

# VISITANTES FLORAIS E OS EFEITOS DOS COMPONENTES DE FECUNDIDADE NO TREMOÇO-BRANCO (*Lupinus albus* L.) (LEGUMINOSAE, PAPILIONOIDEAE), NO CCA-UFSCAR/ARARAS-SP

Data de submissão: 17/10/2023

Data de aceite: 01/11/2023

### Nícolas Alberto Polizelli Ricci

Professor de Educação Básica 1 e 2 no Serviço Social da Indústria (SESI) 101 de Americana, Americana, São Paulo, Brasil.  
<https://orcid.org/0000-0002-2388-5476>

### Priscila Orlandini

Professora do Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal (DBPVA) da Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, Araras, São Paulo, Brasil.  
<https://orcid.org/0000-0002-1609-6452>

### Kayna Agostini

Professora do Departamento de Ciências da Natureza, Matemática e Educação (DCNME) da Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, Araras, São Paulo, Brasil.  
<https://orcid.org/0000-0002-0038-3211>

**RESUMO** – Foram realizados estudos sobre padrões de desenvolvimento de frutos e sementes, além do comportamento de forrageamento dos visitantes florais em *Lupinus albus* L. (Leguminosae), uma vez que a literatura disponível é mais ampla com espécies de Papilionoideae. Foram realizadas as análises comparando a

posição da inflorescência, em que foram obtidos frutos com desenvolvimento completo, além da taxa de aborto e viabilidade das sementes. O estudo foi conduzido em um cultivo na Universidade Federal de São Carlos, *Campus* de Araras/SP, Brasil (22°18'27,4"S 47°22'45,5"W), entre agosto e novembro de 2013. O número de frutos desenvolvidos (n=154) foi menor que o de flores desenvolvidas (n=898). Houve uma porcentagem de 17% de frutificação, em 32 indivíduos de *L. albus* analisados. A porcentagem de sementes viáveis (n° de sementes viáveis / n° de sementes total) foi de 97% (n=702). A porcentagem de sementes abortadas (n° de sementes abortadas / n° de sementes total) foi de 3% (n=21). Os horários entre 16:00h às 17:00h e 17:00h às 18:00h, resultaram nas faixas com maior número de visitantes florais, e ocorreram nas três semanas. As abelhas foram as únicas visitantes florais observadas em campo. Elas pousavam nas flores, e com a sua massa corporal, empurravam a quilha floral para baixo, expondo as estruturas reprodutivas. Após esse processo, os grãos de pólen das anteras eram liberados e aderiam-se às cerdas das pernas medianas e posteriores. Portanto, foram eficazes na

transferência polínica. Acreditamos que mais estudos com foco em genética, embriologia, taxas demográficas e comunidade de plantas com redes de interação em vários estágios de vida, seriam importantes para avaliar a limitação dos recursos maternos, o comportamento do polinizador, a dinâmica polínica e a expressão de genes letais recessivos, em *L. albus*.

**PALAVRAS – CHAVE:** embriões, tremoço-branco, frutificação, inflorescências.

## FLORAL VISITORS AND THE EFFECTS OF FECUNDITY COMPONENTS ON WHITE LUPINE (*Lupinus albus* L.) (LEGUMINOSAE, PAPILIONOIDEAE), AT CCA-UFSCAR/ARARAS-SP

**ABSTRACT** – Studies were conducted on fruit and seed development patterns, as well as the foraging behavior of floral visitors in *Lupinus albus* L. (Leguminosae), as the available literature is more extensive for species within Papilionoideae. Analyses were carried out to compare the position of the inflorescence, from which fully developed fruits were obtained, in addition to the abortion rate and seed viability. The study was conducted in a cultivation at the Federal University of São Carlos, Campus de Araras/SP, Brazil (22°18'27.4"S 47°22'45.5"W), between August and November 2013. The number of developed fruits (n=154) was lower than the number of developed flowers (n=898). There was a 17% fruiting percentage among the 32 *L. albus* individuals analyzed. The percentage of viable seeds (number of viable seeds / total number of seeds) was 97% (n=702). The percentage of aborted seeds (number of aborted seeds / total number of seeds) was 3% (n=21). The times between 4:00 pm and 5:00 pm and 5:00 pm and 6:00 pm resulted in the periods with the highest number of floral visitors and occurred over the course of three weeks. Bees were the sole floral visitors observed in the field. They landed on the flowers and, with their body mass, pushed the floral keel down, exposing the reproductive structures. After this process, pollen grains from the anthers were released and adhered to the bristles of the median and hind legs. Therefore, they were effective in pollen transfer. We believe that further studies focusing on genetics, embryology, demographic rates, and plant communities with interaction networks at various life stages would be important for evaluating maternal resource limitation, pollinator behavior, pollen dynamics, and gene expression of recessive lethals in *L. albus*.

**KEYWORDS:** embryos, white lupine, fruiting, inflorescences.

## 1 | INTRODUÇÃO

Leguminosae Lindl. é terceira maior família dentre as angiospermas, atrás apenas de Asteraceae e Orchidaceae, possuindo aproximadamente 770 gêneros e 19.500 espécies, sendo que as revisões taxonômicas e estudos de filogenia mais recentes as distribuiu em seis subfamílias (AZANI et al., 2017). A subfamília Papilionoideae possui o maior número de espécies descritas, compreendendo cerca de 486 gêneros e 14.000 espécies (AZANI et al., 2017), ocorrendo em vários biomas brasileiros, predominantemente na Mata Atlântica. Nas regiões tropicais, as informações sobre a ecologia reprodutiva de Papilionoideae são incluídas em estudos em nível de comunidade (AGOSTINI, 2004; LOSAPIO et al., 2019).

Assim, temos um número reduzido de abordagens reprodutivas, isoladas (GIBBS e

SASSAKI, 1998; GIBBIS et al., 1999), principalmente em paisagens agrícolas, onde muitos representantes de Papilionoideae são usados para diferentes propósitos, incluindo a técnica de adubação verde. Entre as espécies de adubo verde, *Lupinus albus* L. é amplamente empregada em sistemas de rotação de culturas, e pode incorporar quantidades significativas de nitrogênio nos sistemas de produção agrícola. Há também as possibilidades de associá-la a sistemas de plantio direto ou consorciação de culturas. A formação de uma grande quantidade de palhada favorece a proteção das características físico-químicas e biológicas do solo e dificulta o estabelecimento de plantas invasoras.

Na maioria das angiospermas, poucos óvulos resultam em sementes viáveis. Alguns óvulos não se desenvolvem devido à falta de fertilização e, para aqueles que são fertilizados, os embriões podem ser abortados durante o processo de embriogênese. A ocorrência do aborto dos óvulos não é exclusiva das Leguminosae, no entanto, essa família oferece conveniência para estudos de efeitos dos componentes de fecundidade, em detrimento do arranjo linear de óvulos no ovário, o que permite o estudo de gradientes de viabilidade reprodutiva. Vários fatores podem levar ao aborto de flores e frutos (LAMONICA et al., 2020). Entre eles estão a quantidade de grãos de pólen que são depositados no estigma e na competição de óvulos para a obtenção de recursos essenciais para o desenvolvimento das sementes. A competição, juntamente com recursos limitados, pode desencadear o aborto seletivo dos óvulos e afetar o sucesso reprodutivo da planta (GARDARIN et al., 2018).

Nas espécies de Leguminosae, o aborto de embriões que se encontram mais distantes do estigma é o padrão mais comum observado (GIBBS e SASSAKI, 1998). Nesse caso, os óvulos mais distantes do estigma podem ser os últimos a serem fertilizados, por causa de sua posição. Apesar das variáveis genéticas e da capacidade dos grãos de pólen que fertilizam a estrutura feminina de uma flor serem semelhantes, o óvulo fertilizado terá uma vantagem sobre os outros na obtenção de recursos maternos. Assim, esse óvulo se torna o embrião dominante, resultando no aborto de outros óvulos com poucos recursos maternos disponíveis, ou mesmo sem recursos suficientes para se desenvolverem em sementes. Se os óvulos basais tiverem uma vantagem espacial (ZWOLAK et al., 2022), os óvulos estigmáticos podem ter uma vantagem semelhante ao serem os primeiros em que a fertilização ocorre e, assim, estabelecem um pool de recursos mais eficiente (NOTTEBROCK et al., 2017). Alguns estudos realizados em espécies de Leguminosae mostraram que a disponibilidade de recursos maternos no primeiro óvulo fertilizado próximo ao estigma floral leva a uma alta taxa de frutos com sementes estigmáticas (BOGDZIEWICZ et al., 2018). Portanto, ao estudar os efeitos dos componentes da fecundidade no sucesso reprodutivo de uma determinada espécie vegetal, é possível verificar a existência de problemas reprodutivos em decorrência da limitação polínica, além daqueles relacionados à nutrição embrionária por recursos maternos.

Estudos com espécimes de Papilionoideae são reduzidos, levando em consideração

o vasto número de espécies descritas para a subfamília, adicionadas ao fato de que as taxas de embriões abortados nas Leguminosae são crescentes. Com base nisso, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar os efeitos dos componentes da fecundidade em *L. albus*, concentrando-se na posição de frutificação nas inflorescências, a posição de desenvolvimento das sementes nos frutos, além da quantificação da viabilidade e aborto das sementes nos frutos. Os objetivos específicos foram: (1) verificar a taxa de frutificação; (2) verificar a taxa de formação de sementes; (3) avaliar o padrão de formação de frutos e sementes nos processos reprodutivos desta espécie; (4) verificar os horários de forrageamento dos visitantes florais. Assim, pretendemos responder às seguintes perguntas: (a) Houve diferença no desenvolvimento de frutos entre as posições na inflorescência? (b) Houve diferença no desenvolvimento de sementes entre as posições no ovário/fruto? (c) Podemos inferir que as diferenças refletem o favorecimento dos recursos maternos ou a capacidade competitiva dos grãos de pólen? (d) Qual período do dia houve maior forrageamento dos visitantes nas flores de *L. albus*?

Nossa hipótese inicial era a de que *L. albus* tivesse baixa formação de frutos e sementes, pois é um cenário comum em várias famílias de angiospermas, onde sementes viáveis são formadas a partir de uma pequena proporção de óvulos. Também esperávamos que o aborto das sementes ocorresse nas posições dos ovários mais distantes do estigma, um resultado anteriormente evidenciado dentro das Leguminosae (TEIXEIRA et al., 2006). Nesse caso, os óvulos basais seriam fertilizados por tubos de pólen com crescimento mais lento ou capacidade menos competitiva, resultando em progênie menos vigorosa e, portanto, mais propensos a serem abortados.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local de estudo

O estudo foi realizado em uma área de paisagismo localizada no *Campus* da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), no Centro de Ciências Agrárias, no município de Araras/SP (22°18'27,4"S; 47°22'45,5"W). A média anual da temperatura encontra-se em torno de 23°C. Os meses de dezembro a fevereiro são responsáveis por cerca de 50% da precipitação anual que é de 1.400 a 1.500 mm. O *Campus* de Araras possui 226,50 hectares de extensão com 69,61 hectares de área construída, 144,12 hectares de áreas agrícolas e apenas 12,77 hectares de remanescentes de vegetação nativa (SANTOS et al. 2013).

### 2.2 Características da espécie estudada

#### 2.2.1 Gênero *Lupinus*

O gênero *Lupinus* compreende cerca de 300 a 500 espécies, as quais estão

distribuídas no continente americano, e em algumas regiões do continente africano e do Mediterrâneo (CONTERATO, 2004). A maioria destas espécies tem a propriedade de fixar azoto/nitrogênio nos solos, e muitas são utilizadas como fertilizante natural em zonas agrícolas ou, até mesmo, como alimentação humana (HUYGHE, 1997).

### 2.2.2 *Morfologia vegetativa e floral em L. albus*

O tremoço-branco (*L. albus*) é uma espécie de hábito herbáceo, de porte ereto, sua altura pode variar de 0,8 a 1,5m e é adaptada a climas temperados e subtropicais. O caule principal e os ramos laterais terminam em cachos do tipo treliça apical. As folhas são compostas de sete folíolos (digitadas), são alongadas e de coloração verde (N.A.P.R., obs. pess., 2013). As inflorescências têm uma ordem de floração ascendente e as flores são produzidas em espirais densas ou abertas em um pico ereto com as flores de fundo florescendo em primeiro lugar (Figura 1). As flores podem ser brancas, amarelas ou azuis, dispostas em inflorescências axilares. São bissexuais, zigomorfas (bilateralmente simétrica), com morfologia em forma de ervilha de 1-2cm de comprimento, constituídas por cinco sépalas, cinco pétalas, um ovário com um pistilo e dez estames. As pétalas não estão todas unidas (dialipétalas) e são de diferentes formas e tamanhos. A pétala superior é chamada de estandarte e as duas pétalas parcialmente unidas no lado são as alas. Dentro das alas há duas pétalas parcialmente fundidas que formam a quilha em forma de barco. Dentro da quilha há dez estames concrecentes dispostos em dois círculos de cinco cada. (GIBBS e SASSAKI, 1998; GLOBO RURAL, 2009). O ovário geralmente contém dois ou mais óvulos. Essas flores possuem deiscência longitudinal e antese diurna, podendo ter visitantes florais que venham a ser polinizadores efetivos ou, apenas, venham a se aproveitarem de recursos florais (pilhadores).



Figura 1. Inflorescência de *Lupinus albus* L., com detalhe para a inflorescência de coloração branca que define o epíteto específico *albus*, além das folhas compostas de sete folíolos (digitadas). A foto foi realizada durante a execução deste trabalho, em 2013. Foto de autoria de N.A.P.R.

### 2.2.3 Aspectos reprodutivos

Os tremoços podem se reproduzir tanto sexualmente como vegetativamente. Em condições naturais, a maior parte das espécies de tremoço são autocompatíveis e se reproduzem principalmente por autopolinização. Por exemplo, *Lupinus angustifolius* L., é quase exclusivamente autopolinizado (KAZIMIERSKA e KAZIMIERSKI, 2002). Em contraste, as espécies perenes de tremoço se reproduzem principalmente por meio de polinização cruzada, devido à autoincompatibilidade (KITTELSON e MARON, 2000; KURLOVICH, 2002). A reprodução assexuada é apenas comum através da regeneração vegetativa em espécies perenes de tremoço. Não há nenhuma evidência que mostra que o tremoço pode se reproduzir através de apomixia.

Os grãos de pólen das espécies do gênero *Lupinus* são pegajosos e não são adequados para serem dispersos pelo vento (anemofilia) (LANGRIDGE e GOODMAN, 1985; HAMBLIN et al., 2005). Portanto, a polinização cruzada entre os indivíduos de tremoço acontece principalmente com a ajuda de vetores bióticos, principalmente as abelhas. KAZIMIERSKA e KAZIMIERSKI (2002) afirmam que flores de tremoço não produzem néctar, mas o tremoço é uma planta entomófila que atrai insetos por flores coloridas e pólen nutritivo com grande concentração proteica. No entanto, este é contrariado pelo fato

de que apicultores da Austrália usaram abelhas para coletar o néctar das *L. angustifolius* e *L. albus* cultivadas (LANGRIDGE e GOODMAN, 1977; LANGRIDGE e GOODMAN, 1985).

O principal polinizador do tremoço é a abelha exótica *Apis mellifera* L. 1758 (Hymenoptera: Apidae), responsável pela polinização de uma gama de espécies agrícolas ou não agrícolas, no Brasil. As abelhas exóticas representam 83% dos polinizadores (MANNING, 1995). Outros polinizadores do gênero *Lupinus* também incluem abelhas nativas da Austrália, sendo elas: *Exoneura (Exoneura) bicolor* (Smith, 1854), *Leioproctus* sp. (Smith, 1853), *Lasioglossum* sp. (Curtis, 1833), e *Bombus terrestris* L. (Linnaeus, 1758) (STOUT et al., 2002).

### 2.3 Coleta de dados

A formação de frutos e de sementes viáveis e abortadas, em (n = 32) indivíduos de *Lupinus albus* L., foi estimada ao longo do período de frutificação da espécie. Após a formação dos frutos, foram contabilizadas as quantidades de frutos que se desenvolveram. Em cada fruto quantificou-se o número total de sementes viáveis (número de óvulos que se desenvolveram) e o total de sementes abortadas (número de óvulos inviáveis). As sementes foram identificadas como inviáveis por apresentarem tamanho inferior e/ou coloração diferenciada das demais sementes (TEIXEIRA et al., 2006; PALERMO e AGOSTINI, 2010; RICCI, 2017).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nosso estudo realizou a contagem de botões florais, flores abertas, frutos formados, cicatrizes, número total de sementes viáveis nos frutos e o número total de sementes abortadas nos frutos, de 32 indivíduos de *L. albus*. Após o levantamento desses valores puderam ser calculadas as taxas de frutificação da espécie, a porcentagem de formação de sementes viáveis e de sementes abortadas (Cf. Tabela 1).

Indivíduo	nº de botões	Nº de flores abertas	Nº de frutos	nº de cicatrizes	nº total de flores	Nº total (sementes viáveis)	Nº total (sementes abortadas)	Taxa de frutificação dos indivíduos
1	0	16	4	0	20	10	0	20%
2	0	23	9	0	32	57	4	28%
3	0	20	3	0	23	20	0	13%
4	0	24	2	0	26	10	0	8%
5	0	18	2	0	20	10	0	10%
6	0	34	8	0	42	85	1	19%
7	0	29	7	0	36	58	3	19%
8	0	35	7	0	42	38	0	17%
9	0	27	8	0	35	44	3	23%
10	0	27	9	0	36	42	1	25%
11	0	31	7	0	38	21	0	18%
12	0	26	7	0	33	17	0	21%
13	0	27	5	0	32	14	0	16%
14	0	15	4	0	19	7	2	21%
15	0	25	6	0	31	15	0	19%
16	10	17	7	0	34	31	1	21%
17	0	10	5	6	21	11	0	24%
18	2	22	5	6	35	19	1	14%
19	6	26	3	0	35	12	0	9%
20	13	5	0	0	18	5	0	0%
21	0	29	5	0	34	16	0	15%
22	0	15	0	0	15	5	0	0%
23	3	12	2	0	17	5	1	12%
24	9	3	5	0	17	5	1	29%
25	0	6	0	0	6	4	0	0%
26	0	18	6	0	24	3	0	25%
27	8	14	5	0	27	16	1	19%
28	6	9	0	0	15	14	0	0%
29	16	17	0	0	33	7	0	0%
30	12	28	11	0	51	22	1	22%
31	0	21	10	0	31	42	0	32%
32	0	18	2	0	20	37	1	10%
<b>Total</b>	<b>85</b>	<b>647</b>	<b>154</b>	<b>12</b>	<b>898</b>	<b>702</b>	<b>21</b>	
Taxa de frutificação da espécie:								17%
% de sementes viáveis:								97%
% de sementes abortadas:								3%
Número total de sementes:								723

Tabela 1. Taxa de frutificação, formação e aborto de sementes de tremço-branco (*Lupinus albus* L.), com base no levantamento realizado na UFSCar *Campus* de Araras - SP.

O número de frutos formados nos indivíduos foi menor do que a quantidade de flores produzidas em cada indivíduo. É possível afirmar também que a quantidade total de frutos formados também foi inferior à quantidade total de flores produzidas (154 frutos < 898 flores). Quanto à taxa de frutificação da espécie ( $n^\circ$  de frutos total /  $n^\circ$  de flores total), houve uma porcentagem de 17% de frutificação nos 32 indivíduos analisados. Já, a porcentagem de sementes viáveis ( $n^\circ$  de sementes viáveis /  $n^\circ$  de sementes total) foi encontrado um valor muito significativo, já que 97% das sementes formadas nos frutos dos 32 indivíduos foram viáveis (702 sementes). Em contrapartida, a porcentagem de sementes abortadas nos frutos dos indivíduos analisados ( $n^\circ$  de sementes abortadas /  $n^\circ$  de sementes total) resultou em uma porcentagem de 3% (21 sementes). Em relação à taxa de frutificação dos indivíduos de *L. albus* analisados em campo ( $n^\circ$  de frutos do indivíduo /  $n^\circ$  total de flores do indivíduo) pode ser verificado que os resultados obtidos variaram entre 8% (indivíduo 4) e 32% (indivíduo 31). Houve ainda uma taxa de frutificação de 0%, conforme observado no indivíduo 22.

Outrossim, realizou-se o levantamento dos horários em que houve maior visitação de abelhas nas flores dos indivíduos de *L. albus*. A faixa de horário das observações ocorreu entre as 14:00h e as 18:00h durante três semanas consecutivas (26/08/2013, 02/09/2013 e 09/09/2013). Portanto, totalizaram-se 12 horas de observação dos polinizadores na espécie estudada. Abaixo, podem ser constatados os dados referentes a essas observações (Cf. Tabela 2).

Datas/Horários	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h	18:00h
26/08/2013		X	X	X	
02/09/2013	X		X	X	
09/09/2013		X	X	X	X

Tabela 2. Horários de visitas florais pelos polinizadores de tremço-branco (*Lupinus albus* L.)

Com base nos dados obtidos, pode ser visto que o horário de visitação pelos polinizadores ocorreu entre as 14:00h e as 15:00h, somente em uma semana, o que perfaz apenas 6,6% do total de observações realizadas. O horário compreendido entre as 15:00h e as 16:00h ocorreu em duas semanas, o que resulta em 13,3% do total de observações realizadas. Entre as 16:00h e as 17:00h ocorreu nas três semanas, ou seja, 20% do total de observações, assim como a faixa entre as 17:00h e as 18:00h. Após as 18:00h foi constatada a presença dos polinizadores em apenas uma semana, o que representa 6,6% do total de observações.

Nossos resultados encontraram frutificação consideravelmente baixa (17% de frutificação dos 32 indivíduos analisados). Também identificamos uma taxa de aborto das sementes bastante baixa (3%). Nas angiospermas a quantidade de frutos viáveis, geralmente, é menor que o número de flores produzidas pelo indivíduo. Possíveis

explicações para o observado podem estar relacionadas ao processo de fertilização e ao aborto durante a embriogênese (BAWA e BUCKLEY, 1989). As Leguminosae apresentam ainda uma variação na taxa de frutificação (formação de frutos) entre alguns gêneros e espécies, que podem apresentar altas taxas de aborto, como por exemplo, *Pisum sativum* L. (BRIGGS et al., 1987), *Lotus corniculatus* (O'DONOUGHUELL e GRANT, 1988; RIM et al., 1990), *Dahlstedtia* (TEIXEIRA et al., 2006), *Mucuna* (AGOSTINI, 2008) e *Crotalaria juncea* L. (RICCI, 2017). Essa taxa pode representar um indício sobre o sucesso reprodutivo dessas espécies.

Uma vez que foram encontradas diferenças significativas em relação à posição de formação dos frutos numa inflorescência em *L. albus*, a hipótese que relaciona o aborto por frutos com a ordem de abertura floral na inflorescência (STEPHENSON, 1981) é a mais provável. Esta hipótese prevê que, no caso da abertura acrópeta (da base para o ápice da inflorescência), que se verifica na maior parte das Leguminosae, as flores situadas na base seriam polinizadas em primeiro lugar e os frutos teriam mais possibilidades de se desenvolver. Desta forma, eles adquiririam os recursos disponíveis antes dos frutos com desenvolvimento mais tardio (LAUGHLIN et al., 2020).

Em relação ao aborto de frutos, a seleção de acordo com o custo de frutificação e maturação das sementes parece ser a hipótese mais provável, em detrimento do elevado número de frutos abortados no início do desenvolvimento, antes do aumento substancial da massa de frutos e sementes. Segundo os autores Nakamura e Stanton (1987), os frutos ou sementes abortadas poderiam conter pouco dos recursos maternos alocados para o sucesso reprodutivo. Isso nos faz pensar que os custos dos frutos e sementes são altos em *L. albus*: as sementes e vagens são grandes, as vagens comportam um grande número de sementes, chegando a 12 sementes (N.A.P.R., 2013, obs. pess.), os cotilédones são bem desenvolvidos e fotossintéticos e a germinação das sementes exige que o embrião rompa o tegumento (QIU et al., 2022).

Além disso, como resultado das taxas de óvulos e aborto de sementes, rejeitamos a hipótese de que frutos com mais sementes seriam selecionados em detrimento de outros (COOKSLEY, 2022). Além disso, o aborto de sementes ocorreu de forma aleatória em *L. albus*. O padrão observado em *L. albus* não pode ser explicado pela vantagem na distância de dispersão de sementes, uma vez que essa espécie possui frutos indeiscentes (RÜGER et al., 2018; PAGEL et al., 2020). Não encontramos animais dispersando sementes durante as observações de campo, nem frutos maduros caídos no chão. Outro ponto a ser mencionado é a predação como um fator envolvido no aborto de frutos (ARISTA et al., 1999). Embora tenham sido observadas abelhas sem ferrão do gênero *Trigona* (Jurine, 1807) (Meliponinae) ao redor do cálice floral e da quilha, com algumas partes florais perfuradas, essas lesões não impediram o forrageamento de outras espécies de abelhas, como *A. mellifera* e *Xylocopa frontalis* (Olivier, 1789) (Apidae), nem o desenvolvimento dos frutos. Salientamos também que não foram observadas lesões nos frutos.

Abortos aleatórios relacionados à posição de desenvolvimento do óvulo e da semente ocorreram aleatoriamente em *L. albus*, sendo que a posição apical apresentou maior desenvolvimento de óvulos em sementes (n = 410). Os óvulos apicais (posição estigmática) de *L. albus* não definiram maior chance de desenvolvimento de sementes do que as demais posições, apesar de terem sido fertilizados primeiro. Além disso, a viabilidade do saco embrionário em Leguminosae tende a ser alta (TEIXEIRA et al., 2006), pois as flores de *L. albus* podem durar dois ou mais dias na planta. Assim, óvulos posicionados basalmente também têm chance de serem fecundados, e possuem a mesma probabilidade de desenvolvimento que óvulos de outras posições. Nosso resultado diferiu dos resultados encontrados por Horovitz et al. (1976) para espécies analisadas do gênero *Medicago* L. (Leguminosae). Segundo esses autores, os óvulos basais, que estão mais próximos da nutrição materna, têm maior probabilidade de desenvolvimento completo.

Alternativamente, as altas taxas de aborto que ocorrem aleatoriamente em *L. albus* poderiam ser explicadas pela hipótese de (a) recursos limitados provenientes da planta-mãe; (b) conflitos genéticos entre endosperma, tecidos maternos e embriões dentro de um fruto (seleção de parentesco) e/ou (c) alta depressão endogâmica. Na proposição de Queller (1983) sobre seleção de parentesco, o conflito entre endosperma, tecidos maternos e embriões ocorre porque o tecido materno e o endosperma (dupla fertilização) compartilham mais genes com a planta materna, controlando a quantidade de recursos fornecidos para o desenvolvimento embrionário (YANG et al., 2018; KATTGE et al., 2020; KINLOCK, 2021). A seleção natural favoreceu o controle materno sobre os recursos para maximizar a sua aptidão, restringindo os recursos a embriões individuais e abortando certos embriões. Este controle é possível porque os tecidos maternos (tegumentos) controlam os recursos atribuídos a cada embrião (KORBECKA et al., 2002).

Esclarecemos que durante as observações de campo, ao longo de três semanas, não foi visto nenhum outro visitante floral ao redor das inflorescências de *L. albus*. As abelhas foram as únicas visitantes florais visualizadas. Elas pousavam nas flores e com a sua massa corporal empurravam as pétalas da corola conhecidas como quilha, que armazenam em seu interior as estruturas reprodutivas da flor. Após esse processo, os grãos de pólen das anteras eram liberados e aderiam-se às cerdas das pernas medianas e posteriores das abelhas. Posteriormente, elas visitavam outras flores e levavam consigo os grãos de pólen.

Outro ponto a ser mencionado é que a germinação do pólen nessa espécie pode ser afetada pela temperatura. Segundo Kazimierska e Kazimierski (2002), temperaturas inferiores a 12°C e acima de 36°C têm um efeito negativo sobre esse processo. As condições de temperatura antes da floração têm uma grande influência sobre o acúmulo de matéria seca em inflorescências, durante os primeiros 24 dias após o florescimento (DAF), e as condições de temperatura após a floração também têm um efeito importante na final produtividade de grãos (DOWNES e GLADSTONE, 1984). Sabe-se que, a temperatura

durante a maturação das sementes pode até mesmo afetar o desenvolvimento do embrião e, portanto, afetar o desempenho da safra seguinte, como mostrado na espécie *L. albus* (CLAPHAM et al., 2000).

## 4 | CONCLUSÕES

Concluimos que o número de frutos desenvolvidos nas inflorescências foi inferior ao número de flores produzidas, pois existem fatores intrínsecos (e.g. genéticos e reprodutivos), que levam ao não desenvolvimento do fruto. Outra conclusão importante é que as abelhas foram as únicas visitantes florais visualizadas. Elas foram eficazes na transferência polínica de um indivíduo a outro (polinização cruzada), resultando no sucesso reprodutivo de *L. albus*. Acreditamos que mais estudos com foco em genética, embriologia, taxas demográficas e comunidade de plantas com redes de interação em vários estágios de vida seriam importantes para avaliar a limitação dos recursos maternos, o comportamento do polinizador, a dinâmica do pólen e a carga genética devido a genes letais recessivos está agindo em *L. albus*.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINI, K. **Ecologia da polinização de *Mucuna* sp. nov (Fabaceae) no litoral norte de São Paulo, Brasil.** Dissertação. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004, 97 p.

AGOSTINI, K. **Ecologia da reprodução de duas espécies de *Mucuna* (Leguminosae, Faboideae, Phaseoleae) - embriologia, citogenética e genética populacional - do litoral norte de São Paulo.** Tese. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2008, 170 p.

ARISTA, M.; ORTIZ, P. L.; TALAVERA, S. **Apical pattern of fruit production in the racemes of *Ceratonia siliqua* (Leguminosae: Caesalpinioideae): role of pollinators.** American Journal of Botany, v. 86, pp. 1708-1716, 1999.

AZANI, N.; BABINEAU, M.; BAILEY, C. D.; BANKS, H.; BARBOSA, A. R.; PINTO, R. B.; ... CANDIDO, E. **A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny: The Legume Phylogeny Working Group (LPWG).** Taxon, v. 66, pp. 44-77, 2017.

BAWA, K. S.; BUCKLEY, D. P. **Seed: ovule ratios, selective seed abortion, and mating systems in Leguminosae.** Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden, v. 29, pp. 243-262, 1989.

BOGDZIEWICZ, M.; ESPELTA, J. M.; MUÑOZ, A.; ASPARICIO, J. M.; BONAL, R. **Effectiveness of predator satiation in masting oaks is negatively affected by conspecific density.** Oecologia, v. 186, pp. 983-993, 2018.

BRIGGS, C. L.; WESTOBY, M.; SELKIRK, P. M. OLDFIELD, R. J. **Embryology of early abortion due to limited maternal resources in *Pisum sativum* L.** Annals of Botany, v. 59, pp. 611-619, 1987.

CLAPHAM, W. M.; WILLOTT, J. B.; FEDDERS, J. M. **Effects of Seed Maturation Temperature on Seed Yield Characteristics and Subsequent Generations of Lupin.** *Crop Science*, v. 40, pp. 1313-1317, 2000.

CONTERATO, I. F. **Estudos citogenéticos em espécies Americanas de *Lupinus L.*: Número cromossômico e comportamento meiótico.** Dissertação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004, 122 p.

COOKSLEY, H.; WALTER, H. E.; NEU, A.; NOTTEBROCK, H.; SCHMID, B.; TREURNICHT, M.; PAGEL, J.; SCHLEUNING, M.; SCHURR, F. M. **Data for: Effects of biotic interactions on plant fecundity depend on spatial and functional structure of communities and time since disturbance.** Dryad Digital Repository, 2022.

DOWNES, R.W.; GLADSTONES, J. S. **Physiology of growth and seed production in *Lupinus angustifolius L.* II. Effect os temperature before and after flowering.** *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 35, pp. 501-509, 1984.

GARDARIN, A.; PLANTEGENEST, M.; BISCHOFF, A.; VALANTIN-MORISON, M. **Understanding plant–arthropod interactions in multitrophic communities to improve conservation biological control: Useful traits and metrics.** *Journal of Pest Science*, v. 91, pp. 943-955, 2018.

GIBBS, P. E.; LEWIS, G. P.; LUGHADHA, E. N. **Fruit-set induced changes in the sex of flowers in *Caesalpinia calycina* (Leguminosae).** *Plant Biology*, v. 1, n. 6, pp. 665-669, 1999.

GIBBS, P. E.; SASSAKI, R. **Reproductive biology of *Dalbergia miscolobium* Benth. (Leguminosae - Papilionoideae) in SE Brazil: the effects of pistillate sorting on fruit-set.** *Annals of Botany*, v. 81, n. 6, pp. 735-740, 1998.

GLOBO RURAL. **TREMOÇO.** 2009. Disponível em: <<http://globoruraltv.globo.com/GRural/0,27062,LTPO-4373-I-L-T,00.html>>. Acesso em: 18 de novembro de 2013.

HAMBLIN, J.; BARTON, J.; SANDERS, M.; HIGGINS, T. J. V. **Factors affecting the potential for gene flow from transgenic cops of *Lupinus angustifolius L.* in Western Australia.** *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 56, pp. 613-618, 2005.

HOROVITZ, A.; MEIRI, L.; BEILES, A. **Effects of ovule positions in fabaceous flowers on set and outcrossing rates.** *Botanical Gazette*, v. 137, pp. 250-254, 1976.

HUYGHE, C. **White lupin (*Lupinus albus L.*).** *Field Crops Research*, v. 53, pp. 147-160, 1997.

JUDD, W. C.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGGS, E. A.; STEVENS, P. F. **Plant systematic – A phylogenetic approach.** Sinauer Associates Inc.: USA, 1999.

KATTGE, J.; BÖNISCH, G.; DÍAZ, S.; LAVOREL, S.; PRENTICE, I. C.; LEADLEY, P.; TAUTENHAHN, S.; WERNER, G. D. A.; AAKALA, T.; ABEDI, M.; ACOSTA, A. T. R.; ADAMIDIS, G. C.; ADAMSON, K.; AIBA, M.; ALBERT, C. H.; ALCÁNTARA, J. M.; ALCÁZAR, C. C.; ALEIXO, I.; ALI, H.; ... WIRTH, C. **TRY plant trait database – enhanced coverage and open access.** *Global Change Biology*, v. 26, pp. 119-188, 2020.

KAZIMIERSKA, E. M.; KAZIMIERSKI, T. Capítulo 8: Biologia da floração, embrionário e peculiaridades caryological. In: KURLOVICH, B. S. (eds.). **Tremoços (Geografia, classificação, recursos genéticos e melhoramento)**. OY Internacional North Express: São Petersburgo, Rússia/Pellosniemi, Finlândia, pp. 205-239, 2002.

KINLOCK, N. L. **Uncovering structural features that underlie coexistence in an invaded woody plant community with interaction networks at multiple life stages**. *Journal of Ecology*, v. 109, pp. 384-398, 2021.

KITTELSON, P. M.; MARON, J. L. **Outcrossing rate and inbreeding depression in the perennial yellow bush lupine, *Lupinus arboreus* (Fabaceae)**. *American Journal of Botany*, v. 87, pp. 652-660, 2000.

KORBECKA, G.; KLINKHAMER, P. G. L.; VRIELING, K. **Selective embryo abortion hypothesis revisited – a molecular approach**. *Plant Biology*, v. 4, pp. 298-310, 2002.

KURLOVICH, B. S. Chapter 5: The history of lupin domestication. In: KURLOVICH, B. S. (eds.). ***Lupinus* (geography, classification, genetic resources and breeding)**. OY Internacional North Express: São Petersburgo, Rússia/Pellosniemi, Finlândia, pp. 147-164, 2002.

LAMONICA, D.; PAGEL, J.; VALDÉS-CORRECHER, E.; BERT, D.; HAMPE, A.; SCHURR, F. M. **Tree potential growth varies more than competition among spontaneously established forest stands of pedunculate oak (*Quercus robur*)**. *Annals of Forest Science*, v. 77, pp. 1-18, 2020.

LANGRIDGE, D. F.; GOODMAN, R. D. **Abelha polinização de tremoço (*Lupinus albus* cv. Hamburgo)**. *Australian Journal of Experimental Agricultura*, v. 25, pp. 220-223, 1985.

LANGRIDGE, D. F.; GOODMAN, R. D. **Um estudo sobre a polinização de tremoço (*Lupinus angustifolius*)**. *Australian Journal of Agricultura e Pecuária*, v. 17, pp. 319-322, 1977.

LAUGHLIN, D. C.; GREMER, J. R.; ADLER, P. B.; MITCHELL, R. M.; MOORE, M. M. **The net effect of functional traits on fitness**. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 35, pp. 1037-1047, 2020.

LOSAPPIO, G.; MONTESINOS-NAVARRO, A.; SAIZ, H. **Perspectives for ecological networks in plant ecology**. *Plant Ecology and Diversity*, v. 12, pp. 87-102, 2019.

MANNING, R. **Polinização das abelhas: Dados técnicos para o potencial de polinização das abelhas lavouras e pomares na Austrália Ocidental**. Relatório nº 4298. Departamento de Agricultura e Alimentos: Western Australia, 1995.

NAKAMURA, R. R.; STANTON, M. L. **Cryptic seed abortion and the estimation of ovule fertilization**. *Canadian Journal of Botany*, v. 65, pp. 2463-2465, 1987.

NOTTEBROCK, H.; SCHMID, B.; MAYER, K.; DEVAUX, C.; ESLER, K. J.; BÖHNING-GAESE, K.; SCHLEUNING, M.; PAGEL, J.; SCHURR, F. M. **Sugar landscapes and pollinator-mediated interactions in plant communities**. *Ecography*, v. 40, pp. 1129-1138, 2017.

O'DONOUGHUELL, L. S.; GRANT, W. F. **New sources of indehiscence for birds for trefoil (*Lotus corniculatus*, Fabaceae) produced by interspecific hybridization**. *Genome*, v. 30, pp. 459-468, 1988.

PAGEL, J.; TREURNICHT, M.; BOND, W. J.; KRAAIJ, T.; NOTTEBROCK, H.; SCHUTTE-VLOK, A.; TONNABEL, J.; ESLER, K. J.; SCHURR, F. M. **Mismatches between demographic niches and geographic distributions are strongest in poorly dispersed and highly persistent plant species.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 117, pp. 3663-3669, 2020.

PALERMO B. R. Z.; AGOSTINI, K. **Componentes de fecundidade em *Erythrina speciosa* (Leguminosae, Faboideae).** Bioikos, v. 24, pp. 13-19, 2010.

QIU, T.; ANDRUS, R.; ARAVENA, M. C.; ASCOLI, D.; BERGERON, Y.; BERRETTI, R.; BERVEILLER, D.; BOGDZIEWICZ, M.; BOIVIN, T.; BONAL, R.; BRAGG, D. C.; CAIGNARD, T.; CALAMA, R.; CAMARERO, J. J.; CHANG-YANG, C. H.; CLEAVITT, N. L.; COURBAUD, B.; COURBET, F.; CURT, T.; ... CLARK, J. S. **Limits to reproduction and seed size-number trade-offs that shape forest dominance and future recovery.** Nature Communications, v. 13, pp. 1-12, 2022.

QUELLER, D. C. Kin selection and conflict in seed maturation. Journal of Theoretical Biology, v. 100, pp. 153-172, 1983.

RICCI, N. A. P. **A influência da morfologia e da biologia floral no sucesso reprodutivo do adubo verde *Crotalaria juncea* L. (Leguminosae, Papilionoideae).** Dissertação. Araras: Universidade Federal de São Carlos, 2017, 75 p.

RIM, Y. W.; BEUSSELINCK, P. R.; MCGRAN, R. L.; SOMERS, D. A. **Megagametophyte development in *Lotus corniculatus*, *L. conimbricensis* and their protoplast fusion hybrid.** American Journal of Botany, v. 77, pp. 1084-1094, 1990.

RÜGER, N.; COMITA, L. S.; CONDIT, R.; PURVES, D.; ROSENBAUM, B.; VISSER, M. D.; WRIGHT, S. J.; WIRTH, C. **Beyond the fast-slow continuum: Demographic dimensions structuring a tropical tree community.** Ecology Letters, v. 21, pp. 1075-1084, 2018.

SANTOS, J.F.; AGOSTINI, K. & NOCELLI, R.C.F. 2013. Fenologia da floração de espécies lenhosas em áreas em processo de restauração em Araras, São Paulo. **Bioikos**, 27 (1): 3-12.

STEPHENSON, A. G. **Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions.** Annual Review of Ecology and Systematics, v. 12, pp. 253-279, 1981.

STOUT, J. C.; KELLS, A. R.; GOULSON, D. **Pollination of the invasive exotic shrub *Lupinus arboreus* (Fabaceae) by introducing bees in Tasmania.** Biological Conservation, v. 106, pp. 425-434, 2002.

TEIXEIRA, S. P.; PEREIRA, R. A. S.; RANGA, N. T. **Components of fecundity and abortion in a tropical tree, *Dahlstedtia pentaphylla* (Leguminosae).** Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 46, pp. 905-13, 2006.

YANG, J.; CAO, M.; SWENSON, N. G. **Why functional traits do not predict tree demographic rates.** Trends in Ecology and Evolution, v. 33, pp. 326-336, 2018.

ZWOLAK, R.; CELEBIAS, P.; BOGDZIEWICZ, M. **Global patterns in the predator satiation effect of masting: A meta-analysis.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 119, pp. e2105655119, 2022.