KR, Casagrande APB, Ruvolo-Takasusuki MCC (2011) Biologia floral e polinização em girassol (*Helianthus annuus* L.) por abelhas africanizadas. *Scientia Agraria Paranaensis* 1:5-17.

UNEP (2011) United Nations Environment Programme. Food and ecological security, identifying synergy and tradeoffs. UNEP, Nairobi.

van Engelsdorp D, Evans JD, Saegerman C, Mullin C, Haubruge E, Nguyen BK, Frazier M, Frazier J, Cox-Foster D, Chen Y, Underwood R, Tarpay DR, Pettis JS (2009) Colony collapse disorder: a descriptive study. *PLoS ONE* 4:e6481. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006481>

van Shaik PH, Probst AH (1958) Effects of some environmental factors on flower production and reproductive efficiency in soybeans. *Agronomic Journal* 50:192-197.

Vidal MG, De Jong D, Wien HC, Morse RA (2010) Pollination and fruit set in pumpkin (*Cucurbita pepo*) by honey bees. *Revista Brasileira de Botânica* 33(1):107-113. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042010000100010>

Waser NM, Ollerton J (2006) Plant-pollinator interactions: from specialization to generalization. University of Chicago Press: Chicago.

Wiebold WJ (2012) Arrested development in the soybean field. <https://ipm.missouri.edu/ipcm/2012/10/Arrested-Development-in-the-Soybean-Field/>. Accessed 12 November 2019.

Winfree R, Gross BJ, Kremen C (2011) Valuing pollination services to agriculture. *Ecological Economics* 71:80-88. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.001>

Winfree R (2010) The conservation and restoration of wild bees. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1195(1):169–197. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05449.x>

Woodhouse EJ, Taylor CS (1913) The varieties of soybeans found in Bengal, Bihar and Orissa and their commercial possibilities. *Memoirs of the Department of Agriculture in India, Bot Ser Calcutta* 5:103-175.

Wratten SD, Gillespie M, Decourtye A, Mader E, Desneux N (2012) Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 159:112–122. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.020>

Zelaya PV, Chacoff NP, Aragón R, Blendinger PG (2017) Soybean biotic pollination and its relationship to linear forest fragments of subtropical dry Chaco. *Basic and Applied Ecology* 32:86-95. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.07.004>

Zurbuchen A, Landert L, Klaiber J, Müller A, Hein S, Dorn S (2010) Maximum foraging ranges in solitary bees: Only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation* 143(3):669–676. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.003>

OBJETIVOS GERAIS

- » Estudar o comportamento de abelhas africanizadas nas flores de soja, em cultivares convencionais e transgênicas

- » Avaliar a biologia floral das cultivares BRS 284 e BRS 1001 IPRO, com e sem a presença de abelhas realizando a polinização

- » Estimar o efeito do serviço de polinização nos componentes de produção dessas cultivares

- » Observar o desenvolvimento populacional das colônias de abelhas africanizadas durante o período de polinização da cultura

Artigo I- **Abelhas africanizadas e sua contribuição para a produtividade de soja no Brasil**

Resumo

As áreas cultivadas de soja no Brasil têm aumentado a cada colheita e o mercado de sementes caminha na mesma direção, lançando novas cultivares a cada ano. Para aumentar não apenas a área plantada, mas também a produtividade, é necessário usar tecnologias e sistemas de integração. Neste estudo, avaliou-se o efeito da polinização por abelhas em duas cultivares de soja (*Glycine max*) durante dois anos consecutivos, sendo uma cultivar convencional (BRS 284) e outra transgênica (BRS 1001 IPRO). Três tratamentos foram estabelecidos: gaiolas com abelhas *Apis mellifera*, gaiolas sem abelhas e áreas livres para visitação de insetos. Os resultados mostraram aumento de 6,26% na produtividade de soja em áreas com livre acesso à visitação de insetos, e nas gaiolas com a introdução de colônias de abelhas africanizadas o aumento foi de 13,77%. Esses resultados indicam que, mesmo nas cultivares lançadas mais recentemente, a polinização cruzada pode promover aumento de produtividade, embora seja uma espécie vegetal autógama.

Palavras-chave: *Glycine max*, polinização biótica, polinização de culturas, serviço de polinização, soja transgênica.

Abstract

Soybean cultivated areas in Brazil have increased with each harvest and the seed market is moving in the same direction, launching new cultivars every year. To increase not only the planted area, but also the productivity, it is necessary to use integration technologies and systems. In this study, the effect of honeybee pollination on two *Glycine max* soybean cultivars for two consecutive years was evaluated, one conventional cultivar (BRS 284) and another transgenic (BRS 1001 IPRO). Three treatments were established: cages with *Apis mellifera* honeybees, cages without bees and free areas for visiting insects. The results showed an increase of 6.26% in soybean productivity in areas with free access to insect visits, and for cages with the introduction of Africanized honeybee colonies the increase was 13.77%. These results indicate that, even in the most recently launched

cultivars, cross-pollination can promote increased productivity, although it is an autogamous plant species.

Keywords: Biotic pollination, crop pollination, *Glycine max*, pollination service, transgenic soybean,

Introdução

Atualmente, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) constitui a principal *commodity* agrícola do mundo, contribuindo principalmente para a produção de óleo e para a alimentação animal (Agarwal et al. 2013). No Brasil, o cultivo de soja aumentou de 640 hectares na década de 1940 para mais de 35 milhões de hectares em 2018 (Gazzoni e Dall'agnol 2018).

O crescimento da área destinada à cultura foi acompanhado pela supressão da vegetação natural. Esse desmatamento muitas vezes prejudica a própria agricultura, uma vez que florestas e áreas naturais abrigam grande variedade de polinizadores (Blitzer et al. 2012). O serviço de polinização é essencial para a manutenção dos ecossistemas, já que 90% das plantas com flores do mundo dependem da polinização para se reproduzir (Ollerton et al. 2011).

Embora algumas espécies de plantas sejam autopolinizadas, como a soja, suas flores mantiveram, ao longo da evolução, estruturas anatômicas e recursos florais compatíveis com estruturas desenvolvidas por plantas dependentes da polinização por insetos. As estruturas mais comuns para atrair os polinizadores de insetos são os guias de néctar e os nectários florais (Palmer et al. 2009).

Como existem centenas de cultivares de soja e nem todas são atraentes para as abelhas, de acordo com Alves et al. (2010), é necessário estudar a associação das principais cultivares plantadas com o comportamento da abelha, já que estas são insetos mais eficientes na polinização da soja (Chiari et al. 2008).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi estimar a contribuição do serviço de polinização das abelhas africanizadas para produtividade da soja, avaliando o efeito da presença de colônias de abelhas *A. mellifera* africanizadas sobre a produção de sementes em cultivares transgênicas e convencionais.

Material e métodos

Esta pesquisa foi conduzida na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizada na cidade de Londrina (23°08'47"S e 51°19'11"W), localizada na região norte do Estado do Paraná, Brasil.

O estudo foi conduzido em dois anos consecutivos, sendo que, no primeiro ano o plantio da soja foi realizado no dia 01 de outubro e a colheita ocorreu 140 dias após o plantio. No segundo ano, o plantio foi realizado no dia 06 de outubro e a colheita ocorreu 132 dias após o plantio. A cultura agrícola foi monitorada durante todo o florescimento.

As áreas escolhidas para estudo foram demarcadas aleatoriamente no campo de soja e as gaiolas foram colocadas imediatamente antes do início da florada e desmontadas ao fim do pico de floração de cada ano. As gaiolas de polinização foram construídas com tela de nylon de 2 x 2 mm, suportadas por tubos de PVC de ¼ de polegada contendo barras de ferros em seu interior, formando gaiolas de quatro metros de largura, seis metros de comprimento e dois metros de altura na parte mais alta, em uma área de 24 m² (Chiari et al. 2005).

Um delineamento inteiramente casualizado foi utilizado com três tratamentos e quatro repetições cada. Os tratamentos foram: área de soja contendo uma colônia de abelhas africanizadas *A. mellifera* durante a floração; área coberta sem abelhas; e uma área livre para a visita de insetos. Todos os tratamentos foram avaliados com as cultivares BRS 284 (soja convencional) e BRS 1001 IPRO (soja transgênica).

A produtividade de soja para os três tratamentos foi obtida a partir da colheita da área central de cada parcela (12 m²) para evitar qualquer efeito de borda. Amostras de quatro metros lineares foram coletadas aleatoriamente em cada parcela para contagem do número de vagens por planta, número de vagens contendo uma, duas, três, quatro ou cinco sementes e número total de sementes por planta. Em seguida, as sementes foram adicionadas à parcela remanescente coletada e a produtividade de cada parcela foi determinada. A avaliação do peso médio das sementes foi realizada por meio da pesagem de 1000 sementes, em balança analítica de precisão.

Os dados foram analisados estatisticamente por fatorial duplo em delineamento em blocos casualizados. Os componentes de produtividade da soja foram analisados pela análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software R (R Development Core Team 2019).

Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta a produtividade da soja na área experimental (kg/ha) nos diferentes tratamentos. Houve diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, não houve diferença ($p > 0,05$) entre as cultivares convencional e transgênica. Áreas com colônias de abelhas africanizadas apresentaram maior produtividade ($p < 0,05$) do que as áreas cobertas sem colônia de abelhas e área livre para visitação de insetos. A soja cultivada nas áreas livres para visitação de insetos apresentou maior produtividade ($p < 0,05$) quando comparada às áreas cobertas sem abelhas.

Tabela 1. Média de produção de sementes (kg/ha) de soja (*Glycine max*) com seus respectivos desvios-padrão, cv. BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina - PR

Tratamento	Produtividade (kg/ha)
BRS 284	4.631,80 ($\pm 557,74$) a
BRS 1001 IPRO	4.541,02 ($\pm 503,42$) a
�rea coberta com uma colônia de abelhas africanizadas	4.891,22 ($\pm 394,34$) a
�rea livre para visitação	4.568,77 ($\pm 538,84$) b
�rea coberta sem abelhas	4.299,24 ($\pm 481,04$) c

* Média seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem estatisticamente com $p < 0,05$.

Ambas cultivares apresentaram alta porcentagem de autopolinização, produzindo 4.299,24 kg/ha nas áreas cobertas sem abelhas. Esse valor   27,1% maior que a média nacional de 3.382,77 kg/ha (CONAB, 2018). No entanto, a polinização cruzada promovida por insetos polinizadores resultou em aumento significativo na produtividade. Em áreas abertas para livre visitação de insetos, a produção foi 6,26% maior que nas áreas cobertas sem abelhas, e nas áreas cobertas com colônia de abelhas, o aumento de produção de sementes foi 13,77% maior quando comparado ao tratamento sem a presenç a de insetos polinizadores, indicando a eficiência de uma maior densidade de abelhas por metro quadrado e de seu serviç o de polinização.

Bettler et al. (2018) observaram que, quando as condições climáticas são favoráveis, a visitação de abelhas *A. mellifera* na área de soja aumenta o número de

sementes por área. Resultado semelhante foi encontrado por Chiari et al. (2008), em que a presença de abelhas aumentou o rendimento das sementes de soja em mais de 37%. O aumento na produção de sementes provavelmente ocorreu devido à melhor distribuição dos grãos de pólen nos órgãos femininos da flor, devido ao movimento da abelha ao entrar em contato com essas estruturas no momento de coletar o néctar (Milfont et al. 2013). A maior produtividade nas áreas cobertas e com colônias de abelhas africanizadas no seu interior foi maior do que nas áreas livres para visitação, provavelmente por haver maior competição de abelhas pelas flores, uma vez que elas foram alojadas em uma área menor.

Em rela o ao número de vagens por planta, a Tabela 2 indica que, na presença de insetos polinizadores, as plantas de soja apresentaram maior número total de vagens, bem como número de vagens com três e quatro sementes ($p < 0,05$), o que também contribuiu para o aumento da produtividade nestas áreas, quando comparadas às áreas cobertas sem abelhas. Esse resultado pode ser considerado uma medida indireta da taxa de aborto de flores, uma vez que quando houve poliniza o cruzada mediada pelos insetos polinizadores, as plantas foram capazes de reter maior quantidade de vagens e com maior número de sementes em seu interior.

Tabela 2. Média do número total de vagens e vagens com 1, 2, 3 ou 4 sementes em soja (*Glycine max*) cv. BRS 284 e BRS 1001 IPRO, sob três tratamentos de poliniza o, na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina - PR

Tratamento	Total de vagens	Vagem com 1 semente	Vagem com 2 sementes	Vagem com 3 sementes	Vagem com 4 sementes
�rea coberta com colônia de abelhas	74,28±3,14a	14,14±0,85a	22,39±2,74a	34,51±1,23a	2,25±0,47a
�rea livre para visita�o	59,88±5,91b	10,3±1,12b	19,79±2,04a	28,66±1,79b	1,13±0,51b
�rea coberta sem abelhas	53,14±3,55b	8,1±0,94b	18,81±1,83a	26,18±1,88b	0,95±0,39b

* Média seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Embora a autopoliniza o seja um mecanismo reprodutivo benéfico para a soja, pode haver falhas na distribui o de gr os de pólen viáveis no órgão feminino das flores e, assim, o conjunto de três ou quatro sementes por vagem ocorre em menor quantidade (Milfont et al. 2013), ou até aumenta o número de flores abortadas pela planta.

Monasterolo et al. (2015) observaram que as abelhas da família Halictidae, após *A. mellifera*, foram as mais frequentes em visitas a flores de soja. Resultado semelhante foi encontrado por Santos et al. (2013), as abelhas da família Apidae, Halictidae e Megachilidae foram os mais frequentes visitantes florais da soja no Uruguai. Daí a importância de manter a vegetação nativa próxima às áreas de cultivo agrícola, uma vez que muitas culturas cultivadas podem se beneficiar da interação com os polinizadores. Zelaya et al. (2017) verificaram um aumento de 37% na produção de sementes nas áreas de cultivo localizadas mais próximas de floresta.

A maior produtividade de sementes observada neste estudo não está relacionada com o peso da semente (Tabela 3). Não houve diferença estatística entre as cultivares e nem entre os tratamentos ($p > 0,05$). A variação no peso de sementes de soja devido à polinização por insetos é menos frequente do que o rendimento de sementes por unidade de área (Bettler et al. 2018).

Tabela 3. Média de peso de 1000 sementes e seus respectivos desvios-padrão, cv. BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina – PR

Tratamento	Peso de 1000 sementes (g)
BRS 284	148,35 ($\pm 0,74$) a
BRS 1001 IPRO	143,90 ($\pm 0,42$) a
Área coberta com colônia de abelhas	142,72 ($\pm 0,34$) a
Área livre para visitação	145,56 ($\pm 0,66$) a
Área coberta sem abelhas	150,11 ($\pm 0,92$) a

* Média seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente $p < 0,05$.

Possivelmente, a soja apenas formou as vagens capazes de serem nutridas até a completa formação das sementes, uma vez que não houve diferença estatística no peso das sementes entre os tratamentos. O menor número de vagens com três e quatro sementes por vagem formadas no tratamento sem abelhas pode ter ocorrido devido à incapacidade da soja, nessa condição, de nutrir todas as sementes que seriam formadas nas vagens maiores. A polinização cruzada aumentou o número de vagens com três e quatro sementes, que mesmo assim tiveram peso equivalente ao peso das sementes geradas nas vagens com uma e duas sementes.

Conclusão

Os resultados indicam que, embora seja uma espécie capaz de realizar a autopolinização de forma eficiente, há inúmeros benefícios para a soja cv. BRS 284 e BRS 1001 IPRO quando a polinização cruzada é realizada por abelhas nativas e outros insetos e, principalmente, na presença de abelhas africanizadas. Apesar das abelhas nativas promoverem maior produção de sementes do que nas áreas sem agentes polinizadores, o serviço de polinização das abelhas *A. mellifera* apresenta a maior produtividade, assim como um maior número de plantas com vagens contendo três e quatro sementes por vagem.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante todo período de estudo. À Embrapa Soja pelo auxílio financeiro concedido para execução deste projeto.

Referências

- Agarwal DK, Billore SD, Sharma NA, Dupare BU, Srivastava SK (2013) Soybean introduction, improvement, and utilization in India-problems and prospects. *Agricultural Research* 2:293-300. [https://doi.org/ 10.1007/s40003-013-0088-0](https://doi.org/10.1007/s40003-013-0088-0)
- Alves EM, Toledo VAA, Oliveira AJ, Sereia MJ, Neves CA, Ruvolo-Takasusuki MCC (2010) Influência das abelhas africanizadas na concentração de açúcares no néctar de soja (*Glycine max* L. Merrill) var. Codetec 207. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 32(2):189-195. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i2.7930>
- Bettler DC, Fagundéz GA, Cavigilia OP (2018) Contribution of honeybees to soybean yield. *Apidologie* 49(1):101-111. [https://doi.org/ 10.1007/s13592-017-0532-4](https://doi.org/10.1007/s13592-017-0532-4)
- Blitzer EJ, Carsten FD, Holzschuh A, Klein AM, Rand TA (2012) Spillover of functionally important organisms between managed and natural habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 146:34-43. [https://doi.org/ 10.1016/j.agee.2011.09.005](https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.09.005)

Chiari WC, Toledo VAA, Hoffmann-Campo CB, Ruvolo-Takasusuki MCC, Toledo TCSOA, Lopes TS (2008) Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [*Glycine max* (L.) Merrill] Roundup ReadyTM cv. BRS 245 RR e convencional cv. BRS 133. *Acta Scientiarum. Agronomy* 30(2):267-271. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i2.178>

CONAB (2018) Acompanhamento da safra brasileira de grãos. 5(10).

Gazzoni DL, Dall'agnol A (2018) A saga da soja. De 1050 a.C. a 2050 d.C. Brasília, Embrapa.

Milfont MO, Rocha EEM, Lima AON, Freitas BM (2013) Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopollination. *Environmental Chemistry Letters* 11:335-341. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0412-8>

Monasterolo M, Musicante ML, Valladares GR, Salvo A (2015) Soybean crops may benefit from forest pollinators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202:217-222. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.012>

Ollerton J, Winfree R, Tarrant S (2011) How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120:321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>

Palmer M, Perez PT, Ortiz-Perez E, Maalouf F, Suso MJ (2009) The role of crop-pollinator relationships in breeding for pollinator-friendly legumes: from a breeding perspective. *Euphytica* 170:35-52. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9953-0>

R Core Team (2019) R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Zelaya PV, Chacoff NP, Aragón R, Blendinger PG (2018) Soybean biotic pollination and its relationship to linear forest fragments of subtropical dry Chaco. *Basic and Applied Ecology* 32:86-95. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.07.004>

Artigo II – **Influência das abelhas africanizadas (*Apis mellifera*) na biologia floral da soja (*Glycine max*)**

Resumo

Existem referências muito discrepantes em relação à contribuição de polinizadores, em especial da *Apis mellifera*, para a produtividade da soja, variando desde a ausência de contribuição até aumentos superiores a 30% na produtividade. Mesmo não sendo uma espécie dependente de polinizadores para completar o ciclo, a soja (*Glycine max*) constitui fonte de néctar e pólen para os visitantes florais. Portanto, entende-se como fundamental estudar a relação entre a presença de polinizadores e a biologia floral da soja. Assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar se o forrageamento das abelhas africanizadas na cultura da soja promove alterações na biologia floral dessa espécie de angiosperma. Foram estabelecidos três tratamentos: área coberta por gaiola contendo uma colônia de abelhas africanizadas *Apis mellifera*; área coberta por gaiola sem abelhas e área descoberta para livre visitação de insetos. No tratamento com a presença de abelhas, o período de antese foi de 53,85 horas, enquanto na área livre para visitas e nas gaiolas sem a presença de abelhas, foi 63,10 e 63,60 horas, respectivamente. A taxa de aborto de flores nas plantas foi menor nas áreas com a presença de abelhas. A receptividade do estigma e viabilidade polínica não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos e nem entre as cultivares. O volume de néctar na flor foi maior na parte da manhã até as 13h.

Palavras-chave: Polinização biótica, polinização de culturas, serviço de polinização, soja transgênica.

Abstract

There are very discrepant references about pollinators contribution, especially *Apis mellifera*, to soybean yield, ranging from no contribution to over 30% increases in yield. Although it is not a specie dependent on pollinators to complete the reproductive cycle, soybean (*Glycine max*) is a source of nectar and pollen. Therefore, it is essential to study the relationship between the pollinators presence and floral biology of this species of angiosperm. Based on this, the present study aimed to evaluate if the foraging of

Africanized honeybees in soybean crop promotes changes in floral biology. Three treatments were established: cages with Africanized honeybees; cages without bees and free area for insect visitation. In the treatment with honeybees presence the anthesis period was 53.85 hours, while in the open field and in the cages without bee presence was 63.10 and 63.60 hours, respectively. The flower abortion rate on plants was lower in areas with bee presence. The stigma receptivity and pollen viability did not present statistical differences between treatments nor between cultivars. The volume of nectar in the flower was higher in the morning time until 13h.

Keywords: Biotic pollination, crop pollination, pollination service, transgenic soybean.

Introdução

Diversas plantas produtoras de alimento de alto valor nutricional, utilizadas na agricultura, dependem em certo grau da polinização entomófila para conseguir produzir seus frutos ou sementes (Ellis et al. 2015). Até mesmo as espécies vegetais que realizam a autopolinização, como a soja (*Glycine max*), podem se beneficiar da polinização cruzada (Smýkal et al. 2018) realizada por insetos, principalmente as abelhas.

A evolução de milhares de anos foi um processo que beneficiou tanto os polinizadores quanto as plantas (Del-Claro e Torezan-Silingrado 2012). No entanto, as ações antrópicas para intensificação da agricultura podem acarretar consequências prejudiciais à interação planta-polinizador, tais como redução da atratividade devido à redução do tamanho da flor ou da quantidade de néctar e pólen produzidos (Meyer e Purugganan 2013) ou ainda redução da diversidade de abelhas devido à perda dos habitats naturais (Potts et al. 2010), como ocorre nas área de monocultura.

A atratividade de polinizadores na soja varia de acordo com uma série de fatores, incluindo os níveis de nitrogênio e potássio no solo (Abrol e Shankar 2012), assim como as características intrínsecas das diferentes cultivares (Palmer et al. 2009), entre outros fatores. Erickson (1975) observou que as cultivares de soja que possuem os alelos E₃ são as mais atrativas para abelhas.

As flores de soja apresentam guias de néctar bem definidos e facilmente visíveis a olho nu nas cultivares que apresentam flores de coloração roxa (Erickson e Garment 1979), sendo que cada flor é capaz de produzir uma vagem (McGregor 1976). Para que haja formação da vagem, os grãos de pólen das anteras necessitam chegar até o estigma,

sendo que a polinização entomófila facilita esse processo. A fecundação ocorre somente se o estigma estiver receptivo, permitindo a germinação dos grãos de pólen e posterior desenvolvimento do tubo polínico (Raven et al. 2014).

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência na biologia floral da soja, nas cultivares BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica) em áreas com e sem a presença de insetos polinizadores, em diferentes horários do dia durante o período de floração.

Material e métodos

Esta pesquisa foi conduzida na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizada na cidade de Londrina (23°08'47"S e 51°19'11"W), localizada na região norte do Estado do Paraná, Brasil.

O estudo foi conduzido em dois anos consecutivos, sendo que, no primeiro ano o plantio da soja foi realizado no dia 01 de outubro e a colheita ocorreu 140 dias após o plantio. No segundo ano, o plantio foi realizado no dia 06 de outubro e a colheita ocorreu 132 dias após o plantio. A cultura agrícola foi monitorada durante todo o florescimento.

As áreas escolhidas para estudo foram demarcadas aleatoriamente no campo de soja e as gaiolas foram colocadas imediatamente antes do início da florada e desmontadas ao fim do pico de floração de cada ano. As gaiolas de polinização foram construídas com tela de nylon de 2 x 2 mm, suportadas por tubos de PVC de ¼ de polegada contendo barras de ferro em seu interior, formando gaiolas de quatro metros de largura, seis metros de comprimento e dois metros de altura na parte mais alta, em uma área de 24 m² (Chiari et al. 2005).

Um delineamento inteiramente casualizado foi utilizado com três tratamentos e quatro repetições cada. Três tratamentos foram avaliados: área de soja coberta com colônia de abelhas africanizadas durante a floração; área coberta sem abelhas; e uma área livre para a visita de insetos. Todos os tratamentos foram avaliados com as cultivares BRS 284 (soja convencional) e BRS 1001 IPRO (soja transgênica).

Em todas as parcelas dos tratamentos, 20 botões florais foram marcados aleatoriamente com etiquetas numeradas. Esses botões florais foram acompanhados por meio de observações periódicas, desde sua abertura até o murchamento da flor, período conhecido como antese.

A receptividade do estigma aos grãos de pólen foi avaliada em cinco flores coletadas a cada duas horas (das 8h00 às 16h00), em cinco dias durante a florada, nos três tratamentos. As flores foram mergulhadas em peróxido de hidrogênio (H_2O_2), após a retirada dos estiletos, e observou-se a quantidade de bolhas de ar desprendida do estigma, de acordo com Dafni (1992). A receptividade do estigma foi avaliada em escores que variaram de zero para não receptiva, um para receptividade moderada e dois para alta receptividade.

Para verificação da viabilidade dos grãos de pólen no período da florada, foram coletadas cinco flores de cada tratamento, a cada duas horas (das 8h00 às 16h00), em três dias. Foram analisados 300 grãos de pólen em cada lâmina, corados com carmin propiônico e observados em microscópio eletrônico.

A porcentagem de aborto nas flores de soja foi medida por meio da contagem de todos os botões florais, de cinco plantas marcadas com fitas de diferentes cores, em cada parcela dos três tratamentos. Na época da colheita, as vagens de cada planta foram contadas, calculando-se, assim, a porcentagem de flores abortadas.

O volume de néctar secretado por flor foi obtido utilizando-se um microcapilar Drummond de 0,5 μ L, colocado diretamente no nectário floral das flores de soja, durante três dias em cada tratamento, com avaliações a cada duas horas (das 8h00 às 16h00).

Os dados foram analisados estatisticamente, utilizando-se um fatorial duplo em delineamento em blocos casualizados. Após a análise de variância, as médias foram comparadas, utilizando-se o teste de Tukey a 5% de significância. O estudo da relação entre as variáveis foi realizado por meio de correlação parcial e regressão múltipla, utilizando o software R (R Development Core Team 2019). Os dados que não apresentaram distribuição normal foram analisados por meio da metodologia de modelos lineares generalizados.

Para a receptividade do estigma, foi feita uma análise de frequência utilizando o procedimento Proc npar1way wilcoxon e para a viabilidade do pólen o teste de Kruskal-Wallis. Os dados que não apresentaram distribuição normal foram analisados por meio do método de modelos lineares generalizados, admitindo-se distribuição de Poisson com função de ligação logarítmica. Para análise da variável tipo de coleta, o modelo considera o efeito de tratamento como uma variável fixa, aleatório para os efeitos da interação tratamento *versus* dia e os efeitos linear, quadrático e cúbico da hora de coleta.

Resultados e discussão

Houve diferença estatística ($p < 0,05$) para o período de antese entre os tratamentos (Tabela 1). As áreas com gaiolas de polinização com a presença de abelhas *A. mellifera* apresentaram menor período de antese, em horas, em ambas cultivares analisadas. Enquanto nas áreas cobertas sem a presença de insetos polinizadores o período de antese foi maior. Na cultivar transgênica BRS 1001 IPRO, as áreas cobertas contendo uma colônia de abelhas africanizadas e as áreas cobertas sem abelhas apresentaram período de antese maior do que na cultivar convencional BRS 284, embora na área coberta contendo uma colônia de abelhas africanizadas a diferença não foi significativa.

Tabela 1. Média do período de antese (horas) das flores de soja (*Glycine max*) em diferentes cultivares para os tratamentos: área livre para visitação dos insetos, área coberta sem abelhas e área coberta com abelhas, na área de experimenta o da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR

Cultivar	�rea livre para visita�o	área coberta sem abelhas	área coberta com abelhas
BRS 284	63,4 aA	60,9 aB	50,8 aC
BRS 1001 IPRO	62,8 aB	66,3 bA	56,9 bC

*Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

**Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O período de antese tem início na abertura do botão floral e termina com o murchamento da flor. É o momento em que as flores se abrem e se tornam atrativas aos agentes polinizadores (Moreira et al. 2019). Nas áreas com a presença de abelhas africanizadas polinizando a cultura, o período de antese foi aproximadamente 17% menor do que nas áreas sem a presença de insetos polinizadores, resultado semelhante ao obtido por Chiari et al. (2005) que observaram um período de antese 20,4% maior no tratamento sem a presença de abelhas, na cultivar BRS 133.

Quanto mais prolongado o período de antese, maior é a probabilidade de atrair polinizadores. Sletvold et al. (2012) verificaram que anteses superiores a 24 horas podem atrair polinizadores diurnos e noturnos. No entanto, o quanto antes ocorrer a poliniza o

e, conseqüentemente, o fechamento da flor, menor é o risco da planta abortar a flor ou ter a flor destruída por intempéries climáticas ou predadores, tais como a lagarta helicoverpa *Helicoverpa armigera*. Nas cultivares estudadas neste trabalho, a polinização cruzada realizada pelas abelhas fez com que às plantas de soja iniciassem a formação das vagens de forma mais precoce. Quanto maior a densidade de polinizadores mais rapidamente ocorre a polinização das flores e, conseqüentemente, diminui o período de antese.

A cultivar transgênica apresentou período de antese 10% maior do que a soja convencional nas áreas cobertas sem abelha e com abelhas, indicando que pode haver uma diferença natural nesse parâmetro entre as duas cultivares.

Para a receptividade do estigma não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos nem entre as cultivares. No entanto, houve diferença estatística ($p < 0,05$) em diferentes horários (Figura 1).

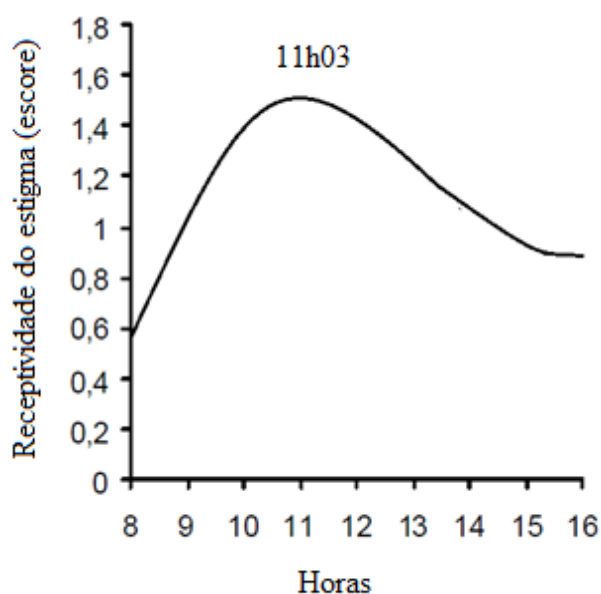


Figura 1. Curva de regressão obtida por meio da equação: $Y = \exp^{(0,27854 + 0,379 \times h - 0,1318 \times h^2)}$ da receptividade do estigma (score de 0 a 2) observada nas flores de soja *Glycine max*, cultivares BRS 284 e BRS 1001 IPRO, na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR.

Tanto a cultivar convencional quanto a transgênica demonstraram menor receptividade do estigma aos grãos de pólen nas primeiras horas do dia, aumentando até atingir seu ponto máximo às 11h03 da manhã. Para uma polinização eficiente o maior

fluxo de forrageamento das abelhas deve coincidir com o momento de maior receptividade do estigma e antes do início da geração dos óvulos (Free 1993). Arenas-de-Souza et al. (2016), trabalhando com uma espécie frutífera *Theobroma subincanum* da região amazônica, também observaram flutuações na receptividade do estigma durante o dia, sendo às 10h00 o período de maior receptividade. Em cerejeiras *Prunus avium*, um dos fatores que mais afetam a receptividade do estigma é a temperatura (Hedhly et al. 2003). Na soja, embora o estigma tenha apresentado receptividade aos grãos de pólen ao longo de todo período avaliado, seu pico de receptividade ocorreu nas horas mais quentes do dia, quando a temperatura estava próxima da temperatura ótima de 30°C para reprodução da soja de acordo com Schauburger et al. (2017). Na canola, quando a temperatura está acima de 27°C a maior parte dos grãos de pólen são liberados nas primeiras horas da antese (Chambó et al. 2018).

Apenas há formação das vagens nas plantas de soja quando os grãos de pólen viáveis são transferidos ao estigma receptivo. Nas cultivares estudadas, não houve diferença estatística ($p > 0,05$) para viabilidade do pólen coletado nas flores, bem como do pólen retirado das corbículas das abelhas forrageiras entre os tratamentos, cultivares e horários do dia. Os grãos de pólen apresentaram alta viabilidade em todas as horas do dia, com média de $99,93 \pm 0,11\%$ (Tabela 2). Os grãos de pólen são considerados viáveis quando apresentam a exina intacta e o citoplasma fica plenamente corado.

Tabela 2. Viabilidade polínica do pólen das flores e soja (*Glycine max*) nas cultivares BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), para os tratamentos: área coberta com abelhas, área livre para visitação e área coberta sem abelhas, na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina – PR

Tratamento	Viabilidade dos grãos de pólen (%)
�rea coberta contendo uma colônia de abelhas	$99,97 \pm 0,01$ a
�rea livre para visita�o	$99,91 \pm 0,02$ a
�rea coberta sem abelhas	$99,90 \pm 0,02$ a

* Média seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem com $p < 0,05$.

Pacini (1996) demonstrou que os carboidratos e os a uc res do meio citoplasmático do pólen auxiliam na manuten o da viabilidade polínica durante momentos de estresse. Possivelmente a viabilidade polínica se manteve elevada durante os dias de observa o,

pois a temperatura ambiente não ultrapassou 35°C, acima da temperatura ideal para os estágios reprodutivos da soja (Schauberger et al. 2017). Além disso, o estresse térmico diminui a taxa de fotossíntese, formação de vagens e viabilidade polínica em diversos cultivares (Djanaguiraman et al. 2018).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para porcentagem de aborto em flores entre os tratamentos (Tabela 3). As áreas com a presença de agentes polinizadores demonstraram menor taxa de aborto de flores quando comparada as áreas cobertas, que limitavam a visitação de insetos.

O sucesso reprodutivo da soja e, conseqüente formação das vagens, está inversamente relacionada ao percentual de aborto de flores. Em ambas as cultivares, na área coberta contendo uma colônia de abelhas as plantas abortaram aproximadamente 35% menos flores do que na área livre para visitação dos insetos e da área coberta sem abelhas.

Em soja, o aborto de flores ocorre naturalmente, mesmo quando essas estruturas não são afetadas por fatores estressantes, tais como: pragas, doenças ou condições ambientais. Possivelmente se trata de um mecanismo adaptativo no qual a planta produz mais flores do que consegue suportar para a formação de vagens. Carlson (1973) observou taxas de aborto superiores a 75% em algumas cultivares convencionais.

Tabela 3. Média da taxa de aborto (%) das flores de soja (*Glycine max*) em diferentes cultivares para os tratamentos: área livre para visitação dos insetos, área coberta sem abelhas e área coberta com abelhas, na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR

Cultivar	Área livre para visitação	Área coberta sem abelhas	Área coberta com abelhas
BRS 284	71,2 aA	69,0 aA	47,4 aB
BRS 1001 IPRO	69,5 aA	72,1 aA	43,1 aB

*Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

**Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Ray et al. (2003) observaram que a taxa de polinização cruzada na soja varia de 0,65 a 6,32%, dependendo da cultivar. Provavelmente durante o processo evolutivo, os

mecanismos de autoincompatibilidade genética se mantiveram nas populações para prevenir 100% de autofecundação, o que diminuiria a variabilidade genética, deixando a espécie mais susceptível. Quando as colônias de abelhas *A. mellifera* foram colocadas na cultura para realizar o serviço de polinização aumentaram a porcentagem de polinização cruzada, promovendo maior retenção de flores nas plantas e, conseqüentemente, diminuição da taxa de aborto. Chiari et al. (2013) relataram uma taxa de aborto de flores de soja 40,02% maior em áreas sem a presença de polinizadores. Possivelmente, a alta densidade de abelhas nos tratamentos contendo a colônia de abelhas *Apis mellifera* promoveu, por meio da polinização cruzada, uma melhor distribuição dos grãos de pólen no estigma das flores de soja e, conseqüentemente, houve uma redução no percentual de flores abortadas devido a autoincompatibilidade.

A quantidade de néctar produzido em cada flor apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 4). Nas áreas cobertas sem abelhas, o volume de néctar coletado por flor foi de 0,049 μL , enquanto nas áreas com a presença de abelhas o volume médio coletado foi de apenas 0,011 μL por flor.

Tabela 4. Volume de néctar coletado (em μL) nas flores de soja (*Glycine max*) em diferentes cultivares para os tratamentos: área livre para visitação dos insetos, área coberta sem abelhas e área coberta com abelhas, na área de experimenta o da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR

Cultivar	�rea coberta sem abelhas	área coberta com abelhas
BRS 284	0,049 \pm 0,017 aA	0,009 \pm 0,002 aB
BRS 1001 IPRO	0,053 \pm 0,028 aA	0,013 \pm 0,002 aB

*Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

**Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

No tratamento com a presença de abelhas, a quantidade de néctar coletado na flor foi inferior, provavelmente porque a coleta pelas abelhas foi superior. Mesmo que houvesse reposi o de néctar pela flor ao longo do dia, rapidamente o néctar seria coletado pelas abelhas forrageiras. Portanto, o volume de néctar encontrado nessas flores foi inferior aquele das áreas sem a presença de polinizadores. Nas áreas cobertas sem a presença de insetos polinizadores, como não houve coleta de néctar de flor, foi possível

observar o comportamento fisiológico de secreção e liberação de néctar nos diferentes horários do dia (Figura 2).

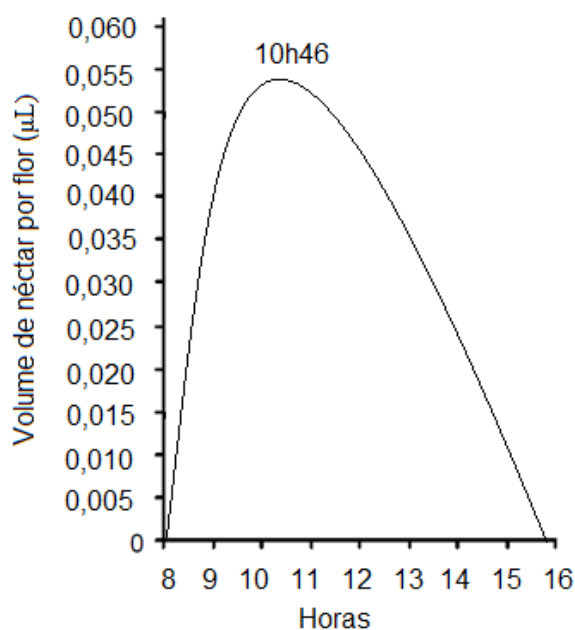


Figura 2. Volume de néctar coletado por flor nas flores de soja *Glycine max*, cultivar BRS 284 e BRS 1001 IPRO nas áreas sem a presença de insetos polinizadores, na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR.

Severson e Erickson (1984) observaram variação no volume de néctar secretado por flor de soja de 0,022 a 0,127 µL de acordo com a cultivar. Além do mais, fatores ambientais, tais como umidade relativa do ar, temperatura e disponibilidade de minerais no solo influenciam a secreção de néctar nas flores de soja (Robacker et al. (1983).

A maior frequência de visitação das abelhas coincidiu com o pico de secreção de néctar, indicando que mesmo não sendo uma espécie de planta altamente atrativa para abelhas, as flores de soja possuem mecanismos de atratividade de polinizadores eficientes. Alguns desses mecanismos são os aromas voláteis secretados e liberados pelas flores de soja. Erickson (1984) demonstrou que após a abertura da flor, em temperaturas acima de 27°C o aroma C é mais abundante que os aroma A e B, sendo, portanto, um possível sinal químico com maior poder de atração de insetos.

Conclusão

O serviço de polinização por abelhas africanizadas *A. mellifera* é benéfico à cultura da soja, nas cultivares BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica). Quando

essas abelhas forrageiam nas flores de soja, independentemente de ser transgênica ou não, diminui o período de antese e taxa de aborto de flores, uma vez que o horário de maior receptividade do estigma coincide com a maior visitação dessas abelhas, favorecendo a polinização cruzada e aumentando a variabilidade genética. Além disso, o néctar produzido por essas flores é atrativo para as abelhas, servindo como alimento energético para a colônia durante a floração.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante todo período de estudo. À Embrapa Soja pelo auxílio financeiro concedido para execução deste projeto.

Referências

Abrol DP, Shankar U (2012) Pollination in oil crops: recent advances and future strategies. In: Gupta SK. (ed). Technological innovations in major world oil crops. Springer: London, pp 221-267. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0827-7_9

Arenas-de-Souza MD, Rossi AAB, Varella TL, Silveira GF, Souza SAM (2016) Stigma receptivity and pollen viability of *Theobroma subincanum* Mart.: fruit species from the amazon region. Revista Brasileira de Fruticultura 38(4):e-757. <https://doi.org/10.1590/0100-29452016757>

Carlson JB (1973) Morphology. In: Caldwell BE (ed). Soybeans, improvement, production, and uses. American Society of Agronomy. Madison, Agronomy Series.

Chambó ED, Camargo SC, Garcia RC, Carvalho CAL, Ruvolo-Takasusuki MCC, Ronqui L, Silva Junior CG, Santos PR, Toledo VAA (2018) Benefits of entomophile pollination in crops of *Brassica napus* and aspects of plant floral biology. In: El-Esawi MA (ed). Brassica Germplasm – Characterization, Breeding and Utilization. Rijeka, IntechOpen, pp 95-106. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74569>

Chiari WC, Hoffmann-Campo CB, Arias CA, Lopes TS, Toledo TCSOA, Ruvolo-Takasusuki MCC, Toledo VAA (2013) Floral biology and Africanized honeybee behavior in transgenic (Roundup Ready var. BR-245 RR) and conventional (var. BRS-133) soybean (*Glycine max* L. Merrill) flowers. In: Price AJ, Kelton JA (ed). *Herbicides – Advances in Research*. Rijeka, IntechOpen, pp 277-298. <http://dx.doi.org/10.5772/55847>

Chiari WC, Toledo VAA, Ruvolo-Takasusuki MCC, Attencia VM, Costa FM, Kotaka CS, Sakaguti ED, Magalhães HR (2005) Floral biology and behavior of Africanized honeybees *Apis mellifera* in soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48(3):367-378. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132005000300006>

Dafni A (1992) *Pollination ecology: a practical approach*. Oxford University Press, Oxford.

Djanaguiraman M, Schapaugh W, Fritschi F, Nguyen H, Prasad PVV (2019) Reproductive success of soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars and exotic lines under high daytime temperature. *Plant, Cell and Environment* 42(1):321-336. <http://dx.doi.org/10.1111/pce.13421>

Ellis AM, Myers SS, Ricketts TH (2015) Do pollinators contribute to nutritional health? *PLoS ONE* 10:e114805. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0114805>

Erickson EH (1984) Soybean pollination and honey production a research progress report. *American Bee Journal* 124:775-779.

Erickson EH, Garment MB (1979) Soya-bean flowers: nectary ultra structure, nectar guides, and orientation on the flower by foraging honeybees. *Journal of Apicultural Research* 18(1):1-11. <https://doi.org/10.1080/00218839.1979.11099935>

Erickson EH (1975) Variability of floral characteristics influences honey bee visitation to soybean blossoms. *Crop Science* 15:767-771.

Free JB (1993) Insect pollination of crops. Academic Press, London.

Hedhly A, Hormaza JI, Herrero M (2003) The effect of temperature on stigma receptivity in sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Plant, Cell and Environment* 26:1673-1680. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01085.x>

McGregor SE (1976) Insect pollination of cultivated crop plants, USDA, Washington.

Meyer RS, Purugganan MD (2013) Evolution of crop species: genetics of domestication and diversification. *Natural Reviews Genetics* 14:840-852.

Moreira MM, Miranda AS, Sá-Haiad B, Santiago-Fernandes LR (2019) Diurnal versus nocturnal pollinators and the effect of anthesis onset on the reproductive success of *Agarista revoluta* (Eicaceae). *Plant Systematics and Evolution* 305:375-834. <https://doi.org/10.1007/s00606-019-01577-3>

Pacini E (1996) Types and meaning of pollen carbohydrate reserves. *Sexual Plant Reproduction* 9(362).

Palmer M, Perez PT, Ortiz-Perez E, Maalouf F, Suso MJ (2009) The role of crop-pollinator relationships in breeding for pollinator-friendly legumes: from a breeding perspective. *Euphytica* 170:35-52. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9953-0>

Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE (2010) Global pollinator declines: trends, impact and drivers. *Trends in Ecology Evolution* 25:345-353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>

R Core Team (2019) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE (2014). *Biologia vegetal*. 8th ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

Robacker DC, Flottum PK, Sammataro D, Erickson EH (1983) Climatic and edaphic effects on soybean flowers and the subsequent attractiveness of the plants to honey bees. *Field Crops Research* 6:267-278. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(83\)90067-9](https://doi.org/10.1016/0378-4290(83)90067-9)

Schauberger B, Archontoulis S, Ameth A, Balkovic J, Ciais P, Deryng D, Elliot J, Folberth C, Khabarov N, Muller C, Pugh TAM, Rolinski S, Schaphoff S, Schmid E, Wang X, Schlenker W, Frieler K (2017) Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models. *Nature Communications* 8(13931). <https://doi.org/doi:10.1038/ncomms13931>

Severson DW, Erickson EH (1984) Quantitative and qualitative variation in floral nectar of soybean cultivars in Southeastern Missouri. *Environmental Entomology* 13(4):1091-1096.

Smýkal P, Trnený O, Hanáček P, Rathore A, Roma RD, Pechanec V, Duchoslav M, Bhattacharyya D, Bariotakis M, Pirintsos S, Berger J, Toker C (2018) Genetic structure of wild pea (*Pisum sativum* subsp. *elatius*) populations in the northern part of Fertile Crescent reflects moderate cross-pollination and strong effect of geographic but not environmental distance. *PLoS ONE* 13:e0194056. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194056>

Sletvold N, Trunschke J, Wimmergren C, Agren J (2012) Separating selection by diurnal and nocturnal pollinators on floral biology display and spur length in *Gymnadenia conopsea*. *Ecology* 93:1880-1891. <https://doi.org/10.1890/11-2044.1>

Artigo III – **Comportamento de abelhas africanizadas em flores de soja (*Glycine max*) e desenvolvimento da colônia durante o período de polinização**

Resumo

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma das *commodity* mais importantes do Brasil e do mundo, sendo que apenas no país, são aproximadamente 35 milhões de hectares destinados ao plantio dessa cultura. Aliado a isso, o uso de abelhas na polinização de culturas agrícolas pode ser um fator determinante para o aumento de produtividade, mas para isso, é necessário conhecer o comportamento desses insetos nas culturas de interesse. Baseado nisso, o objetivo do estudo foi avaliar o comportamento das abelhas africanizadas nas flores de soja e o desenvolvimento das colônias durante o período de polinização. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Embrapa Soja em Londrina – PR em dois anos consecutivos. As cultivares utilizadas foram a BRS 1001 IPRO e BRS 284. O tempo de coleta de néctar e/ou pólen foi avaliado com auxílio de um cronômetro, acompanhando a abelha em sua atividade. Também, foi cronometrado o tempo de permanência da abelha na flor e o número de visitas por minuto. Verificou-se que as abelhas ficaram, em média 2,42 segundos coletando néctar na cultivar transgênica e 2,54 na cultivar convencional, não havendo diferença estatística entre as médias pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Em nenhum tratamento foi observado o comportamento de coleta de pólen nas flores. Com relação ao número de flores visitadas por minuto observou-se que, em média, as abelhas africanizadas visitaram 12 flores por minuto. Esses resultados indicam que as abelhas africanizadas representam um potencial agente polinizador nas cultivares de soja avaliadas, podendo promover incremento de produção e/ou ainda uma fonte de alimento energético para a colônia.

Palavras-chave: Agrossistema, *Apis mellifera*, biologia floral, produtividade, reserva de alimento.

Abstract

Soybean (*Glycine max* L. Merrill) is one of the most important commodities in Brazil and in the world, and in Brazil, there are approximately 35 million hectares intended for its planting. Allied to this, the use of bees in the agricultural crops pollination can be a

determining factor for productivity increase, but for this it is necessary to know the behavior of these insects in the crops of interest. Based on this, the objective of the study was to evaluate the behavior of Africanized honeybees in soybean flowers. The experiment was carried out at Embrapa Soja Experimental Station in Londrina - PR during November 2016 and 2017. The cultivars used were BRS 1001IPRO and BRS 284. The time of nectar and/or pollen collection was evaluated with the aid of a stopwatch, accompanying the honeybee in its activity. Also, the honeybee time spent on flower and the number of visits per minute were recorded. The honeybees spent 2.42 seconds collecting nectar in the transgenic cultivar and 2.54 in the conventional cultivar, with no statistical difference between means by the Tukey test at 5%. None of the treatments were observed the pollen collection behavior in flowers. Regarding the number of flowers visited per minute, it was observed that, on average, Africanized honeybees visit 12 flowers per minute. These results indicate that Africanized honeybees represent a potential pollinating agent in the evaluated soybean cultivars and may promote increased production and/or an energetic food source for the colony.

Keywords: Agrosystem, *Apis mellifera*, floral biology, productivity, food storage.

Introdução

A intensificação da agricultura, muitas vezes, é responsável pela diminuição na diversidade de plantas de uma determinada região, afetando diretamente a sobrevivência de abelhas e redução dos habitats (Burkle et al. 2015). Em relação às abelhas da natureza, que vivem próximas às áreas de cultivo, esses indivíduos dependem das áreas preservadas para buscar alimento e como local de nidificação (Cunningham-Minnick et al. 2019).

Mesmo quando se trabalha com abelhas oriundas de criadores, sejam eles apicultores ou meliponicultores, as atividades intensivas e que exigem muito trabalho das abelhas, como é o caso do serviço de polinização, podem provocar efeitos negativos na quantidade de cria e desenvolvimento da colônia (Czekońska et al. 2015). Isso porque a qualidade do pasto apícola e as características ambientais afetam diretamente a saúde da colônia (Dolezal et al. 2016).

O plantio consorciado da cultura agrícola com outras espécies vegetais com flores aumenta a população de insetos que visitam a soja (Sholahuddin et al. 2019). Além disso,

o serviço de polinização realizado pelas abelhas do ambiente natural não representa custos ao agricultor (Sardiñas et al. 2016).

Para as abelhas, o serviço de polinização envolve gastos energéticos para a coleta de pólen e néctar, por isso a distância de forrageamento deve representar um equilíbrio (Everaars et al. 2018). O pólen, por exemplo, é essencial para o alimento das larvas, pois é a principal fonte de proteína da colônia (Eckhardt et al. 2014). A falta de pólen pode prejudicar o desenvolvimento da colônia (Crailsheim 1990), e um dos primeiros sintomas de deterioração do desenvolvimento por falta de pólen é justamente a diminuição da área de cria (Hrassnigg e Crailsheim 2005).

Logo, para utilizar uma determinada espécie de abelha como polinizador de uma cultura agrícola é necessário conhecer o comportamento desse inseto nas flores para a coleta de recursos. Baseado nisto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de coleta de néctar e pólen de abelhas africanizadas *Apis mellifera* nas cultivares de soja (*Glycine max*) BRS 1001IPRO (transgênica) e BRS 284 (convencional), bem como estudar os efeitos sobre o desenvolvimento da colônia do confinamento nas gaiolas de polinização durante o período de floração da cultura.

Material e métodos

Esta pesquisa foi conduzida na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizada na cidade de Londrina (23°08'47"S e 51°19'11"W), localizada na região norte do Estado do Paraná, Brasil.

O estudo foi conduzido em dois anos consecutivos, sendo que, no primeiro ano, o plantio da soja foi realizado no dia 01 de outubro e a colheita ocorreu 140 dias após o plantio. No segundo ano, o plantio foi realizado no dia 06 de outubro e a colheita ocorreu 132 dias após o plantio. A cultura agrícola foi monitorada durante todo o florescimento.

As áreas escolhidas para estudo foram demarcadas aleatoriamente no campo de soja e as gaiolas foram colocadas imediatamente antes do início da florada e desmontadas no após o pico de floração de cada ano. As gaiolas de polinização foram construídas com tela de nylon de 2 x 2 mm, suportadas por tubos de PVC de ¼ de polegada contendo barras de ferro em seu interior, formando gaiolas de quatro metros de largura, seis metros de comprimento e dois metros de altura na parte mais alta, em uma área de 24 m² (Chiari et al. 2005).

Um delineamento inteiramente casualizado foi utilizado com três tratamentos e quatro repetições cada. Três tratamentos foram avaliados: área de soja coberta com colônia de abelhas africanizadas durante a floração; área coberta sem abelhas; e uma área livre para a visita de insetos. Todos os tratamentos foram avaliados com as cultivares BRS 284 (soja convencional) e BRS 1001 IPRO (soja transgênica).

A frequência das visitas das abelhas nas áreas, ao longo do dia, foi obtida por contagem dos mesmos (Delaplane et al. 2013), durante visita às flores, em toda a área da gaiola de polinização, em cada horário, das 8h00 às 16h00, em quatro repetições nos tratamentos livre e coberto com abelhas. Nas áreas livres para visita, os insetos mais frequentes foram coletados com auxílio de uma rede entomológica, para posterior identificação.

O tempo de coleta de néctar e/ou pólen foi medido com auxílio de um cronômetro, acompanhando a abelha em sua atividade. Também foram registrados o tempo de permanência da abelha na flor e o número de flores visitadas durante um minuto.

Para observar o tipo de recurso (néctar ou pólen) que estava sendo coletado pelas abelhas forrageiras *A. mellifera*, foram coletadas cinco abelhas a cada hora, ao longo do dia, das 8h00 às 16h00), e o conteúdo de suas corbículas e vesículas melíferas foram avaliados. O teor de açúcares do conteúdo da vesícula melífera foi medido com auxílio de um refratômetro digital.

O desenvolvimento da colônia, durante o período de confinamento nas gaiolas de polinização, foi avaliado padronizando-se as colônias em núcleos de cinco favos, sendo três favos com cria, um favo com alimento (mel e pólen) e um quadro com lâmina de cera alveolada, antes do início do experimento. As colônias foram avaliadas no dia em que foram introduzidas nas gaiolas de polinização (D0), com sete, 14 e 21 dias de confinamento, e comparadas a colônias mantidas a 200 metros da área experimental. Para avaliar o desenvolvimento foram atribuídos escores, variando de um a cinco, sendo um para muito fraco, dois para fraco, três para mediano, quatro para forte e cinco para muito forte; considerando-se as áreas de cria, armazenamento de alimento e a quantidade de abelhas em cada favo, de acordo com método proposto por Nasr et al. (1990).

Os dados foram analisados estatisticamente por fatorial duplo em delineamento em blocos casualizados. Após a análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software R (R Development Core Team 2019). Os dados que não apresentaram distribuição normal foram analisados por meio da metodologia de modelos lineares generalizados.

$Y_{ijkl} = \mu + B_i + T_j + C_k + (BT)_{ij} + (BC)_{ik} + (TC)_{jk} + e_{ijkl}$, onde:

Y_{ijkl} = Observação referente a variável do Bloco i, Tratamento j, Cultivar k

μ é o efeito da média geral;

B_i é o efeito do Bloco ($i = 1, 2 \dots 6$);

T_j é o efeito de tratamento (1, 2, 3);

C_k é o efeito do cultivar;

$(BT)_{ij}$ é a interação do Bloco i e Tratamento k;

$(BC)_{ik}$ é a interação do Bloco i e Cultivar I;

$(TC)_{jk}$ é a interação do tratamento j e cultivar I

e_{ijkl} é o erro associado à observação i_{klm} .

Resultados e discussão

Houve diferença estatística ($p < 0,05$) para frequência de visitação dos insetos nas flores de soja ao longo do dia (Figura 1). Tanto na cultivar convencional, quanto na transgênica, houve grande quantidade de insetos visitando as flores ao longo do dia, com maior frequência de insetos forrageando das 11h00 até 12h00.

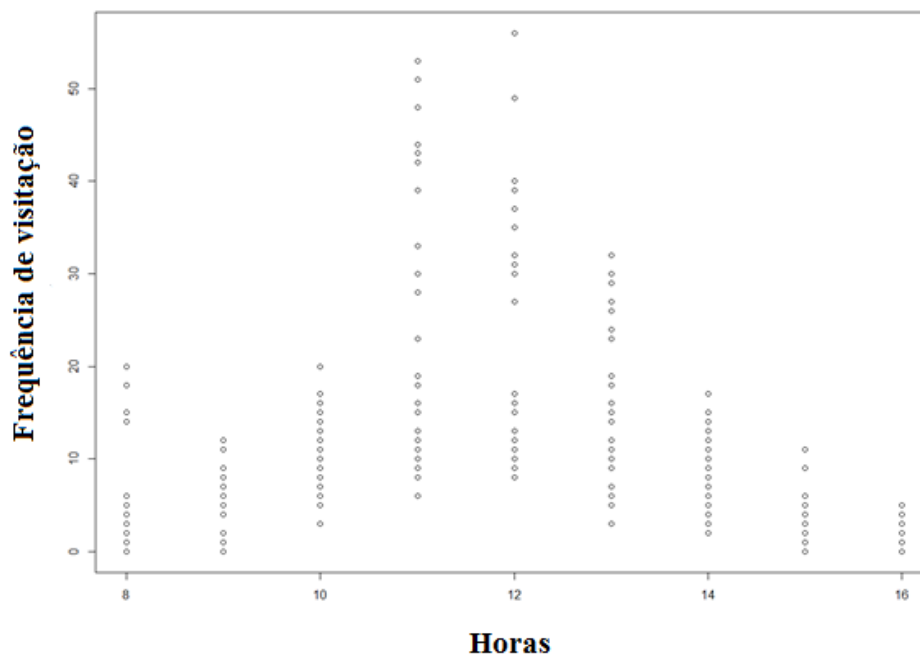


Figura 1. Quantidade de insetos forrageando as flores de soja (*Glycine max*) nas áreas cobertas com abelhas *Apis mellifera* nas cultivares BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), na área de experimentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina – PR.

Para que abelhas visitem a cultura agrícola, é necessário que suas flores apresentem estruturas para aumentar a atratividade dos visitantes florais, Delaplane e Mayer (2000) concluíram que o néctar secretado é a principal recompensa aos visitantes florais. Além disso, as abelhas africanizadas forrageiam com maior frequência nas flores de canola e girassol em busca de néctar, quando a temperatura ambiente está acima de 15 e abaixo de 31°C (Chambó et al. 2014). Outros fatores, tais como diluição do néctar e chuva, também podem influenciar a polinização entomófila (Lawson e Rands 2019).

Nas áreas livres para visitação, as abelhas africanizadas *A. mellifera* foram os visitantes mais frequentes (76,4%), seguido por abelhas da família Halictidae (13,11%), da tribo Meliponini (6,43%), da família Vespidae (2,08%) e outros insetos (1,98%). Esse resultado confirma os de Chiari et al (2013), que observaram uma frequência de 97,02% de *A. mellifera* visitando as flores de soja, confirmando que no Brasil, as abelhas africanizadas são as abelhas que mais contribuem para a polinização cruzada nas flores de soja.

Nas cultivares avaliadas, não foi possível reproduzir o método para frequência de visitação utilizado por Chiari et al. (2005), devido ao alto índice de leituras falso negativo. Ao delimitar aleatoriamente uma área de 1 m² e observar os visitantes florais nessa demarcação, muitas leituras contendo zero indivíduos foram observadas. No entanto,

havia grande quantidade de insetos coletando recursos nas flores nas demais áreas na mesma gaiola. Por isso, optou-se pela avaliação do número total de insetos visitando a área total de cada tratamento (Delaplane et al. 2013).

Durante o período estudado, não foi observada nenhuma abelha forrageira coletando pólen; independentemente da cultivar e do tratamento avaliado, 100% das abelhas forrageiras observadas coletaram apenas néctar. Comportamento semelhante foi observado por Chiari et al. (2013) nas cultivares BR 245 RR e BRS 133. Contudo, ao coletar néctar nas flores, as operárias entraram em contato com grãos de pólen.

A quantidade de pólen produzida pelas flores de soja depende diretamente do cultivar (Erickson 1984). Erickson (1975) observou que, de acordo com a região de plantio e a cultivar analisada, a coleta de pólen pelas abelhas nas flores de soja é baixa. No entanto, Free (1993) concluiu que não é necessária coleta de pólen para que as abelhas realizem uma polinização eficiente. Um inseto é considerado como um polinizador eficiente quando, ao visitar as flores, transfere os grãos de pólen para o estigma (Alves-dos-Santos et al. 2016), mesmo quando não há armazenamento de pólen nas corbículas.

Neste estudo, foi verificado que as abelhas permaneceram, em média, 2,42 segundos coletando néctar na cultivar transgênica e 2,54 na cultivar convencional, não havendo diferença estatística ($p > 0,05$) entre as médias pelo teste de Tukey a 5%. Possivelmente, o curto tempo de coleta de néctar nas flores de soja está relacionado ao volume de néctar secretado e à concentração de açúcares. Puentes et al. (2019) observaram o comportamento de abelhas *A. mellifera* em flores de astrapeia *Dombeya wallichii*, que são muito maiores que as flores de soja, e concluíram que as abelhas permanecem 9,2 segundos forrageando cada flor.

Com relação ao número de flores visitadas por minuto foi observado que, em média, as abelhas africanizadas visitam 12 flores por minuto nas cultivares BRS 284 e BRS 1001 IPRO, resultado 25% inferior à média de 16,2 flores por minuto observada por Jaycox (1970), possivelmente essa diferença ocorreu devido às diferenças de volume de néctar secretado entre as diferentes cultivares.

Em flores de canola, as abelhas, *A. mellifera* visitaram 12,9 flores por minuto, permanecendo 4,2 segundo em cada (Chambó et al. 2014). Esses resultados indicam que as abelhas africanizadas representam um potencial agente polinizador das cultivares de soja avaliadas, podendo acarretar incremento de produção de grãos por meio do serviço de polinização.

O teor de açúcares encontrado na vesícula melífera das abelhas forrageiras coletando néctar foi diferente estatisticamente ($p < 0,05$) entre as cultivares, sendo que na cultivar convencional BRS 284, as abelhas apresentaram maior grau Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) no conteúdo de suas vesículas (Tabela 1). A variação da quantidade de açúcares no conteúdo da vesícula melífera nas diferentes cultivares está representado na Figura 3.

Tabela 1. Quantidade de açúcares no conteúdo da vesícula melífera em grau Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) de abelhas forrageiras africanizadas em flores de soja (*Glycine max*), nas cultivares BRS 284 (convencional) e BRS 1001 IPRO (transgênica), na fazenda experimental da Embrapa, em Londrina – PR

Tratamento	Grau Brix ($^{\circ}\text{Bx}$)
BRS 284	39,27 \pm 2,76 a
BRS 1001 IPRO	26,54 \pm 1,95 b

* Média seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem entre si ($p < 0,05$).

As colônias confinadas nas gaiolas de polinização apresentaram uma queda no escore de quatro, observado no início do experimento, para três ao final do período de polinização. Enquanto as colônias mantidas na área aberta próxima ao experimento aumentaram seus escores de quatro para cinco no mesmo período.

Embora a quantidade de néctar secretado pelas flores de soja seja pequena, o desenvolvimento das colônias não foi prejudicado, pois as flores de soja apresentam grande quantidade de flores por planta e a duração da florada é relativamente curta. Durante o período avaliado, os estoques de pólen na colônia foram reduzindo com o passar dos dias, indicando que as cultivares de soja estudadas não foram suficientes para suprir a demanda proteica da colônia, ou ainda, que nessas cultivares a estrutura morfológica das flores não permitiram uma coleta de pólen eficiente.

Em países onde a apicultura é mais desenvolvida, como nos Estados Unidos, os apicultores são bem remunerados pelo aluguel das colônias para realizar o serviço de polinização em determinadas culturas agrícolas, que dependem em certo grau da polinização cruzada para produzir os frutos (Morse e Calderone, 2000). No Brasil, os apicultores não sabem e/ou não são instruídos tecnicamente a realizar o serviço de polinização de forma adequada, por isso, muitas vezes, os apicultores buscam produzir mel ao mesmo tempo em que o objetivo é a polinização da cultura agrícola. Para que a polinização seja eficiente, é necessária uma alta densidade de abelhas para estimular a

competição pelos recursos florais, especialmente o pólen. Em nosso país, costuma-se utilizar a mesma densidade de colônias por hectare utilizada na produção de mel para realizar a polinização, contudo, desta forma o serviço é ineficiente e pouco contribui para a produção e qualidade dos frutos.

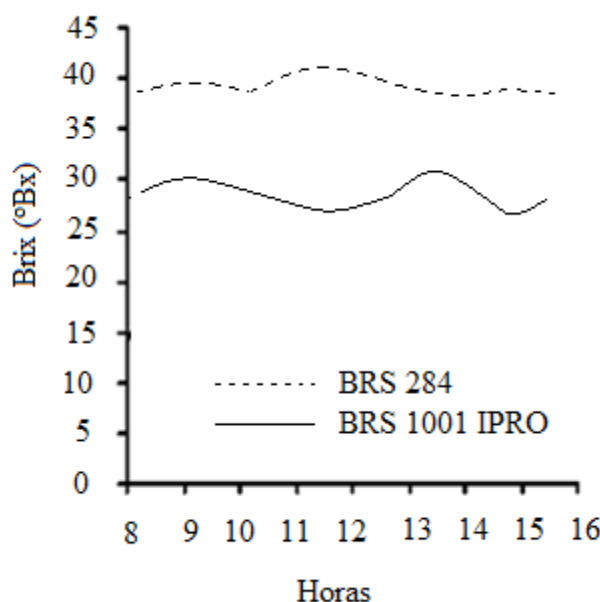


Figura 2. Quantidade de açúcares, em grau Brix (°Bx), mensuradas a partir do conteúdo das vesículas melíferas de abelhas africanizadas capturadas coletando recursos nas flores de soja, nas cultivares BRS 284 e BRS 1001 IPRO.

Portanto, se o serviço de polinização realizado por abelhas africanizadas em áreas de soja ocorrer sem intervalos, entre uma florada e outra é necessário fornecer suplementação proteica para compensar a deficiência de aminoácidos na colônia. Bonoan et al. (2020) verificaram que a falta de diversidade polínica prejudica o crescimento populacional da colônia, sobrevivência e reprodução.

Conclusão

Para as cultivares de soja BRS 284 e BRS 1001 IPRO, as abelhas africanizadas representam um potencial agente polinizador, uma vez que as abelhas forrageiras conseguem visitar grande quantidade de flores em pouco tempo e são extremamente eficientes na coleta de néctar.

Alternativamente ao serviço de polinização, o apicultor pode optar pela produção de mel nas cultivares estudadas, pois o pequeno volume de néctar secretado por flor é compensado pela grande quantidade de flores por hectare.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante todo período de estudo. À Embrapa Soja pelo auxílio financeiro concedido para execução deste projeto.

Referências

Alves-dos-Santos I, Silva CI, Pinheiro M, Kleinert AMP (2016) When a floral visitor is a pollinator? *Rodriguésia* 67(2):295-307. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201667202>

Bonoan RE, Gonzalez J, Starks PT (2020) The perils of forcing a generalist to be a specialist: lack of dietary essential amino acids impacts honey bee pollen foraging and colony growth. *Journal of Apicultural Research* 59(1):95-103. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1656702>

Burkle D, Maechler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67(1):1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

Chambó ED, Oliveira NT, Garcia RC, Duarte-Júnior JB, Ruvolo-Takasusuki MCC, Toledo VAA (2014) Pollination of rapeseed (*Brassica napus*) by Africanized honeybees (Hymenoptera: Apidae) on two sowing dates. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 86:2087-2100. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201420140134>

Chiari WC, Hoffmann-Campo CB, Arias CA, Lopes TS, Toledo TCSOA, Ruvolo-Takasusuki MCC, Toledo VAA (2013) Floral biology and Africanized honeybee behavior in transgenic (Roundup Ready var. BR-245 RR) and conventional (var. BRS-133) soybean (*Glycine max* L. Merrill) flowers. In: Price AJ, Kelton JA (ed). *Herbicidas*

– Advances in Research. Rijeka, IntechOpen, pp 277-298.
<http://dx.doi.org/10.5772/55847>

Chiari WC, Toledo VAA, Ruvolo-Takasusuki MCC, Attencia VM, Costa FM, Kotaka CS, Sakaguti ED, Magalhães HR (2005) Floral biology and behavior of Africanized honeybees *Apis mellifera* in soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48(3):367-378. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132005000300006>

Crailsheim K (1990) The protein balance of the honey bee worker. *Apidologie* 21(5):417–429. <https://doi.org/10.1051/apido:19900504>

Cunningham-Minnick MJ, Peters VE, Crist TO (2019) Nesting habitat enhancement for wild bees within soybean fields increases crop production. *Apidologie* 50(6):833-844. <http://dx.doi.org/10.1007/s13592-019-00691-y>

Czekońska K, Chuda-Mickiewicz B, Samborski J (2014) Quality of honeybee drones reared in colonies with limited and unlimited access to pollen. *Apidologie* 46:1-9. <http://dx.doi.org/10.1007/s13592-014-0296-z>

Delaplane KS, Dag A, Danka RG, Freitas BM, Garibaldi LA, Goodwin RM, Hormaza JI (2013) Standard methods for pollination research with *Apis mellifera*. In: Dietemann V, Ellis JD, Neumann P (eds). *The coloss beebook, v. 1: standard methods for Apis mellifera Research*. *Journal of Apicultural Research* 52(4). <http://dx.doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.12>

Delaplane KS, Mayer DF (2000) *Crop pollination by bees*. CABI Publishing, London.

Dolezal AG, Carrillo-Tripp J, Miller WA, Bonning BC, Toth AL (2016) Intensively cultivated landscape and *Varroa* mite infestation are associated with reduced honey bee nutritional state. *PLoS ONE* 11:e0153531. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0153531>

Eckhardt M, Haider M, Dorn S, Muller A (2014) Pollen mixing in pollen generalist solitary bees: A possible strategy to complement or mitigate unfavourable pollen properties? *Journal of Animal Ecology* 83:588–597. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12168>

Erickson EH (1984) Research notes: United States: Soybean floral ecology and insect pollination. *Soybean Genetics Newsletter* 11(50):152-162.

Erickson EH (1975) Effect of honey bees on yield of three soybean cultivars. *Crop Science* 14:84-86.

Everaars J, Settele J, Dormann CF (2018) Fragmentation of nest and foraging habitat affects time budgets of solitary bees, their fitness and pollination services, depending on traits: results from an individual-based model. *PLoS ONE* 13(2):e0188269. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0188269>

Free JB (1993) *Insect pollination of crops*. Academic Press, London.

Hrassnigg N, Crailsheim K (2005) Differences in drone and worker physiology in honeybees (*Apis mellifera*). *Apidologie* 36:255–277. <https://doi.org/10.1051/apido:2005015>

Jaycox ER (1970) Ecological relationships between honey bees and soybean. I. Introduction. *American Bee Journal* 110:306-307, 343-345, 383-385.

Lawson DA, Rands SA (2019) The effects of rainfall on plant-pollinator interactions. *Arthropod-Plant Interactions* 13:561-569. <http://dx.doi.org/10.1007/s11829-019-09686-z>

Morse RA, Calderone NW (2000) The value of honey bees as pollinators of U.S. crops in 2000. *Bee Culture* 132(3):1-15.

Nasr ME, Thorp RW, Tyler TL, Briggs DL (1990) Estimating honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony strength by a simple method: measuring cluster size. *Entomological Society of America* 83(3):748-754. <https://doi.org/10.1093/jee/83.3.748>

Puentes SMD, Lopez JCC, Galhardo D, Oliveira JWS, Toledo VAA (2019) Foraging behaviour of *Apis mellifera* L. and *Scaptotrigona bipunctata* on *Dombeya wallichii* flowers in Southern Brazil. *Agricultural Sciences* 10:1124-1134. <https://doi.org/10.4236/as.2019.108085>

R Core Team (2019) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Sardiñas HS, Ponisio LC, Kremen C (2016) Hedgerow presence does not enhance indicators of nest-site habitat quality or nesting rates of ground-nesting bees. *Restoration Ecology* 24(4):499-505. <https://doi.org/10.1111/rec.12338>

Sholahuddin, Wijayanti R, Arniputri RB, Supriyadi, Widyaningrum D (2019) Pollinator diversity and soybean productivity with flowering plant (*Crotalaria* and *Rosella*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 250(1):012113. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/250/1/012113>

APÊNDICE



Figura 1. Área do experimento na Embrapa Soja, Londrina - PR.



Figura 2. Área coberta com abelhas.

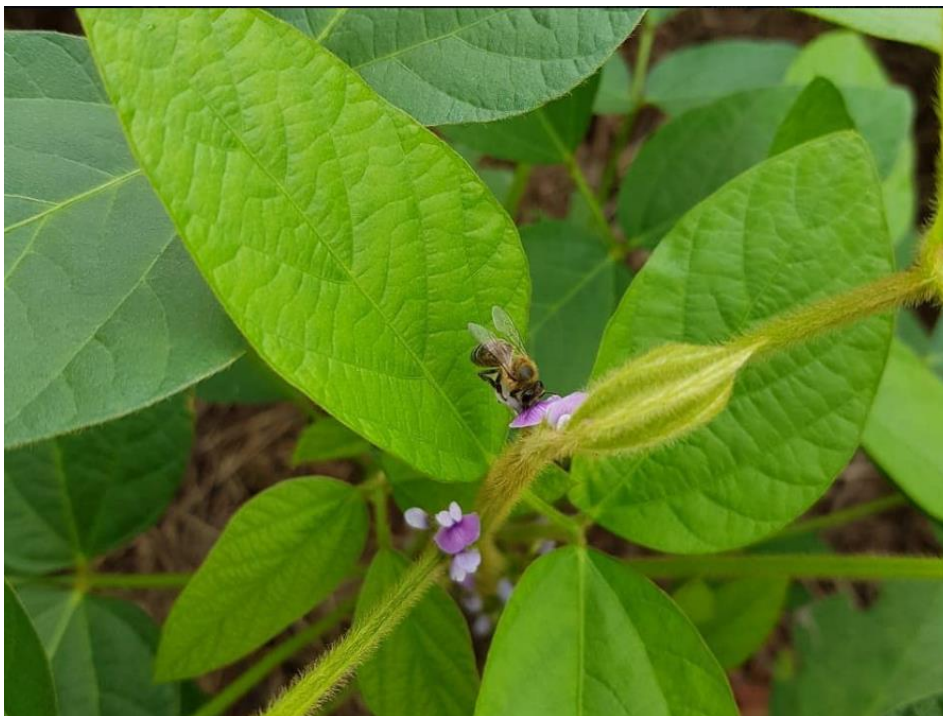


Figura 3 Abelha africanizada coletando néctar na flor de soja (*Glycine max*).

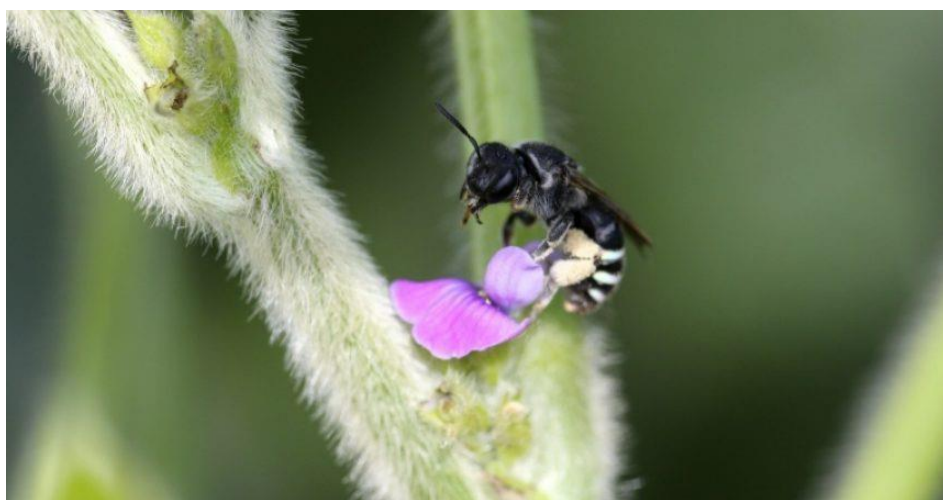


Figura 4. Abelha solitária coletando pólen na flor de soja (*Glycine max*).



Figura 5. Retirada da vesícula melífera para avaliação do conteúdo de açúcares.



Figura 6. Coleta de pólen em flores de soja (*Glycine max*) para avaliar a viabilidade polínica.



Figura 7. Coleta de abelhas forrageiras para avaliar a carga de pólen nas corbículas.



Figura 8. Avaliação do número de vagens na soja (*Glycine max*) após a colheita.

NORMAS DA REVISTA



You're seeing our new journal sites and we'd like your opinion, please [send feedback](#)

[Journal home](#) > [Submission guidelines](#)



Behavioral Ecology and Sociobiology

Submission guidelines

Instructions for Authors

Announcing Continuous Article Publishing

As of 2017, **Behavioral Ecology and Sociobiology** has changed its publication structure from paginated issues to a consecutive publishing model: **Continuous Article Publishing**.

This means that papers are published in a volume/issue immediately after acceptance. The Online First queue has become obsolete and the time from submission to publication in an issue is now significantly shorter. Continuous Article Publishing gives articles full citation details instantly after online publication.

As a further aspect of the new system, articles are no longer paginated sequentially by issue. Therefore, every article starts with page number 1. Page numbers are not used for article citation but every article has a citation ID number, called the **ArticleCitationID**. The ArticleCitationID is replacing the page numbers in the citation line, which includes the journal citation title, year, volume number and ArticleCitationID now.

Example:

Old	New
Behav Ecol Sociobiol (2016) 70:1117-1130	Behav Ecol Sociobiol (2017) 71: 123

This method of citation is accepted by the Web of Science/Journal Citation Reports (ISI).

We feel that our authors and readers greatly benefit from this change in the publication structure of **Behavioral Ecology and Sociobiology**.

Types of papers

"Behavioral Ecology and Sociobiology" accepts Reviews, Original Papers, Methods Papers, Commentaries, and Featured Student Research Papers:

- Reviews cover topics of current and broad interest to the readership of the journal and provide important new insights based on critical and comprehensive literature synthesis. The Editors-in-Chief are pleased to consider inquiries from authors concerning the appropriateness of a review topic and receive manuscripts. The Editors-in-Chief and/or members of the Editorial Board may contact authors to solicit a review, which will be designated in the Table of Contents as an Invited Review. There is no limit to the length of a review.
- Original Papers must present scientific results that are essentially new and should be structured according to the guidelines. The length of original papers should not exceed 13 printed pages (one printed page corresponds to approximately: 850 words text, or 3 illustrations with their legends, or 55 references).
- The Methods section deals with technical and statistical issues relevant to behavioral ecology. There is no standard to the length and organization of Methods papers, but they should be concise and clearly define its methodological relevance to the field, and should be presented for the general readership. Methods papers should avoid statistical jargons, preferably provide illustrative examples (with simulations or real data), and point to useful statistical softwares (electronic appendix for statistical details or for program script are available). The Methods section accepts original research, commentaries and reviews on any relevant topic.
- The Commentary section presents critical and constructive dialogs exclusively on papers published in this journal. Commentaries must be received within 6 months of the date of printed publication of the original article and should not exceed 6 manuscript pages, including title page and references. Commentaries will be reviewed, and if accepted, will be sent to the author of the original article for response. Commentary and response will then be published together in the same issue.
- In the heading "Featured Student Research" exceptional, original publications that result from graduate or undergraduate student research and carry the name of the student as the lead author are highlighted. This initiative is intended to honor the highest quality student research. Distinguished papers will be recommended by Associate Editors for Behavioral Ecology and Sociobiology, following the standard peer review process.

Students who wish their papers to be considered for the honor should explain in the cover letter the main reasons why the paper represents a significant contribution to the field, and mark the appropriate box for the Featured Student Research paper during the online submission process.

Manuscript Submission

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Please ensure you provide all relevant editable source files. Failing to submit these source files might cause unnecessary delays in the review and production process.

Revisions and resubmissions

Authors encouraged to submit a revised version of their manuscript or to resubmit their manuscript, are required to mark all changes (e.g. using the track changes function of their word processing program or by colored text). The revision must be accompanied by a cover letter including an itemized response to the reviewer's comments and must reference the location of changes in the revised manuscript. When resubmitting a manuscript, submit it as a new submission while referring to the old manuscript number.

Revisions and resubmissions

Authors encouraged to submit a revised version of their manuscript or to resubmit their manuscript, are required to mark all changes (e.g. using the track changes function of their word processing program or by colored text). The revision must be accompanied by a cover letter including an itemized response to the reviewer's comments and must reference the location of changes in the revised manuscript. When resubmitting a manuscript, submit it as a new submission while referring to the old manuscript number.

Important note

It is required that authors state in the Methods section whether blinded methods were used in papers submitted for publication in Behavioral Ecology and Sociobiology, for example by stating

"To minimize observer bias, blinded methods were use when all behavioral data were recorded and/or analyzed." or

"It was not possible to record data blind because our study involved focal animals in the field."

Color Illustrations

- Color figures are free of charge in the online and print version.

Title page

Title Page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) of the author(s), i.e. institution, (department), city, (state), country
- A clear indication and an active e-mail address of the corresponding author
- If available, the 16-digit ORCID of the author(s)

If address information is provided with the affiliation(s) it will also be published.

For authors that are (temporarily) unaffiliated we will only capture their city and country of residence, not their e-mail address unless specifically requested.

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Significance Statement

Authors submitting original research articles to Behavioral Ecology and Sociobiology must describe in a maximum of 120-140 words the novelty of the results of their study, and the broad significance of their main findings to make their work more readily understandable and accessible to the readership of the journal. The Significance Statement, which will appear immediately after the Abstract, should concisely convey the impact of the paper in the appropriate conceptual framework without technical jargon. The wording of the Significance Statement must be distinct from the Abstract and should not simply repeat the content of the Abstract in different words. Manuscripts may be returned and/or publication delayed if the Significance Statement is prepared improperly. Please see the following examples:

Text

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

Please note:

- Please do not forget to add consecutive line-numbering throughout manuscript (not just page-by-page).
- All elements of the manuscript must be double spaced.
- Provide full genus names when referring to a species for the first time in the main text (excl. Abstract). For subsequent uses, abbreviate genera to their initial letters. If authors refer to themselves, for example, in referencing unpublished data, they should do so by their initials (e.g. TCMB).
- For publications in Behavioral Ecology and Sociobiology footnotes are only allowed in Tables

Scientific style

- Please always use internationally accepted signs and symbols for units (SI units).
- Genus and species names should be in italics.
- Generic names of drugs and pesticides are preferred; if trade names are used, the generic name should be given at first mention.

References

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

- Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
- This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).
- This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

- Journal article
Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of "et al" in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 341:325-329

- Article by DOI
Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. <https://doi.org/10.1007/s001090000086>

- Book
South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London
- Book chapter
Brown B, Aaron M (2001) *The politics of nature*. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257
- Online document
Cartwright J (2007) *Big stars have weather too*. IOP Publishing PhysicsWeb.
<http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007
- Dissertation
Trent JW (1975) *Experimental acute renal failure*. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see

Tables

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.
- No punctuation is to be included after the table number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

Figure Placement and Size

- Figures should be submitted separately from the text, if possible.
- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For large-sized journals the figures should be 84 mm (for double-column text areas), or 174 mm (for single-column text areas) wide and not higher than 234 mm.
- For small-sized journals, the figures should be 119 mm wide and not higher than 195 mm.

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Normas completas disponíveis em:

<https://www.springer.com/journal/265/submission-guidelines>