

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA CENTRO DE
CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**INTERAÇÕES ENTRE FENOLOGIA FLORAL,
COMPORTAMENTO DE POLINIZADORES E
PRODUTIVIDADE DO GERGELIM NO NORDESTE DO
BRASIL**

Tatiane Oliveira dos Santos

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
JULHO – 2025**

INTERAÇÕES ENTRE FENOLOGIA FLORAL, COMPORTAMENTO DE POLINIZADORES E PRODUTIVIDADE DO GERGELIM NO NORDESTE DO BRASIL

Tatiane Oliveira dos Santos
Bacharela em Agronomia, UFRB, 2022

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito final para obtenção do Título de Mestra em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Agricultura Tropical).

Orientador: Prof. Dr. Emerson Dechechi Chambó
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alfredo Lopes de Carvalho

**CRUZ DAS ALMAS / BAHIA
JULHO – 2025**

FICHA CATALOGRÁFICA

S237i

Santos, Tatiane Oliveira dos.

Interações entre fenologia floral, comportamento de polinizadores e produtividade do gergelim no Nordeste do Brasil / Tatiane Oliveira dos Santos. – Cruz das Almas, BA, 2025.

70f.; il.

(Dissertação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Dechechi Chambó.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alfredo Lopes de Carvalho.

1.Gergelim – Plantas oleaginosas – Cultivo.
2.Polinização – Fertilização de plantas. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.85

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**INTERAÇÕES ENTRE FENOLOGIA FLORAL, COMPORTAMENTO
DE POLINIZADORES E PRODUTIVIDADE DO GERGELIM NO
NORDESTE DO BRASIL**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de

Tatiane Oliveira dos Santos

Aprovada em 29 de Julho de 2025

Documento assinado digitalmente



EMERSON DECHECHI CHAMBO
Data: 03/09/2025 07:40:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Emerson Dechechi Chambó
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Orientador

Documento assinado digitalmente



MARIA ANGELICA PEREIRA DE CARVALHO COSTA
Data: 28/08/2025 09:43:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Maria Angélica Pereira de Carvalho Costa
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinadora Interna

Documento assinado digitalmente



VAGNER DE ALENCAR ARNAUT DE TOLEDO
Data: 27/08/2025 13:39:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo
Universidade Estadual de Maringá - UEM
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde, força e serenidade ao longo desta caminhada acadêmica.

A minha família, em especial a minha mãe, Lucidalva, *in memoriam*, a meu pai José Carlos e irmã Silvana, pelo amor incondicional, apoio em todos os momentos e por acreditarem nos meus sonhos mesmo quando eu mesma duvidei.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Emerson Dechechi Chambó e coorientador, Prof. Dr. Carlos Alfredo Lopes de Carvalho, pela paciência, dedicação, orientação e por compartilhar conhecimentos que foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo.

Aos amigos e ao grupo de Pesquisa em Polinização, que estiveram presentes nesta trajetória, pelos momentos de incentivo, companheirismo e apoio nos dias difíceis. Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, e à CAPES, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização desta pesquisa.

INTERAÇÕES ENTRE FENOLOGIA FLORAL, COMPORTAMENTO DE POLINIZADORES E PRODUTIVIDADE DO GERGELIM NO NORDESTE DO BRASIL

RESUMO GERAL

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma cultura tropical de grande importância econômica em diversos países, inclusive no Brasil, devido ao alto teor de óleo e ao elevado valor nutritivo de suas sementes. Embora seja predominantemente autógama, a morfologia floral, especialmente o posicionamento das anteras em relação ao estigma, favorece a ocorrência de polinização cruzada. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo investigar a relação entre a fenologia, a biologia floral, o comportamento de forrageamento e a polinização entomófila no gergelim, com o intuito de compreender como esses fatores influenciam a quantidade e a qualidade fisiológica das sementes. A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em Cruz das Almas, Bahia. Para a fenologia, 100 indivíduos foram avaliados quanto à emergência, altura da planta, diâmetro do colmo, número de flores, número de cápsulas e diâmetro das folhas. Na biologia floral, 60 flores de diferentes indivíduos foram analisadas em diferentes horários (6h; 10h; 14h e 16h) para observar o número de estames, o tamanho das estruturas florais, a receptividade do estigma e a viabilidade do pólen. O comportamento de forrageamento dos visitantes foi monitorado em 50 plantas, ao longo de cinco dias distintos. Foram considerados o número de flores abertas, o total de visitantes florais, o tempo de permanência e o comportamento de coleta. Para polinização entomófila, foram avaliados parâmetros como massa de mil grãos, rendimento de grãos, número de cápsulas e número de grãos por cápsulas e teste de germinação, para comparar tratamentos de polinização livre e restrita. Além disso, testes para exigências de polinização foram realizados para determinar a eficiência de diferentes métodos de polinização. Todas as análises foram realizadas no software R. Os resultados indicam que, mesmo sendo uma planta autógama, o gergelim apresenta características florais, como o tamanho e a posição dos estames, que favorecem a polinização cruzada por polinizadores bióticos. O estigma se mantém receptivo mesmo após a antese e o pólen, embora viável após a antese, apresenta redução na quantidade de grãos ao longo do dia. Abelhas da ordem Hymenoptera foram os únicos insetos visitantes florais no gergelim, o forrageamento ocorreu das 6h às 16h, com um pico de atividade entre 7h e 12h, quando há uma maior disponibilidade de pólen e néctar. Quanto aos parâmetros produtivos, a polinização livre aumentou significativamente o rendimento de grãos (497,78 kg/ha) em comparação com o tratamento restrito (387,28 kg/ha). Além disso, houve médias mais altas para número de frutos por planta e número de sementes por fruto nas condições de polinização livre. A germinação, o peso de mil sementes e o vigor não tiveram diferenças significativas entre os tratamentos, sugerindo que a ausência de polinizadores não prejudica a qualidade fisiológica das sementes. Testes de exigências mostraram diferenças significativas nas taxas de frutificação, colheita e abortos, com melhor desempenho na polinização livre, menor eficiência na autopolinização e geitonogamia e menor frutificação na cruzada. Este estudo contribui para o entendimento da biologia floral e reprodutiva do gergelim, e o papel crucial dos polinizadores na reprodução da planta.

Palavras-chave: Biologia floral, Oleaginosa, Pedaliáceas, Polinizadores

INTERACTIONS BETWEEN FLORAL PHENOLOGY, POLLINATOR BEHAVIOR AND SESAME YIELD IN NORTHEAST BRAZIL

GENERAL ABSTRACT

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is a tropical crop of significant economic importance in many countries, including Brazil, due to its high oil content and the nutritional value of its seeds. Although predominantly self-pollinated, the floral morphology, especially the position of the anthers relative to the stigma, facilitates cross-pollination. In this context, we investigated the relationships among phenology, floral biology, foraging behavior, and insect-mediated pollination in sesame to understand how these factors influence seed quantity and physiological quality. We conducted the study at the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, Bahia. For phenology, we evaluated 100 plants for emergence, plant height, stem diameter, number of flowers, number of capsules, and leaf diameter. For floral biology, we analyzed 60 flowers from different plants at four time points (6:00, 10:00, 14:00, and 16:00) to assess the number of stamens, size of floral structures, stigma receptivity, and pollen viability. We monitored the foraging behavior of floral visitors on 50 plants over five distinct days, recording the number of open flowers, total floral visitors, visit duration, and foraging behavior. To evaluate entomophilous pollination, we measured thousand-grain weight, grain yield, number of capsules, grains per capsule, and germination rate, comparing open-pollinated and restricted-pollination treatments. We also conducted tests to determine the efficiency of different pollination methods. All analyses were performed using R software. Our results indicate that, although sesame is self-pollinated, it presents floral traits, such as stamen size and position, that favor cross-pollination by biotic pollinators. The stigma remains receptive after anthesis, and pollen, although viable post-anthesis, shows a decrease in grain quantity throughout the day. Hymenopteran bees were the only floral visitors observed, and foraging activity occurred from 6:00 to 16:00, peaking between 7:00 and 12:00, when pollen and nectar availability was highest. Open pollination significantly increased seed yield (497.78 kg/ha) compared to the restricted-pollination treatment (387.28 kg/ha). Open-pollinated plants also produced more fruits per plant and more seeds per fruit. In contrast, germination rate, thousand-grain weight, and vigor did not differ significantly between treatments, suggesting that the absence of pollinators does not compromise seed physiological quality. Requirement tests showed significant differences in fruiting, harvest, and abortion rates, with better performance in free pollination, lower efficiency in self-pollination and geitonogamy, and lower fruiting in cross-pollination. This study contributes to the understanding of the floral and reproductive biology of sesame and the crucial role of pollinators in plant reproduction.

Keywords: Floral biology, Oilseed, Pedaliaceae, Pollinators

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Estatísticas descritivas da fenologia do gergelim (*S. indicum* L.)31

Tabela 2. Estatísticas descritivas da fenologia do florescimento do gergelim (*S. indicum*) em diferentes estádios.....31

Tabela 3. Coeficientes estimados para os efeitos fixos e aleatórios nas estruturas florais do gergelim (*S. indicum* L.).....33

Tabela 4. Estatísticas descritivas das estruturas florais e receptividade do estigma do gergelim (*S. indicum* L.) em diferentes estádios.....34

Tabela 5. Coeficientes estimados para os efeitos fixos e aleatórios para a taxa de visitas e de flores abertas em gergelim (*S. indicum*).....40

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Efeitos da polinização livre e restrita sobre os componentes de produção de gergelim (*S. indicum* L.), em Cruz das Almas, BA, 2024.....60

Tabela 2. Efeitos da polinização livre e restrita sobre a qualidade fisiológica das sementes de gergelim (*S. indicum* L.), em Cruz das Almas, BA, 2024.....62

Tabela 3. Efeitos da polinização livre e restrita sobre o desenvolvimento de plântulas de gergelim (*S. indicum* L.), em Cruz das Almas, BA, 2024.....65

Tabela 4. Taxas de frutificação, colheita e abortos (%) em plantas submetidas a diferentes testes de polinização, em Cruz das Almas, BA, 2024.....66

Tabela 5. Número de sementes e peso médio das sementes oriundas dos diferentes tratamentos de polinização em gergelim (*S. indicum* L.), em Cruz das Almas, BA, 2024.....66

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Características morfológicas do gergelim (*S. indicum* L.): desenvolvimento floral (A), nectários extraflorais (B) e corte longitudinal do ovário 30
- Figura 2.** Flores de gergelim (*S. indicum* L.) em diferentes estádios fenológicos: (A) flor em pré-antese, (B) flor em antese e (C) flor em pós-antese.....30
- Figura 3.** Plantas de gergelim (*S. indicum*) em diferentes fases de desenvolvimento: Emergência (A); Primeiros botões florais (B); Primeiras flores abertas (C); Primeiras cápsulas formadas (D); Pleno florescimento (E) e Últimas flores visíveis (F).....32
- Figura 4.** Efeito da hora do dia nos modelos ajustados para comprimento do pistilo, estames curtos e longos (A), cálice e corola (B) e área foliar (C) em gergelim (*S. indicum* L.).....35
- Figura 5.** Corte longitudinal da flor do gergelim (*S. indicum* L.), ilustrando a disposição dos estames e do pistilo nas diferentes fases de desenvolvimento floral: botão floral (A), flor na antese (B) e flor na pós-antese (C).....37
- Figura 6.** Grãos de pólen corados com carmim acético (objetiva 4x) e anteras em diferentes estádios fenológicos. (A) Antera e grão de pólen em pré-antese; (B) Antera e grão de pólen durante a antese; (C) Antera e grão de pólen na pós-antese.....38
- Figura 7.** Pistilos em reação com peróxido de hidrogênio. **A** - Estigma na pré-antese; **B** - Estigma na antese; **C** - Estigma na pós-antese.....39
- Figura 8.** Valores preditos para o número de visitas totais (vt), abelhas nativas (an), abelhas africanizadas (aa), flores abertas por planta (nfa), número de flores visitadas por abelhas africanizadas em 1 min (fva).....42
- Figura 9.** Visitantes florais na flor de gergelim. (A, B, E) Abelhas nativas; (D, F) Abelhas africanizadas; (C, G, H) Abelhas solitárias.....44

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Gaiolas de polinização montadas em campo.....57
- Figura 2.** Polinização restrita com saco de papel (A), Polinização livre, marcada com fita (B).....58
- Figura 3.** Polinização cruzada manual (A), Autopolinização manual (geitonogamia) (B).....59
- Figura 4.** Teste de germinação, foto das sementes germinadas 1ª contagem e contagem final, parcela aberta (A) parcela restringida (B).....63

Sumário

1.0	INTRODUÇÃO GERAL	9
2.0	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Importância Econômica	11
2.2	Descrição botânica e aspectos agrônomicos	12
2.3	Biologia Reprodutiva	13
2.4	Visitantes Florais	14
3.0	REFERÊNCIAS	17
	CAPÍTULO 1 - Fenologia floral, biologia floral e comportamento de forrageamento em gergelim (<i>Sesamum indicum</i> L.)	21
	RESUMO	22
	ABSTRACT	23
1.0	INTRODUÇÃO	24
2.0	MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1	Fenologia e biologia floral.....	26
2.2	Teste histoquímico	27
2.3	Receptividade do estigma	27
2.4	Visitantes florais	28
2.5	Procedimentos estatísticos.....	28
3.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1	Fenologia e biologia floral.....	29
3.2	Teste histoquímico	37
3.3	Receptividade do estigma	38
3.4	Visitantes florais	39
4.0	CONCLUSÃO	44
5.0	REFERÊNCIAS	44
	CAPÍTULO 2 - Importância da polinização biótica no rendimento e qualidade de sementes de gergelim (<i>Sesamum indicum</i> L.) no Nordeste do Brasil	50
	RESUMO	51
	ABSTRACT	52
1.0	INTRODUÇÃO	53
2.0	MATERIAL E MÉTODOS	55
2.1	Experimento 1 - Polinização livre e restrita	56
2.2	Experimento 2 – Requerimentos de polinização	57
2.3	Análise estatística	59
3.0	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
3.1	Experimento 1	59
3.2	Experimento 2	65
4.0	CONCLUSÃO	67
5.0	REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO GERAL

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta anual e pertencente à família Pedaliaceae. É uma cultura antiga, cultivada há mais de 7.500 anos principalmente nas regiões da Ásia e Continente Africano (Baraki *et al.*, 2020), suas sementes são apreciadas por suas propriedades nutricionais e medicinais (Rao *et al.*, 2022). Existem evidências de que o óleo de gergelim foi um dos primeiros óleos consumido pelo ser humano, sendo chamado de "Rainha das oleaginosas", um dos motivos para este apelido foi por seu óleo não apresentar ranço característico de outras oleaginosas, no entanto, a cultura ainda é considerada órfã, uma vez que a planta recebe pouca atenção em termos de pesquisa (Yadav *et al.*, 2022).

Ao longo dos anos, o gergelim se desenvolveu e, posteriormente, tornou-se uma cultura comercial significativa, com países como Índia, Sudão, China, Mianmar, Tanzânia e Nigéria destacando-se como grandes produtores (Arriel *et al.*, 2022). Com a crescente preocupação com alimentos saudáveis, a produção de sementes de gergelim se tornou cobiçada, levando a desencadear pesquisas em programas de melhoramento visando um maior rendimento e resistência (Salton; Hermani; Fontes, 1998).

No Nordeste brasileiro, a produção de gergelim foi impulsionada a partir da década de 1970, com o objetivo de reduzir a sazonalidade produtiva e a subutilização das indústrias de óleo na região, que operavam com apenas cerca de 59% de sua capacidade (Arrial *et al.*, 2009). O semiárido nordestino se destaca nesse contexto por oferecer condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo da cultura, configurando-se como uma alternativa economicamente viável. Segundo Cruz *et al.* (2019), o gergelim é de fácil cultivo e apresenta alta tolerância à escassez hídrica, o que o torna uma das opções mais adequadas para os produtores da região.

Além do Nordeste, a cultura também apresenta relevância na região Centro-Sul do Brasil, onde sua produção já era significativa desde a década de 1950. A ampla capacidade de adaptação da planta a diferentes condições ambientais evidencia não apenas sua rusticidade, mas também sua importância estratégica em diversas regiões do país (Beltrão; Freire, 1986).

No ano de 2021, os três maiores produtores de gergelim foram o Sudão, a Índia e a República Unida da Tanzânia, com volumes de produção de 1.119.026,04,

817.000 e 700.000 toneladas, respectivamente. Enquanto isso, o Brasil é um produtor mais modesto, registrando uma produção de 62.000 toneladas por hectare no mesmo ano. É um número um pouco baixo em comparação com 96.000 toneladas por hectare no ano de 2009 (FAO, 2021).

O cultivo de gergelim ocorre em vários estados brasileiros: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Goiás, Mato Grosso, Pará, Tocantins e Rondônia (Freitas *et al.*, 2020). O país tem uma área de cultivo de mais de 300 mil hectares em 2023 e 100 mil hectares estão localizados no município de Canarana no Mato Grosso, destacando-se como o principal produtor (Miranda, 2023).

A polinização é um processo importantíssimo na produção de sementes de todas as plantas com sementes, pois resulta em descendentes geneticamente diversos, sendo fundamental para a perpetuação das espécies (Dafni; Kevan; Husband, 2005). A relação entre plantas e polinizadores é um importante fator para o aumento da produtividade de diversas plantas cultivadas, pois já é conhecido que os insetos ao visitarem as flores são capazes de realizar a polinização cruzada de várias espécies de plantas (Pando *et al.*, 2020). As abelhas, especialmente *Apis mellifera* Linnaeus, (1758), são amplamente utilizadas para aumentar a produtividade de diversas culturas, sendo consideradas polinizadoras eficientes devido à sua dependência dos recursos fornecidos pelas plantas. No entanto, não são os únicos insetos capazes de desempenhar esse papel (Barcala; Palottini; Farina, 2019).

O gergelim é considerada por muitos autores uma planta de polinização mista, sendo capaz de produzir frutos por autopolinização ou por polinização cruzada (Delaplane *et al.*, 2013; Pando *et al.*, 2020; Layek *et al.*, 2024). A morfologia floral do gergelim favorece a polinização, especialmente entomófila. O formato da corola, com uma das pétalas atuando como plataforma de pouso para os insetos, aliado à coloração atrativa e à oferta de recursos florais, configura um conjunto de estratégias evolutivas que facilitam a disseminação da espécie. Estudos indicam que o incremento da polinização por insetos pode elevar a produtividade da cultura em até 33% ou mais, quando comparado à produtividade resultante exclusivamente da autopolinização (Das; Jha, 2019).

Neste cenário, o objetivo deste estudo foi investigar a relação entre a fenologia, biologia floral, comportamento de forrageamento e polinização

entomófila no gergelim (*Sesamum indicum* L.), visando compreender como esses fatores influenciam a quantidade e qualidade fisiológica das sementes produzidas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância Econômica

A história do gergelim (*Sesamum indicum* L.) é caracterizada por vários aspectos que envolvem as condições ideais de cultivo até a sua importância econômica global. Por ser resistente à seca, o seu cultivo é mais propício entre as regiões tropicais e subtropicais, sendo sua produção realizada predominantemente por pequenos e médios agricultores (Beltrão *et al.*, 2010).

A oleaginosa é supervalorizada por suas características alimentares e medicinais, por possuírem sementes que são fonte de óleo nutritivo, proteínas e minerais. A utilização na medicina tradicional e culinária colaborou para sua expansão por regiões tropicais e subtropicais, incluindo África, América do Sul e partes da Europa, devido à sua adaptabilidade a climas quentes e solos diversos (Arriel *et al.*, 2022). Na Índia, entre as nove oleaginosas, o gergelim ocupa a terceira posição, ficando atrás apenas do amendoim e da mostarda (Das; Jha, 2019).

A sua produção e o consumo vêm crescendo e ganhando destaque no mundo inteiro devido às modificações nos hábitos alimentares e à crescente divulgação de programas que promovem à saúde (Yadav *et al.*, 2022). Visto que, as suas sementes são ricas em óleo, minerais essenciais, proteínas, metionina e triptofano, carboidratos, fibras e também metabólitos secundários, como, saponinas, ligninas, flavonoides e compostos fenólicos, além de ser fonte de fósforo, cálcio e ferro, e vitaminas B, E, e uma pequena quantidade de oligoelementos (Myint *et al.*, 2020).

Estudos indicam que o consumo diário de gergelim na dieta pode trazer vantagens para a saúde, podendo auxiliar na prevenção de diversas doenças. O gergelim é uma fonte rica em cálcio, o que pode contribuir para a saúde dos ossos e ajudar a prevenir a osteoporose, a lecitina pode ajudar a controlar o colesterol, além disso, pode prevenir a depressão e a arteriosclerose (Queiroga; Silva, 2008). Além de sua relevância nutricional, o gergelim destaca-se economicamente como

a nona oleaginosa mais cultivada globalmente, com presença em 71 países (Arriel *et al.*, 2022).

A crescente demanda por produtos derivados dessa oleaginosa, aliada à sua viabilidade na agricultura orgânica, abre oportunidades significativas para a participação mais ampla de agricultores familiares em diversos segmentos de mercado. Além de ser uma opção de cultivo lucrativa, o gergelim pode ser integrado em sistemas de rotação e sucessão de culturas, contribuindo para interromper o ciclo de pragas agrícolas, como nematóides e fungos, proporcionando uma ampliação técnica e econômica na produção de leguminosas e cultivos especiais, além de contribuir para a diversificação da matriz de produção de grãos, indo além da tradicional sucessão soja/milho (Freitas *et al.*, 2020; Brasil, 2023).

2.2 Descrição botânica e aspectos agronômicos

O gergelim pertence à família Pedaliaceae e pode ser caracterizado por apresentar um caule ereto, que pode ou não ramificar, mas quando ramificado pode apresentar número de ramos variando de 1 a 15, podendo variar entre 0,5 m e 3,0 m de altura, contendo ou não tricomas (Arriel *et al.*, 2009; Beltrão *et al.*, 2010; Kishlyan *et al.*, 2021). Apresenta ainda sistema radicular pivotante, caracterizado pela presença de uma raiz principal, responsável por ancorar a planta no solo e também por absorver água e nutrientes essenciais para o seu crescimento seguindo um sistema axonomorfo, onde as raízes laterais se desenvolvem de forma simétrica em relação à raiz principal, no entanto, é altamente sensível à falta de oxigênio no solo (Beltrão *et al.*, 2013).

As folhas do gergelim apresentam variabilidade em forma e tamanho, com as folhas inferiores sendo maiores, mais largas e mais arredondadas, enquanto as folhas superiores são mais estreitas e mais longas, tanto dentro da mesma planta quanto entre diferentes variedades, geralmente exibem uma tonalidade verde escura, podendo ser mais claras com uma leve tonalidade azulada ou amarelada, especialmente quando apresentam tricomas (Beltrão *et al.*, 2013; Mili *et al.*, 2021).

As flores são geralmente são completas e axilares, podendo apresentar da rosê, branca ou violeta, Uma característica diagnóstica é o número de flores por nós presentes no caule principal, podendo variar de 1 a 3 flores por axila das folhas inferiores e em múltiplos números nos ramos superiores ou no caule. A floração se

inicia aproximadamente 30 a 40 dias após a semeadura e persiste até a maturidade da planta e sua ocorrência é sensível ao fotoperíodo, variando entre as diferentes variedades (Arriel *et al.*, 2009; Beltrão *et al.*, 2013; Gadri *et al.*, 2020; Mili *et al.*, 2021; Kishlyan *et al.*, 2021).

Os frutos de gergelim têm uma forma de cápsula pilosas, variando de 2 a 8 cm de comprimento e 0,5 a 2 cm de diâmetro, com aproximadamente 40 a 80 sementes por cápsula, podendo ser deiscente. O número de frutos por planta está diretamente ligado ao número de flores, embora fatores ambientais possam influenciar essa relação, levando à queda das flores. As sementes são pequenas, ovoides e podem ser brancas, pretas, amarelas, cinzas, marrom escuros, beges ou verde olivas, medindo de 2,5 a 3 mm de comprimento e aproximadamente 1,5 mm de largura, o peso de 1.000 sementes é de 2 g a 5 g, dependendo da variedade e condições ambientais (Queiroga; Silva, 2008; Arriel *et al.*, 2009; Beltrão *et al.*, 2013; Mili *et al.*, 2021; Kishlyan *et al.*, 2021).

O ciclo de cultivo varia de 90 a 120 dias, é influenciado por fatores como variedade e condições climáticas e o plantio deve ser feito por semeadura direta ou mudas, com o espaçamento entre as plantas deve ser cuidadosamente planejado para otimizar o desenvolvimento. Além disso, o manejo adequado, incluindo práticas de irrigação, controle de ervas daninhas e fertilização, é essencial para garantir um rendimento satisfatório (Salton; Hermani; Fontes, 1998).

A colheita é realizada quando as cápsulas das sementes começam a secar, podendo ser feita manualmente ou por meio de máquinas em plantações maiores. O processamento subsequente inclui a extração das sementes e a produção de óleo, sendo o gergelim uma fonte valiosa de nutrientes e uma presença comum na culinária global.

2.3. Biologia Reprodutiva

A biologia floral do gergelim (*Sesamum indicum* L.) é um componente essencial para compreender sua reprodução e produção de sementes. O gergelim apresenta flores zigomorfas, com corola tubular de 5 ou mais pétalas que medem entre 3 e 4 mm de comprimento e o cálice é fundido. O androceu consiste em cinco estames, no entanto um é estéril e os outros funcionais, medindo entre 1,0 e 2,0 mm comprimento, enquanto o gineceu possui ovário multicarpelar superior e

estilete longo com estigma de 2 a 4 lóbulos. Além disso, a flor produz néctar em um disco nectário que circunda o ovário, junto com alguns nectários extraflorais localizados em ambos os lados do pedicelo (Andrade *et al.*, 2014; Kishlyan *et al.*, 2021).

Apresenta sistema de reprodução autógamo (Andrade *et al.*, 2014; Kishlyan *et al.*, 2021). Essa característica facilita a autopolinização, processo no qual o pólen é transferido dos estames para o estigma da mesma flor (Arriel *et al.*, 2009). Pode exibir uma taxa de alogamia que varia de 3,0% a 6,7%, alogamia é o processo no qual o estigma recebe pólen de uma flor de outra planta da mesma espécie. Contudo, em circunstâncias altamente favoráveis, como, regiões com climas favoráveis, variedades cultivadas com flores mais atrativas, condições climáticas (temperatura, vento e chuva) e a presença abundante de insetos, a taxa de alogamia pode atingir até 65%. As características das flores, como sua forma tubular e posição em relação ao vento, não são propícias para a polinização pelo vento (Arriel *et al.*, 2009).

Estruturas como o estigma pegajoso favorecem a autopolinização, enquanto a produção de néctar atrai polinizadores, como abelhas e borboletas, facilitando a polinização cruzada (Arriel *et al.*, 2009). A síndrome de polinização do gergelim é classificada como autógama facultativa, indicando sua capacidade de realizar a autofecundação, mas também a possibilidade de cruzamento.

Durante o desenvolvimento da flor, os botões mudam a coloração das pétalas de verde para branca e os estames mais longos posicionam suas anteras abaixo do estigma, enquanto os mais curtos ficam mais abaixo, cerca de duas horas antes da antese, os estames se alongam, alinhando suas anteras com o estigma, e é durante a antese que as anteras se abrem, liberando pólen para o estigma receptivo, favorecendo a autopolinização, o estigma permanece receptivo das 7h às 11h, com maior percentual de frutificação entre 7h e 9h, e por volta das 12h, o estigma fica seco e murcho, e os lóbulos são fechados novamente (Andrade *et al.*, 2014).

2.4. Visitantes Florais

O ato de transferência do pólen das anteras masculinas para os estigmas femininos é denominado polinização e esse intrincado processo pode ser de

autopolinização ou polinização cruzada (Sukumaran, Khanduri; Sharma, 2020). Estes diferentes modos de polinização podem garantir a sobrevivência das espécies vegetais e também contribuir para a diversidade genética e a resiliência dos ecossistemas.

A germinação dos grãos de pólen é essencial para o processo de fertilização. A quantidade de pólen depositado no estigma exerce influência direta tanto na qualidade quanto na quantidade dos frutos, em outras palavras, uma maior quantidade de pólen intensifica a competição entre os grãos de pólen para alcançar o óvulo, aumentando as chances de um grão de pólen viável realizar a fertilização com maior eficiência, conforme destacado por Kirsch e Reis (2020).

A distribuição geográfica dos insetos polinizadores em campos agrícolas oferece dados significativos sobre os métodos de propagação das espécies e sua interação com o ambiente. Essa abordagem é valiosa tanto para pesquisas ambientais quanto para o estudo dos padrões comportamentais das espécies (Chambó, 2013).

Um aspecto importante na polinização é a determinação do agente polinizador mais eficaz para cada cultura. No entanto, a eficácia da polinização por qualquer visitante floral, pode ser afetada por uma variedade de fatores e alguns desses fatores são inerentes ao próprio inseto, enquanto outros estão relacionados à cultura que está sendo polinizada (Kirsch; Reis, 2020).

A habilidade dos insetos em realizar a polinização está associada à sua eficiência em polinizar as flores ao longo de um determinado período. Essa eficiência pode ser quantificada pela frequência de visitas e/ou da eficiência na transferência de pólen, ou seja, pelo número de grãos de pólen depositados durante uma única visita (Bartholomé; Lavorel, 2019). Esse coeficiente representa um indicador crucial da eficácia do serviço de polinização e pode ter impactos significativos na produção e na economia agrícola.

Os principais agentes polinizadores são predominantemente insetos, incluindo abelhas, moscas, borboletas, mariposas, vespas, besouros e tripes. Além dos insetos, também existem polinizadores vertebrados, como aves, morcegos, mamíferos não voadores e lagartos (Wolowski *et al.*, 2019).

A influência da polinização destes insetos reflete diretamente na rentabilidade e produtividade de uma ampla gama de variedades de culturas em todo o mundo, abrangendo a maioria dos vegetais, sementes, frutos secos e alguns

produtos agrícolas de alto valor, como café, cacau e colza (Khalifa *et al.*, 2021), assim como a relevância dos polinizadores como um dos principais fatores para aumentar a produção de gergelim (*Sesamum indicum* L.) (Rao *et al.*, 2022).

Mesmo sendo considerada uma planta autógama o gergelim demonstrou um aumento no rendimento de sementes no estudo de polinização de Das e Jha (2019) onde destacam um aumento significativo no número de cápsulas por planta e no rendimento de sementes de gergelim, uma melhoria notável em comparação com as parcelas sem polinizadores. Resultado semelhante foi descrito por Rao *et al.* (2022), onde apresentam indícios de que a polinização por insetos pode aprimorar os indicadores de rendimento do gergelim, onde os efeitos da polinização aberta e de diferentes tratamentos nos parâmetros de rendimento foram notavelmente superiores em comparação com aqueles sem tratamento de polinização por insetos.

3. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, P. B. de; FREITAS, B. M.; ROCHA, E. E. de M.; LIMA, J. A. de; RUFINO, L. L. Floral biology and pollination requirements of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 36, n. 1, p. 93-99, 2014.
- ARRIEL, N. H. C.; BARROS, M. A. L.; FIRMINO, P. de T.; QUEIROGA, V. de P.; BELTRÃO, N. E. de M. **Gergelim: estatísticas de produção**. Portal Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/gergelim/pre-producao/socioeconomia/estatisticas-de-producao>. Acesso em: 26 nov. 2023.
- ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; LIMA, R. de L. S. de. Taxonomia, citogenética e fitologia. In ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIRMINO, P. de T. (ORG.) **Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Portal Embrapa, 209p., 2009.
- ARRIEL, N. H. C.; GONDIM, T. M. de S.; ANDRADE, F. P. de. Melhoramento genético. In ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIRMINO, P. de T. (ORG.) **Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Portal Embrapa, 209p., 2009.
- ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; GONDIM, T. M. de S.; LIMA, R. de L. S. de. Sistemas de cultivo. In ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIRMINO, P. de T. (ORG.) **Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Portal Embrapa, 209p., 2009.
- BARAKI, F.; GEBREGERGIS, Z.; BELAY, Y.; BERHE, M.; TEAME, G.; HASSEN, M.; GEBREMEDHIN, Z.; ABADI, A.; NEGASH, W.; ATSBEHA, A.; ARAYA, G. Multivariate analysis for yield and yield-related traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. **Heliyon**, v. 6, n. 10, e05295p., 2020.
- BARCALA, M. C. E.; PALOTTINI, F.; FARINA, W. M. Honey bee and native solitary bee foraging behavior in a crop with dimorphic parental lines. **PLOS One**, v. 14, n. 10, e0223865p., 2019.
- BARTHOLOMÉE, O.; LAVOREL, S. Disentangling the diversity of definitions for the pollination ecosystem service and associated estimation methods. **Ecological Indicators**, v. 107, 105576p., 2019.
- BELTRÃO, N. E. de M.; FERREIRA, L. L.; QUEIROZ, N. L.; TAVARES, M. da S.; ROCHA, M. do S.; ALENCAR, R. D.; PORTO, V. C. N. **O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro**. Natal: IFRN, 2013. 225p. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1093/O%20gergelim%20e%20seu%20cultivo%20no%20semiario%20brasileiro%20-%20Ebook.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 nov. 2024.
- BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, E. C. **Cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) no nordeste do Brasil**. Portal Embrapa, 1986. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/262744/cultura-do-gergelim-sesamum-indicum-l-no-nordeste-do-brasil>. Acesso em: 29 out. 2023.

BELTRÃO, N. E. de M.; VALE, L. S. do.; MARQUES, L. F.; CARDOSO, G. D.; MARACAJA, P. B. Época relativa de plantio no consórcio mamona e gergelim. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 67–73, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria SPA/MAPA nº 197, de 23 de maio de 2023. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático – ZARC para a cultura do gergelim no Estado da Bahia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, 25 maio 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-vigente/bahia/PORTN197GERGELIMBA.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2024.

CHAMBÓ, E. D. **Biologia floral e polinização em canola (*Brassica napus* L.) por abelhas africanizadas (Hymenoptera: Apidae) em duas épocas de semeadura.** doctoralThesis—[s.l.] Universidade Estadual de Maringá, 2013. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/1509>. Acesso em: 05 dez. 2023.

CRUZ, N. F. F. da S.; NASCIMENTO, L. F. J. do; SANTOS, R. F.; JÚNIOR, L. A. Z.; CUNHA, E.; ROCHA, E. O. Características e tratos culturais do gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [S. l.], v. 8, n. 4, 2019.

DAFNI, A.; KEVAN, P.G.; HUSBAND, B.C. Practical pollination biology. Ontario: **Environquest**, 590p., 2005.

DAS, R.; JHA, S. Insect pollinators of sesame and the effect of entomophilous pollination on seed production in new alluvial zone of west Bengal. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 3, p. 1400–1409, 2019.

DELAPLANE, K. S.; DAG, A.; DANKA, R. G.; FREITAS, B. M.; GARIBALDI, L. A.; GOODWIN, R. M.; HORMAZA, J. I. Standard methods for pollination research with *Apis mellifera*. **Journal of Apicultural Research**, v. 52, n. 4, p. 1–28, 2013.

FAOSTAT. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 26 nov. 2023.

FREITAS, B. M.; KLEIN, A.-M.; BOMFIM, I. G. A.; FORNOFF, F.; BOREUX, V.; OLIVEIRA, M. O. **Polinização agrícola por insetos no Brasil: ao Guia para Fazendeiros, Agricultores, Extensionistas, Políticos e Conservacionistas.** Freiburg: Universität Freiburg, 149p., 2020.

GADRI, Y.; ESHED WILLIAMS, L.; PELEG, Z. Tradeoffs between yield components promote crop stability in sesame. **Plant Science**, v. 295, 110105p., 2020.

KHALIFA, S. A. M.; ELSHAFIEY, E. H.; SHETAIA, A. A.; EL-WAHED, A. A. A.; ALGETHAMI, A. F.; MUSHARRAF, S. G.; AL-AJMI, M. F.; ZHAO, C.; MASRY, S.

H. D.; ABDEL-DAIM, M. M.; HALABI, M. F.; KAI, G.; AL NAGGAR, Y.; BISHR, M.; DIAB, M. A. M.; EL-SEEDI, H. R. Overview of bee pollination and its economic value for crop production. **Insects**, v. 12, n. 8, 688p., 2021.

KIRSCH, G. H.; REIS, R. P. dos. A importância da polinização. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 16, p. 1–10, 2020.

KISHLYAN, N. V.; ASFANDIYAROVA, M. Sh.; YAKUSHEVA, Y. V.; DUBOVSKAYA, A. G. Biological features and cultivation of sesame (a review). **Works on Applied Botany, Genetics and Breeding**, v. 182, n. 4, p. 156–165, 2021.

LAYEK, U.; BHANDARI, T.; DAS, A.; KARMAKAR, P. Floral visitors of sesame (*Sesamum indicum* L.): elucidating their nectar-robbing behaviour and impacts on the plant reproduction. **PLOS One**, v. 19, n. 4, e0300398p., 2024.

LINNAEUS, C. **Systema naturae per regna tria naturae, classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis**. 10. ed. Holmiae: Laurentii Salvii, 1758.

MILI, A.; DAS, S.; NANDAKUMAR, K.; LOBO, R. A comprehensive review on *Sesamum indicum* L.: botanical, ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological aspects **Journal of Ethnopharmacology**, v. 281, p. 114-503, 2021.

MIRANDA, E. De. Gergelim: saudável, rentável e promissor. **Revista Oeste**, ed.177, 2023.

MYINT, D.; GILANI, S. A.; KAWASE, M.; WATANABE, K. N. Sustainable sesame (*Sesamum indicum* L.) production through improved technology: an overview of production, challenges, and opportunities in Myanmar. **Sustainability**, v. 12, n. 9, 3515p., 2020.

PANDO, J. B.; DJONWANGWÉ, D.; MOUDELSIA, O. B.; FOHOUE, F-N. T.; TAMESSE, J. L. Effect of insect pollination on the yield of *Sesamum indicum* (Pedaliaceae) in Maroua-Cameroon. **Journal of advances in agriculture**, v. 11, p. 22–36, 2020.

QUEIROGA, V. de P.; SILVA, O. R. R. F. da. **Tecnologias utilizadas no cultivo do gergelim mecanizado**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 140 p. (*Embrapa Algodão. Documentos, 203*).

RAO, K. S.; KUMAR, Y.; YADAV, S.; POONIA, R.; NAYAK, S. Effect of different modes of pollination on Sesame yield parameters. **Biological Forum –An International Journal**. v. 14, p. 238–242, 2022.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (eds.). **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Serviço de Produção de Informação – SPI, 1998. 248 p.

SUKUMARAN, A.; KHANDURI, V.P.; SHARMA, C. M. Pollinator-mediated self-pollination and reproductive assurance in an isolated tree of *Magnolia grandiflora* L. **Ecological Processes** v. 9, n. 45, 2020.

WOLOWSKI, M.; AGOSTINI, K.; RECH, A. R.; VARASSIN, I. G.; MAUÉS, M.; FREITAS, L.; CARNEIRO, L. T.; BUENO, R. de O.; CONSOLARO, H.; CARVALHEIRO, L.; SARAIVA, A. M.; SILVA, C. I. da. **Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil**. São Carlos: Editora Cubo, 184p., 2019.

YADAV, R.; KALIA, S.; RANGAN, P.; PRADHEEP, K.; RAO, G. P.; KAUR, V.; PANDEY, R.; RAI, V.; VASIMALLA, C. C.; LANGYAN, S.; SHARMA, S.; THANGAVEL, B.; RANA, V. S.; VISWAKARMA, H.; XÁ, A.; SAXENA, A.; KUMAR, A.; SINGH, K.; SIDDIQUE, K. H. M. Current research trends and prospects for yield and quality improvement in sesame, an important oilseed crop. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 863521, 2022.

CAPÍTULO 1

**Fenologia floral, biologia floral e comportamento de forrageamento em
gergelim (*Sesamum indicum* L.)**

Fenologia floral, biologia floral e comportamento de forrageamento em gergelim (*Sesamum indicum* L.)

RESUMO

Considerando a importância do gênero *Sesamum* L. para a alimentação, farmacologia, indústria e outras áreas, esta pesquisa teve como objetivo estudar o ciclo reprodutivo e a biologia floral do gergelim, assim como o comportamento de forrageamento dos insetos nas flores em resposta a variações em alguns fatores ambientais. O experimento foi conduzido na cidade de Cruz das Almas – BA. A espécie utilizada foi o gergelim (*Sesamum indicum* L.), variedade K3. No estudo de fenologia do florescimento e biologia floral, 100 plantas foram observadas durante agosto e setembro de 2024. Foram registrados os estádios fenológicos, incluindo emergência, primeiros botões, início do florescimento, florescimento pleno, término do florescimento e primeiras cápsulas formadas. Para morfologia floral e estruturas anatômicas, 20 botões florais foram marcados, sendo coletados nos horários de 06h00, 10h00, 14h00 e 16h00. Então foi analisado as dimensões das estruturas florais, quantidade de estames, posição do estigma em relação aos estames e a cor da flor. A viabilidade polínica foi avaliada por meio de teste histoquímico utilizando o reagente Carmim Acético 2%, para esta análise, 15 flores foram coletadas em diferentes horários (06:30, 10:30, 14:30 e 16:30). Nestes mesmos horários, a receptividade do estigma também foi avaliada em 20 flores de plantas aleatórias. O comportamento de forrageamento foi realizado utilizando o método de plantas focais, 10 plantas por dia, foram marcadas aleatoriamente ao longo de 5 dias (entre 06 e 26 de setembro/2024) e a frequência dos insetos foi registrada em seis horários do dia (06:30h, 08:30h, 10:30h, 12:30h, 14:30h, 16:30h) por dois minutos. Foi contabilizado, o número de insetos visitantes e o seu comportamento de coleta. Para *Apis mellifera* africanizada, o tempo de permanência em uma flor foi cronometrado e foi registrado o número de flores visitadas por elas em 1 minuto. O gergelim apresentou floração de agosto a setembro de 2024. A inflorescência é do tipo axilar, medindo 104,99m. Observou-se que o comprimento do cálice, da corola e a área floral aumentaram ao longo dos horários de observação. O comprimento dos estames curtos e longos também demonstrou uma tendência de aumento, enquanto o comprimento do pistilo apresentou uma redução significativa. Os grãos de pólen permaneceram viáveis após a antese e o estigma se mostrou receptivo tanto na pré-antese quanto durante a antese e pós-antese. A ordem Hymenoptera a única responsável pela visitação floral, sendo composta principalmente por abelhas (*Apis mellifera* 84,73%, *Trigona* 13,82% e *Xilocopa* 1,45%). Essas abelhas forragearam as flores entre 6h e 16h, com maior atividade entre 7h e 12h, período em que a quantidade de pólen e néctar nas flores era mais abundante. O gergelim mesmo sendo uma planta autógama, apresenta características morfológicas que favorecem a polinização cruzada mediada por polinizadores bióticos.

Palavras-chave: Polinização cruzada, Hymenoptera, viabilidade polínica

Floral phenology, floral biology and foraging behavior in sesame (*Sesamum indicum* L.)

ABSTRACT

Considering the importance of the genus *Sesamum* L. for food, pharmacology, industry and other areas, this research aimed to study the reproductive cycle and floral biology of sesame, as well as the foraging behavior of insects in flowers in response to variations in some environmental factors. The experiment was conducted in the city of Cruz das Almas – BA. The species used was sesame (*Sesamum indicum* L.), variety K3. In the study of flowering phenology and floral biology, 100 plants were observed during August and September 2024. Phenological stages were recorded, including emergence, first buds, beginning of flowering, full flowering, end of flowering and first capsules formed. For floral morphology and anatomical structures, 20 flower buds were marked, being collected at 6:00 am, 10:00 am, 2:00 pm and 4:00 pm. Then, the dimensions of the floral structures, number of stamens, position of the stigma in relation to the stamens and the color of the flower were analyzed. Pollen viability was evaluated by histochemical test using the 2% Acetic Carmine reagent, for this analysis, 15 flowers were collected at different times (06:30, 10:30, 14:30 and 16:30). At these same times, stigma receptivity was also assessed in 20 random plant flowers. The foraging behavior was performed using the focal plant method, 10 plants per day, were randomly marked over 5 days (between September 6 and 26, 2024) and the frequency of the insects was recorded at six times of the day (06:30h, 08:30h, 10:30h, 12:30h, 14:30h, 16:30h) for two minutes. The number of visiting insects and their collection behavior were counted. For Africanized *Apis mellifera*, the time spent on a flower was timed and the number of flowers visited by them in 1 minute was recorded. The sesame flowered from August to September 2024. The inflorescence is of the axillary type, measuring 104.99m. It was observed that the length of the calyx, corolla, and floral area increased over the observation times. The length of the short and long stamens also showed an increasing trend, while the pistil length showed a significant reduction. The pollen grains remained viable after anthesis and the stigma was receptive both in the pre-anthesis and during anthesis and post-anthesis. The order Hymenoptera is solely responsible for floral visitation, being composed mainly of bees (*Apis mellifera* 84.73%, *Trigona* 13.82% and *Xylocopa* 1.45%). These bees foraged the flowers between 6 a.m. and 4 p.m., with greater activity between 7 a.m. and 12 a.m., a period in which the amount of pollen and nectar in the flowers was most abundant. Sesame, even though it is an autogamous plant, has morphological characteristics that favor cross-pollination mediated by biotic pollinators.

Keywords: Cross-pollination, Hymenoptera, pollen viability

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Sesamum* L., pertencente à família Pedaliaceae, compreende 31 espécies, entre as quais *Sesamum indicum* L. é a única amplamente cultivada em regiões tropicais (Kalwij; Palmer, 2012). Essa espécie destaca-se por sua adaptabilidade a condições adversas, como estresse hídrico e altas temperaturas, além de possuir grande relevância comercial, cerca de 70% de suas sementes são utilizadas para a produção de óleo e farinha (Myint *et al.*, 2020; Yadav *et al.*, 2022; Wan *et al.*, 2023). As projeções indicam que até 2030, o consumo de óleo vegetal aumentará significativamente, e o óleo de gergelim poderá atingir cerca de cem milhões de toneladas (Troncoso-Ponce *et al.*, 2011).

No Brasil, o gergelim tem se consolidado como uma cultura relevante, especialmente nos estados do Nordeste, onde é cultivado predominantemente por pequenos produtores em sistemas consorciados (Pereira *et al.*, 2023).

As cultivares de gergelim são, em sua maioria, de dias curtos e requerem menor fotoperíodo para florescer. Essa característica influencia diretamente o ciclo de desenvolvimento da planta, cuja floração, em condições ideais, inicia-se entre 42 e 45 dias após o plantio (Ali, 2014).

Além de seu valor agrícola, industrial e farmacêutico, compreender a fenologia do florescimento e a biologia floral do gergelim é essencial para o aprimoramento de práticas de manejo e aumento da produtividade. A espécie apresenta flores com morfologia peculiar, de formato tubular, com cinco pétalas e coloração atrativa a insetos polinizadores. Embora seja predominantemente autopolinizável, as flores são hermafroditas, contendo estruturas reprodutivas femininas e masculinas na mesma flor (Das; Jha, 2019; Abd Alfattah; El-masarawy, 2024).

As flores localizam-se exclusivamente nas axilas das folhas, podendo ocorrer isoladamente ou agrupadas, dependendo da variedade. A estrutura feminina é composta por estilete longo, estigma bifurcado e ovário superior multicarpelar. Os órgãos masculinos compreendem quatro estames, sendo dois longos e dois curtos (Andrade *et al.*, 2014). Algumas características morfológicas das flores são conservadas entre cultivares; entretanto, variáveis como o

comprimento da corola, do estilete e o número de sementes por cápsula apresentam considerável variação (Azeez *et al.*, 2017).

A antese, momento em que a flor se abre e se torna receptiva ao pólen, ocorre geralmente nas primeiras horas da manhã, variando conforme as condições ambientais. Cerca de duas horas antes da antese, os estames alongam-se rapidamente, permitindo que os mais longos atinjam o estigma, enquanto os curtos se posicionam logo abaixo dele (Andrade *et al.*, 2014). Esse sincronismo no funcionamento das estruturas reprodutivas está diretamente relacionado à atividade dos insetos polinizadores, cuja visitação pode influenciar tanto a autopolinização quanto a polinização cruzada.

Diante da relevância da cultura, estudos sobre os insetos polinizadores e seus comportamentos são fundamentais para compreender as interações planta-polinizador. Os insetos que visitam as flores em busca de recursos alimentares desempenham papel importante tanto na autopolinização quanto na polinização cruzada, mesmo em espécies autógamas como o gergelim (Cruz; Freitas, 2013).

Pesquisas realizadas no Nordeste brasileiro vêm destacando a importância dos visitantes florais na reprodução do gergelim. Trabalhos como os de Napoletano (2008), Cruz e Freitas (2013) e Andrade *et al.* (2014) identificaram os principais insetos visitantes e potenciais polinizadores da cultura.

O objetivo deste estudo foi avaliar o ciclo reprodutivo e a biologia floral do gergelim, bem como o comportamento de forrageamento dos insetos nas flores, em resposta a variações de fatores ambientais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizada na cidade de Cruz das Almas – BA (12°40'19" S; 39°06'23" W; 219,76 m de altitude). A região apresenta clima tropical quente e úmido, classificado como Aw a Am segundo Köppen (1936). A pluviosidade anual média, registrada entre 1991 e 2020, é de 1.136,8 mm, com maiores índices pluviométricos entre abril e julho. A umidade relativa do ar média é de aproximadamente 80%, e a temperatura média anual é de 22,4 °C (INMET, 2024). O solo local é caracterizado por relevo plano e profundo, sendo classificado como Latossolo Amarelo (Santos *et al.*, 2017).

A espécie utilizada foi o gergelim (*Sesamum indicum* L.), variedade K3, planta de crescimento ramificado, porte médio a alto, com sementes de coloração marrom e cápsulas semideiscentes (Maia *et al.*, 2024). A área experimental totalizou 345 m², que foi limpa e preparada com maquinário apropriado, distribuída em parcelas de 2,5 m × 10 m. No momento do plantio, realizado em 11 de julho de 2024, foi aplicada adubação de base com NPK (4-14-8) na dose de 550 kg ha⁻¹, equivalente a 3,30 kg da formulação, ou 11 g por metro linear (Perin *et al.*, 2010). O espaçamento adotado foi de 0,80 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas. A emergência atingiu 90% das plântulas 12 dias após o plantio. O desbaste ocorreu em duas etapas: a primeira, quando as plantas apresentaram quatro folhas, mantendo 20 plantas por metro linear; a segunda, ao atingirem 15 cm de altura, mantendo duas plantas por cova, totalizando 10 plantas por metro linear, conforme as recomendações do sistema de produção da Embrapa Algodão (Pereira *et al.*, 2023). Os tratos culturais limitaram-se à capina manual, sem uso de defensivos agrícolas.

2.1 Fenologia e biologia floral

O estudo abrangeu todo o ciclo reprodutivo da planta, iniciando com a emergência e seguindo até a formação das cápsulas, com avaliações realizadas em 10 indivíduos por parcela, totalizando 100 indivíduos observados durante os meses de agosto a setembro de 2024. Foram registrados os estádios fenológicos, incluindo emergência, primeiros botões, início do florescimento, florescimento pleno, término do florescimento e primeiras cápsulas formadas. Para cada fase, foram observadas variáveis relacionadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas, como altura (em cm), diâmetro do caule (em mm), número de ramos secundários, número de botões florais, número de flores abertas e número de cápsulas formadas, com cálculo da média e do desvio-padrão dessas variáveis.

O horário da antese e a longevidade da flor foram avaliados em 30 botões florais, marcados e ensacados aleatoriamente com sacos de tule de nylon (20x20 cm, malha de 1 mm) durante a pré-antese. No dia seguinte, as flores foram observadas desde o momento da antese até a abscisão, momento em que as flores começaram a murchar e cair (Dafni *et al.*, 2005). O horário de antese e a duração das flores foram registrados.

Para a descrição da morfologia floral e das estruturas anatômicas, 20 botões florais foram selecionados e marcados aleatoriamente, sendo coletados no dia seguinte em diferentes horários (06h00, 10h00, 14h00 e 16h00) e estádios de desenvolvimento, totalizando 80 flores. A análise considerou aspectos morfológicos, como as dimensões das estruturas florais (pétalas, sépalas, estames e pistilos), a quantidade de estames presentes, a posição do estigma em relação aos estames e a cor da flor. A metodologia foi adaptada de IPGRI e NBPGR (2004) e Andrade *et al.* (2014).

2.2 Teste histoquímico

A viabilidade polínica foi avaliada por meio de teste histoquímico utilizando o reagente Carmim Acético 2% (Kears; Inouye, 1993). Para a análise, foram coletadas 15 flores em diferentes horários (6:30, 10:30, 14:30 e 16:30) e em distintos estádios de desenvolvimento, totalizando 60 flores. O pólen foi coletado de cada uma das 15 flores com o auxílio de um pincel, formando uma amostra composta. Os grãos de pólen foram então distribuídos sobre uma lâmina, e algumas gotas de Carmim foram adicionadas. A lâmina foi coberta com uma lamínula e analisada em microscópio óptico, com quatro repetições para cada horário de coleta. Foram contabilizados 100 grãos de pólen por lâmina (em cada repetição), sendo considerados viáveis os grãos que coraram de vermelho e inviáveis aqueles que apresentaram coloração fraca.

A viabilidade polínica foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{Viabilidade do pólen (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de grãos de pólen corados}}{\text{N}^\circ \text{ de grãos pólen total}} \times 100 \text{ (Silva; Amaral, 2021).}$$

2.3 Receptividade do estigma

A receptividade do estigma foi avaliada em 20 flores de plantas aleatórias, coletadas em diferentes horários (6:30, 10:30, 14:30 e 16:30), totalizando 80 flores. Para a análise, utilizou-se peróxido de hidrogênio a 3% (Dafni, 1992). A receptividade foi determinada pela resposta 'sim', para estigmas receptivos, e 'não', para estigmas não receptivos. Para evitar resultados falso-positivos, foram seguidos cuidados rigorosos para preservar a integridade do material, conforme a metodologia de Dafni e Maués (1998), garantindo que não houvesse ferimentos no estigma ou contato com a parte superior do estilete.

2.4 Visitantes florais

A avaliação do comportamento de forrageamento dos visitantes florais foi realizada utilizando o método de plantas focais (Potts; Dafni; Ne'eman, 2001).

O delineamento experimental adotado foi de blocos completos casualizados com medidas repetidas, com os blocos representados pelos diferentes dias de avaliação. Foram selecionadas e marcadas aleatoriamente 10 plantas por dia, totalizando 50 plantas ao longo de 5 dias de avaliação (entre 06 e 26 de setembro/2024), com o objetivo de capturar a variabilidade diária.

A frequência dos insetos foi registrada em seis horários do dia (6:30h, 08:30h, 10:30h, 12:30h, 14:30h, 16:30h). Para cada planta, foi feita uma observação de 1 minuto, durante o qual o número de insetos visitantes foi contabilizado, incluindo a identificação dos visitantes (*Apis mellifera* africanizada, abelhas nativas e outros insetos). Além disso, foi registrado o comportamento de coleta dos insetos (néctar, pólen ou ambos os recursos florais). Para *A. mellifera* africanizada, o tempo de permanência foi cronometrado a partir do momento em que a abelha pousou em uma flor. Esse procedimento foi repetido para todas as plantas, e também foi registrado o número de flores visitadas por *A. mellifera* africanizada em 1 minuto. Vale destacar que essa variável não precisou ser registrada especificamente nas plantas marcadas.

2.5 Procedimentos estatísticos

Foram ajustados modelos lineares mistos (MLMs) para avaliar a relação entre o horário das observações e a biologia floral. Em todos os modelos, foi considerado um efeito aleatório para plantas. Os modelos foram ajustados utilizando a função `lmer()` do pacote `lme4` (Bates *et al.*, 2015). Os pressupostos de normalidade, homogeneidade e identificação de outliers foram avaliados para cada modelo ajustado. Além disso, foram ajustados MLMs para as variáveis de resposta associadas ao comportamento dos insetos, utilizando a função `glmmTMB()` do pacote `glmmTMB` (Brooks *et al.*, 2017). A distribuição de Poisson foi utilizada para modelar as variáveis de contagens de visitas de insetos, considerando planta e dia como efeitos aleatórios. Os efeitos marginais foram visualizados utilizando a função `ggpredict()` do pacote `ggeffects` (Lüdtke, 2018). Todas as figuras foram geradas

com o pacote ggplot2 (Wickham, 2016). As análises foram realizadas no software R (R core team, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fenologia e biologia floral

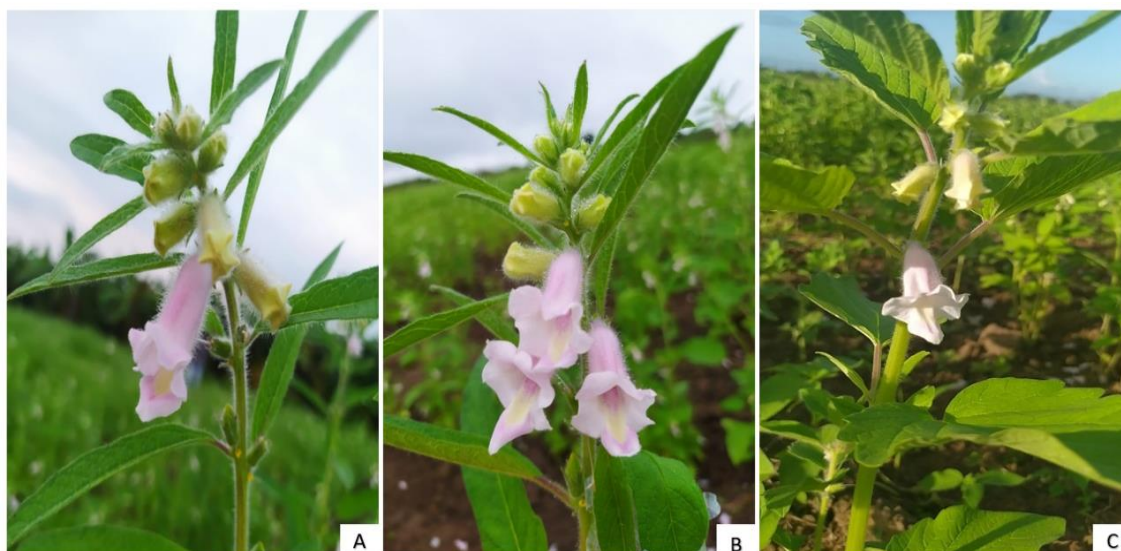
O período de floração foi registrado de agosto a setembro de 2024. As flores estão dispostas individualmente nas axilas das folhas ao longo do eixo principal, caracterizando uma inflorescência do tipo axilar. Elas se abrem no início da manhã (entre 7h e 8h) e iniciam a senescência no final da tarde, por volta das 16h30. As flores são zigomórficas, completas, gamopétalas, com uma pétala diferenciada que facilita o acesso de insetos visitantes. Apresentam coloração rosa-claro com leve toque de lilás, quatro estames (dois curtos e dois longos) com anteras branco-amareladas, e grãos de pólen brancos. Os botões flores apresentam quatro fases bem definidas, a primeira com botão recém-formado, ainda em desenvolvimento de coloração verde escuro, a segunda o botão aumenta de tamanho e as pétalas começam a se formar, apresentando a mesma coloração, na terceira o botão apresenta grande diferenciação entre sépalas e pétalas principalmente na sua coloração, que neste momento apresenta-se verde claro, na quarta e última fase o botão floral aumenta significativamente de tamanho e as pétalas com coloração rosa claro começam a se destacar em formato tubular, ainda fechadas, depois desta fase o botão começa a abertura da corola com a pétala diferenciada se expandindo e exibindo sua estrutura tubular, iniciando assim a pré-antese e então com a flor totalmente aberta é iniciado o período de antese. O gineceu é bicarpelar, com ovário súpero, de formato alongado, recoberto de tricomas, contendo vários óvulos em cada lóculo, apresenta um único estilete onde está inserido o estigma bifido. O cálice é composto por cinco sépalas verdes. Além destas características o gergelim apresenta nectários extraflorais, que estão posicionados na base do ovário, são estruturas arredondadas e amareladas, responsáveis por secretarem néctar fora da flor (ver Figura 1 e 2). Essas características são comuns a várias cultivares de gergelim, como já relatado por outros autores (Arriel, Guedes, Pereira, 2000; Andrade *et al.*, 2014; Freitas *et al.*, 2020; Layek *et al.*, 2024).

Figura 1. Características morfológicas do gergelim: desenvolvimento floral (A), corte longitudinal do ovário (ampliação 45x) (B) e nectários extraflorais (ampliação 45x) (C).



Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

Figura 2. Flores de gergelim (*S. indicum* L.) em diferentes estádios fenológicos: (A) flor em pré-antese, (B) flor em antese e (C) flor em pós-antese.



Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

A emergência de 90% das plantas foi registrada em 23 de julho de 2024, 12 dias após a semeadura, marcando o início do ciclo de crescimento. Aproximadamente um mês depois, em 17 de agosto, 60% das plantas apresentaram os primeiros botões florais, e em 19 de agosto, ocorreu a abertura das primeiras flores, indicando o início do período de florescimento. Em 22 de agosto, foi observada a formação das primeiras cápsulas, marcando o início da formação de frutos. O florescimento atingiu seu ápice em 30 de agosto, com 80% das plantas exibindo flores abertas. O término do florescimento foi registrado em 9 de outubro, quando as últimas flores visíveis começaram a desaparecer (Tabela 1).

Tabela 1. Estatísticas descritivas da fenologia do gergelim (*S. indicum* L.).

Data	Estádio fenológico	Observações
23/07/2024	Emergência	90% das plantas emergiram
17/08/2024	Primeiros botões	Botões florais visíveis em 60% das plantas
19/08/2024	Início do florescimento	Primeiras flores abertas
30/08/2024	Florescimento pleno	80% das plantas com flores abertas
22/08/2024	Início da formação de cápsulas	Primeiras cápsulas formadas
09/10/2024	Término do florescimento	Últimas flores visíveis

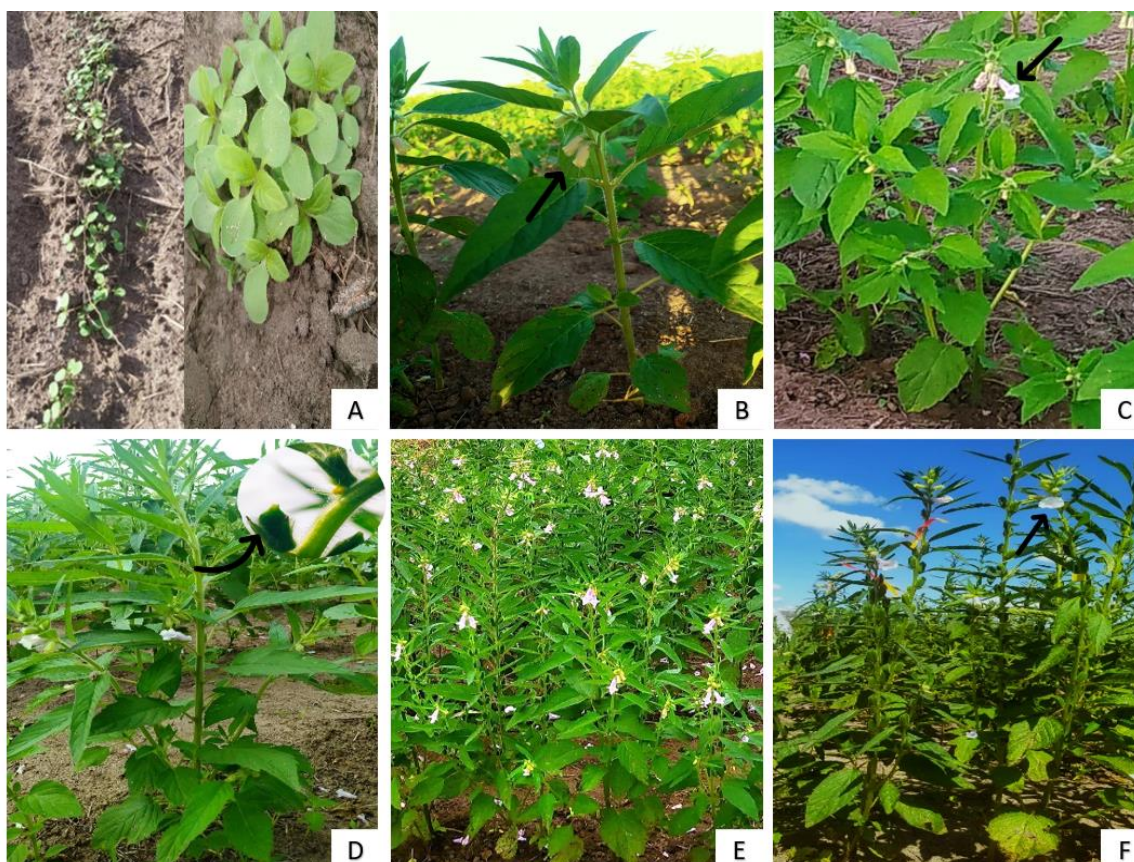
Em relação às características morfoagronômicas do gergelim, observou-se um aumento progressivo na altura da planta ao longo dos estádios de desenvolvimento, com médias variando de 31,83 cm no estágio de formação dos primeiros botões a 104,99 cm no término do florescimento. O diâmetro do caule também apresentou incremento, com valores médios de 9,35 mm a 14,51 mm ao longo do ciclo. O número de ramos secundários aumentou gradualmente de 1 à 4 com o desenvolvimento da planta. O número de botões florais cresceu nos estádios iniciais e diminuiu nos estádios finais, enquanto o número de flores abertas foi maior durante o florescimento pleno e reduziu no final do ciclo. O número de cápsulas formadas iniciou-se no estágio de florescimento e aumentou progressivamente até o final do desenvolvimento da planta. No caso das folhas, a área foliar manteve-se relativamente constante ao longo do ciclo da cultura, com uma leve redução no término do florescimento (Tabela 2, Figura 3).

Tabela 2. Estatísticas descritivas da fenologia do florescimento do gergelim (*S. indicum*) em diferentes estádios.

Variáveis	Estádio fenológico (média e desvio-padrão)			
	Primeiros botões	Início do florescimento	Florescimento pleno	Término do florescimento
Altura da planta (cm)	31,83 ± 2,60	38,33 ± 2,10	64,23 ± 23,86	104,99 ± 6,88
Diâmetro do caule (mm)	9,35 ± 0,82	9,80 ± 0,73	12,04 ± 1,73	14,51 ± 0,45
N.º de ramos secundários	1,65 ± 1,02	1,71 ± 0,95	2,20 ± 1,09	2,67 ± 0,96

N.º de botões florais	6,38 ± 2,02	10,39 ± 3,93	14,40 ± 4,76	1,73 ± 1,58
N.º de flores abertas	0 ± 0	2,61 ± 1,29	4,43 ± 2,03	1,23 ± 1,11
N.º de cápsulas	0 ± 0	0 ± 0	18,23 ± 14,05	51,68 ± 13,17
Área foliar (cm²)	55,35 ± 9,39	55,49 ± 9,40	56,46 ± 6,38	49,54 ± 3,08

Figura 3. Plantas de gergelim (*S. indicum*) em diferentes fases de desenvolvimento: Emergência (A); Primeiros botões florais (B); Primeiras flores abertas (C); Primeiras cápsulas formadas (D); Pleno florescimento (E) e Últimas flores visíveis (F).



Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

Os resultados estão de acordo com estudos prévios, como os de Khidir; Gizouli (1970), Abd El-Mohsen (2008), Furat; Uzun (2010), Bhoot *et al.* (2019), Tesfaye *et al.* (2021) e Wada *et al.* (2022), que relataram que essas características morfoagronômicas variam entre diferentes variedades de gergelim. Esses autores também relataram que os dias de floração estão correlacionados com a formação das primeiras cápsulas, e que o número de ramos secundários está relacionado à altura da planta e à variedade utilizada. Resultados similares foram descritos por El

Naim *et al.* (2010) e Ahohuendo *et al.* (2012), que observaram que o diâmetro do caule aumenta até certo ponto durante o desenvolvimento da planta e se estabiliza, o que pode ser atribuído à redistribuição de assimilados para outras partes da planta. Mili *et al.* (2021) destacaram que o tamanho da área foliar pode variar significativamente (entre 3 cm² e 122 cm²), tanto dentro de uma mesma planta quanto entre diferentes variedades.

Algumas características morfológicas são compartilhadas dentro do gênero *Sesamum* L., como variações no formato das folhas, que podem ser ovais e largas nos primeiros estádios de desenvolvimento, e lanceoladas e finas na maturidade fisiológica, frequentemente na mesma planta. Essas características foram observadas na variedade K3 utilizada neste estudo e também descritas por Ahohuendo *et al.* (2012) na espécie *Sesamum radiatum* e por Bhoot *et al.* (2019) na caracterização de diferentes genótipos de gergelim.

Os coeficientes estimados para os efeitos fixos e aleatórios das variáveis associadas à biologia floral estão apresentados na Tabela 3 e as estatísticas descritivas na Tabela 4. Observou-se que o comprimento do cálice, da corola e a área floral aumentaram ao longo dos horários de observação ($P < 0,05$). O comprimento dos estames curtos e longos também demonstrou uma tendência de aumento ($P < 0,05$) ao longo do dia, enquanto o comprimento do pistilo apresentou uma redução significativa ($P < 0,05$) (Figura 4). Esses padrões sugerem uma resposta das estruturas morfométricas ao horário de coleta.

Quanto aos efeitos aleatórios, os modelos associados à biologia floral indicaram uma baixa variação entre plantas para a maioria das variáveis, com exceção da área floral. Para o comprimento do cálice e da corola, a variância entre plantas foi praticamente nula, sugerindo que as mudanças observadas ao longo dos horários de coleta foram consistentes entre as plantas. Esses resultados apontam para uma baixa variabilidade interplanta nas variáveis morfométricas analisadas (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes estimados para os efeitos fixos e aleatórios nas estruturas florais do gergelim (*S. indicum* L.).

Variável	Parâmetros	Coeficiente (Erro)	T	P	REML
Cálice	Intercepto	6,96 (0,55)	12,56	0,0001	303,2
	Hora	0,12 (0,05)	2,63	0,01	

Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,00 (0,00)				
Corola	Intercepto	31,22 (1,30)	24,15	0,0001	436,5
	Hora	0,22 (0,10)	2,14	0,03	
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,39 (0,62)				
Estames curtos	Intercepto	8,50 (0,80)	10,68	0,0001	359,6
	Hora	0,17 (0,07)	2,51	0,01	
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,00 (0,00)				
Estames longos	Intercepto	11,90 (0,77)	15,44	0,0001	354,5
	Hora	0,10 (0,06)	1,52	0,13	
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,00 (0,00)				
Pistilo	Intercepto	12,58 (0,64)	19,73	0,0001	325,1
	Hora	-0,14 (0,05)	-2,61	0,01	
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,00 (0,00)				
Área floral	Intercepto	181,30 (42,71)	4,24	0,0001	981
	Hora	13,50 (3,52)	3,83	0,0003	
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0 (0)				

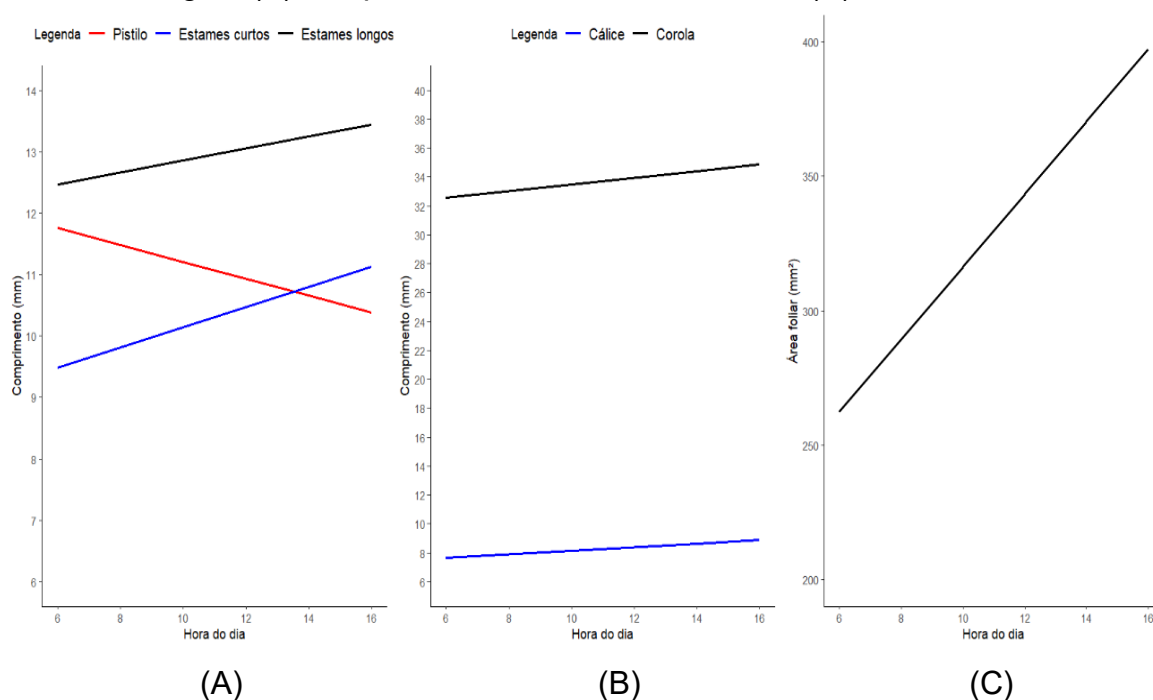
^aREML = Máxima Verossimilhança Restringida

Tabela 4. Estatísticas descritivas das estruturas florais e receptividade do estigma do gergelim (*S. indicum* L.) em diferentes estádios.

Variável	Médias ± Desvio-padrão		
	Pré-antese	Antese	Pós-antese
Cálice (mm)	8,03 ± 1,82	8,04 ± 1,68	9,28 ± 0,83
Corola (mm)	32,94 ± 5,31	33,40 ± 3,36	35,61 ± 1,80

Estames curtos (mm)	9,59 ± 2,21	10,66 ± 2,60	10,64 ± 1,68
Estames longos (mm)	12,44 ± 2,47	13,40 ± 2,34	12,80 ± 1,45
Pistilo (mm)	12,60 ± 2,38	10,08 ± 1,33	11,25 ± 0,86
Área floral (mm²)	202,51 ± 116,142	395,26 ± 105,72	353,19 ± 92,50
Receptividade do estigma (sim/não)	Sim	Sim	Sim
Viabilidade do pólen (%)	99,8	100	97,8

Figura 4. Efeito da hora do dia nos modelos ajustados para variáveis morfológicas de gergelim (*S. indicum* L.): (A) comprimento do pistilo, estames curtos e longos; (B) comprimento do cálice e da corola; (C) área foliar.



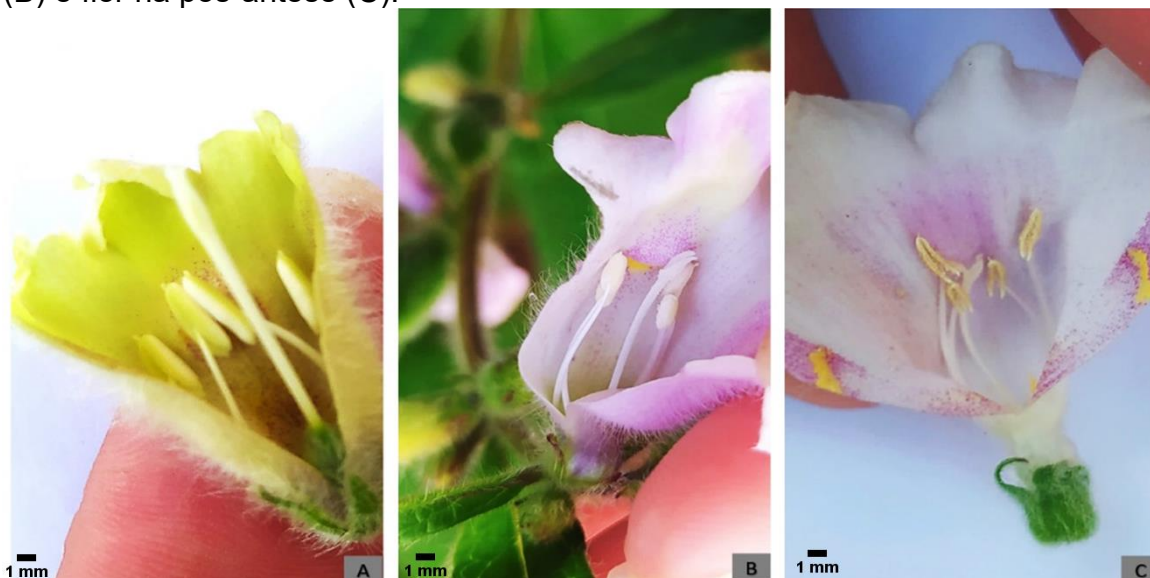
Resultados semelhantes foram relatados por Azeez *et al.* (2017), que observaram uma variabilidade limitada nas características florais do gergelim, com exceção do comprimento da flor (2,03 cm – 3,27 cm) e do estilete (1,10 cm – 1,40 cm), que apresentaram variação moderada entre amostras. Além disso, os estames longos (1,30 cm – 1,57 cm) foram consistentemente maiores que os estiletos. De acordo com Pfahler; Pereira; Barnett (1996), o tamanho do pistilo pode variar entre 12,10 mm e 15,87 mm em diferentes genótipos de gergelim, sendo que fatores ambientais podem ter um impacto significativo sobre essa característica.

Ao comparar os caracteres reprodutivos do gergelim, variedade K3 (Figura 4 e 5), observa-se que o androceu (estames curtos e longos) se alonga ao longo

do desenvolvimento floral. Os estames mais longos continuam seu alongamento até ultrapassar o comprimento do pistilo, posicionando-se acima do estigma, favorecendo a autopolinização, já os estames curtos, embora também se alonguem, mantêm-se em posição mais baixa, permanecendo próximos ao pistilo no final da tarde. Apesar do pistilo não sofrer redução estrutural durante o dia, as medições mostraram um aparente encurtamento do seu comprimento. Esse efeito de regressão no comprimento do pistilo pode ser explicado, pela diminuição da turgência e pelo murchamento do estigma após a antese. Alguns autores como, Ram *et al.* (2006), Kumari, Revathi, Ganesamurthy (2015) e Sruthi *et al.* (2021) relataram que muitos pistilos cruzados (fertilizados) secarem ou murcharem em até oito horas. Andrade *et al.* (2014) e Parmar *et al.* (2017) também observaram que o estigma se apresenta seco e murcho por volta das 12h00.

Essa disposição diferenciada dos estames em alturas variadas facilita o acesso de polinizadores de diferentes tamanhos, aumentando a probabilidade de transferência de pólen para o estigma de outras flores. Isso demonstra que as estruturas evolutivas do gergelim são adaptadas para maximizar a eficiência reprodutiva da planta. Os resultados estão de acordo com Pando *et al.* (2020), que relataram uma taxa de 46,89% de alogamia e 53,11% de autogamia no gergelim. Mili *et al.* (2021) destacaram que, embora o gergelim seja predominantemente autógeno, suas flores atraem polinizadores, resultando em uma taxa de 65% de polinização cruzada. Assim, os diferentes caracteres florais do gergelim favorecem a ocorrência de polinização mista, permitindo a produção de frutos tanto por autopolinização quanto por polinização cruzada, como evidenciado por Delaplane *et al.* (2013).

Figura 5. Corte longitudinal da flor do gergelim (*S. indicum* L.), ilustrando a disposição dos estames e do pistilo nas fases de: botão floral (A), flor na antese (B) e flor na pós-antese (C).



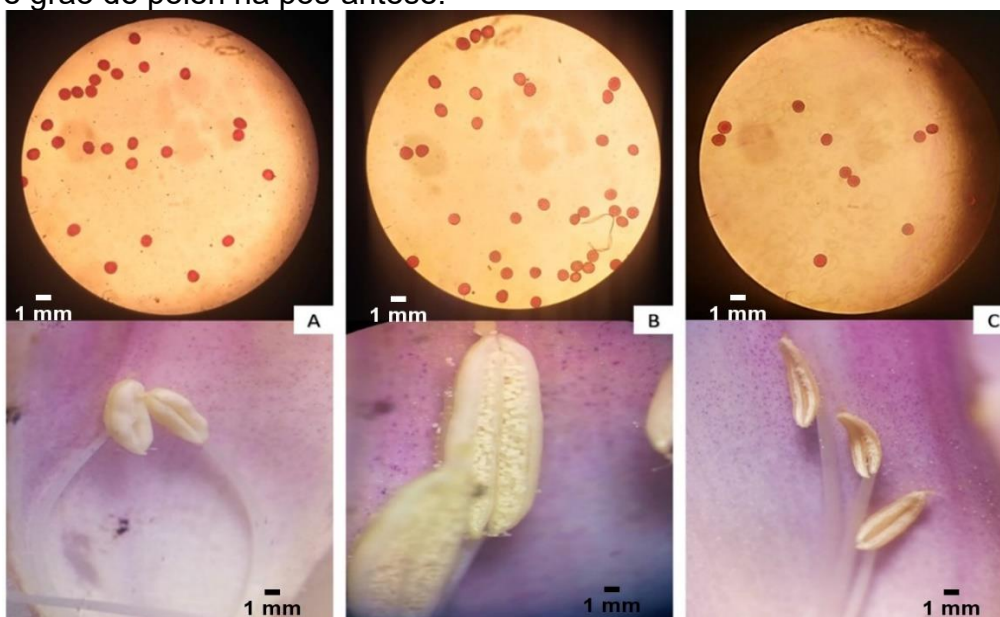
Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

3.2 Teste histoquímico

O androceu da flor de *Sesamum indicum* L. é composto por dois estames longos e dois estames curtos. As anteras são alongadas e possuem coloração branca-amarelada, enquanto os grãos de pólen, de formato arredondado e cor branca, estão presentes em grande quantidade nas tecas durante o horário de antese. Na fase de pós-antese, as anteras assumem coloração marrom e o número de grãos de pólen diminui drasticamente. O teste revelou que os grãos de pólen permanecem viáveis após a antese (99,8% antes da antese, 100% durante a antese e 97% após a antese) (Tabela 4), indicando que a capacidade de polinização da flor se mantém ao longo do dia. Contudo, a quantidade total de pólen presente nas flores na fase de pós-antese não atingiu 100 grãos, o que pode limitar a polinização eficiente durante esse período. Uma menor quantidade de pólen também foi observada por Andrade *et al.* (2014), que relataram uma diminuição drástica dos grãos de pólen nas anteras a partir das 10h00. A maior parte dos grãos de pólen observados nas lâminas foi corada com carmim acético (Figura 6). Sruthi *et al.* (2021) demonstraram que a viabilidade dos grãos de pólen de *S. indicum* durante a antese (das 7h00 às 8h00) foi de 98,75%, confirmando uma alta viabilidade nesse período. Jeyaraj e Beevy (2024) também relataram que a viabilidade dos grãos de pólen de quatro espécies silvestres de *Sesamum* L. variou

de 80% a 94%. Esses resultados corroboram com os dados obtidos neste estudo. Arriel; Guedes; Pereira (2000) afirmaram que os grãos de pólen de gergelim permanecem viáveis por até 24 horas.

Figura 6. Grãos de pólen corados com carmim acético (ampliação 40x) e anteras em diferentes estádios fenológicos (ampliação 40x, 45x e 40x). (A) Antera e grão de pólen em pré-antese; (B) Antera e grão de pólen durante a antese; (C) Antera e grão de pólen na pós-antese.



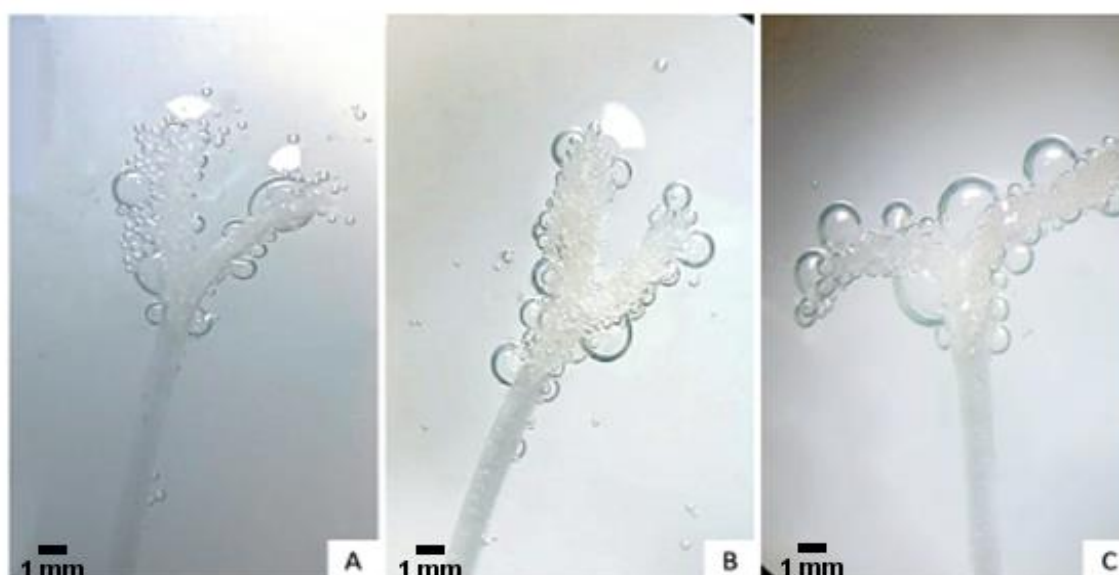
Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

3.3 Receptividade do estigma

Quando o estigma entrou em contato com o peróxido de hidrogênio, o estigma considerado receptivo formou bolhas. Isso ocorre porque, ao estar receptivo, o estigma libera a enzima peroxidase ao entrar em contato com o peróxido, gerando uma efervescência visível. Neste estudo, o estigma se mostrou receptivo tanto na pré-antese quanto durante a antese e pós-antese (Figura 7), permitindo a deposição de pólen por um período prolongado. Estudos sobre a receptividade do estigma em flores de gergelim variam consideravelmente. Os resultados obtidos neste estudo corroboram os de Arriel; Guedes; Pereira (2000), que indicaram que o estigma permanece receptivo da pré-antese até 24 horas após a antese. Jeyaraj; Beevy (2024), ao estudarem quatro espécies de gergelim, afirmaram que o estigma de duas das espécies estudadas permaneceu receptivo por 24 horas, enquanto as outras duas permaneceram receptivas por 48 horas. Parmar *et al.* (2017) e Ekanayake e Karunaratne (2022) relataram que o estigma

se mantém receptivo até às 11 horas. As diferenças observadas na biologia floral do gergelim entre os estudos podem ser atribuídas a diferentes condições ambientais, pois as pesquisas foram realizadas em locais distintos, ou ainda devido a variações entre variedades ou espécies. No entanto, identificar o momento exato em que o estigma está apto a receber e permitir a germinação do grão de pólen é essencial para a fertilização da planta, formação de sementes e para programas de melhoramento genético da espécie.

Figura 7. Pistilos em reação com peróxido de hidrogênio (ampliação 45x). **A** - Estigma na pré-antese; **B** - Estigma na antese; **C** - Estigma na pós-antese.



Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

3.4 Visitantes florais

Durante as avaliações, todos os insetos observados visitando as flores de gergelim (*S. indicum*) pertenciam à ordem Hymenoptera, incluindo abelhas africanizadas, abelhas nativas e abelhas solitárias, sendo as africanizadas mais abundantes (84,73%), as nativas (13,82%) e em menor número as solitárias (1,45%). Ahohuendo *et al.* (2012) reportam resultados semelhantes em experimento realizado no sul do Benin, onde a maior frequência de visitantes foi de insetos da ordem Hymenoptera, com cerca de 63% das visitas. O mesmo foi observado por Selvakumari *et al.* (2022), dos 32 visitantes registrados, 16 eram Hymenoptera e por Layek *et al.* (2024) em experimento realizado na Índia, onde, das 21 espécies encontradas visitando as flores, 18 pertenciam à ordem

Hymenoptera. Mahfouz *et al.* (2012), Mahmoud (2012), Kamel *et al.* (2013), Ngongolo; Mtoka; Rubanza (2015), Rao *et al.* (2022), Rahman *et al.* (2022), Tesfaye e Gaisa (2024) e Sarwar *et al.* (2024) também registraram a ordem Hymenoptera como os principais insetos visitantes em gergelim.

As análises dos modelos ajustados para a taxa de visitação de insetos e o número de flores abertas na planta evidenciaram associações significativas entre o horário do dia e as contagens dessas variáveis. A Tabela 5 apresenta os coeficientes estimados para cada horário, bem como suas respectivas significâncias estatísticas.

As abelhas africanizadas e nativas iniciaram as visitas às flores quando estas começavam a se abrir, entre 7h e 8h, com visitas voltadas para a coleta de recursos, como pólen e néctar. As abelhas africanizadas reduziram as visitas a partir das 12h e finalizaram por volta das 16h, enquanto as abelhas nativas diminuíram as visitas às 10h e finalizaram totalmente às 12h.

Tabela 5. Coeficientes estimados para os efeitos fixos e aleatórios para a taxa de visitas e de flores abertas em gergelim (*S. indicum*).

Variável	Parâmetros	Coeficiente	Z	P	AIC
Visitas totais	Intercepto	-0,59 (0,20)	-2,91	0,0036	859,5
	Hora 8	1,58 (0,21)	7,62	0,0001	
	Hora 10	1,67 (0,21)	8,12	0,0001	
	Hora 12	1,46 (0,21)		0,0001	
	Hora 14	1,06 (0,22)	6,93	0,0001	
	Hora 16	0,25 (0,25)		0,3186	
				4,85	
			1,00		
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,00 (0,00)				
Dia (intercepto)	0,03 (0,17)				
Flores visitadas por abelhas africanizadas	Intercepto	0,21 (0,12)	1,69	0,0903	964,3
	Hora 8	0,84 (0,15)	5,50	0,0001	
	Hora 10	0,90 (0,15)	6,00	0,0001	
	Hora 12	0,76 (0,15)	4,96	0,0001	
	Hora 14	0,67 (0,16)	4,28	0,0001	
	Hora 16	0,20 (0,17)	1,19	0,2342	
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,00 (0,00)				
Dia (intercepto)	0,00 (0,00)				

Flores abertas por planta	Intercepto	0,82 (0,14)	5,99	0,0001	1337,9
	Hora 8	0,96 (0,11)	8,86	0,0001	
	Hora 10	1,04 (0,11)	9,72	0,0001	
	Hora 12	1,03 (0,11)	9,65	0,0001	
	Hora 14	0,97 (0,11)	8,93	0,0001	
	Hora 16	0,70 (0,11)	6,20	0,0001	
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,05 (0,23)				
Dia (intercepto)	0,03 (0,16)				
Abelhas africanizadas	Intercepto	-0,84 (0,23)	-3,61	0,0003	809,8
	Hora 8	1,47 (0,24)	6,23	0,0001	
	Hora 10	1,67 (0,23)	7,19	0,0001	
	Hora 12	1,65 (0,23)	7,07	0,0001	
	Hora 14	1,30 (0,24)	5,42	0,0001	
	Hora 16	0,49 (0,27)	1,82	0,0688	
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,00 (0,00)				
Dia (intercepto)	0,04 (0,21)				
Abelhas nativas	Intercepto	-2,19 (0,44)	-4,94	0,0001	300,3
	Hora 8	1,85 (0,44)		0,0001	
	Hora 10	1,54 (0,45)		0,0006	
	Hora 12	-0,41 (0,65)		0,5299	
	Hora 14	-015,94 (1180,07)		-	0,0140
	Hora 16	-015,94 (1180,07)		-	0,0140
Efeitos aleatórios	Variância (DP)				
Planta (intercepto)	0,01 (0,12)				
Dia (intercepto)	0,12 (0,35)				

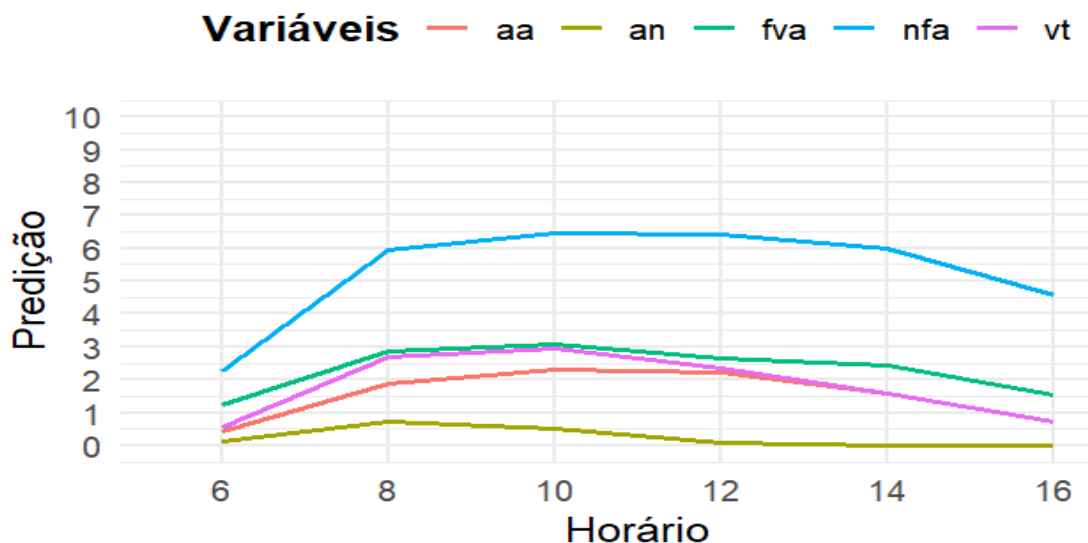
^aREML = Máxima Verossimilhança Restringida

Os resultados indicam que, em geral, as contagens de visitantes totais (vt), de flores visitadas por abelhas africanizadas em 1 min (fva), flores abertas por planta (nfa) e abelhas africanizadas (aa) aumentaram entre 8h e 14h, com significância estatística em todos os modelos ($P < 0,001$), enquanto para o horário de 16h a relação não foi significativa em algumas variáveis, como fva e vt. Além disso, as variâncias associadas aos efeitos aleatórios de planta e dia foram em sua maioria baixas, indicando uma variabilidade limitada entre plantas e dias na maior parte dos modelos (ver Tabela 5 e Figura 8).

A atividade de forrageamento também foi registrada por Selvakumari *et al.* (2022), destacando que o pico de visitas foi entre 8h e 14h, que está de acordo com os resultados do presente trabalho. Para Mahfouz *et al.* (2012), o pico de forrageamento de Hymenoptera foi entre 9h e 11h, destacada principalmente pela abundância da abelha africanizada *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758), o mesmo foi relatado no experimento de Kamel *et al.* (2013) e Ngongolo; Mtoka; Rubanza (2015), sendo o pico de forrageamento entre 11h e 15h, e 8h e 15h respectivamente. No trabalho de Layek *et al.* (2024) a abundância de insetos foi registrada entre 8h e 12h, com diminuição no final da tarde. Rao *et al.* (2022), registrou o aumento de visitantes florais de 6h às 14h e um declínio de 16h às 18h. Esses resultados podem ter relação com os fatores ambientais como luminosidade e temperatura, que geralmente são maiores nesses horários, tornando as condições mais favoráveis para o forrageamento das abelhas.

O alinhamento com estes estudos apoia a validade das observações, com uma janela de atividade relativamente estreita que, mesmo que haja pequenas diferenças nos horários de pico, a atividade dos insetos está concentrada principalmente nas primeiras horas da manhã e no meio do dia. Esses resultados são úteis para ajustar práticas de manejo, principalmente a aplicação de pesticidas, pois assim pode-se evitar os períodos de maior atividade dos polinizadores.

Figura 8. Valores preditos para o número de visitas totais (vt), abelhas nativas (an), abelhas africanizadas (aa), flores abertas por planta (nfa), número de flores visitadas por abelhas africanizadas em 1 min (fva).



Durante as observações, as abelhas africanizadas e nativas visitaram as flores em busca de recursos, como pólen e néctar (Figura 9). Nas primeiras horas da manhã, foi possível observar que a busca por pólen era mais intensa, enquanto, ao longo do dia, a procura por néctar aumentava. Algumas abelhas solitárias também foram vistas visitando as flores (Figura 9), com um padrão de busca por recursos florais semelhante ao das outras abelhas. A procura por néctar foi mais acentuada no período da tarde, e a coleta ocorreu principalmente na base da flor, onde as abelhas perfuravam a corola em busca de néctar.

Os insetos que carregavam pólen nas pernas posteriores foram considerados coletores de pólen, enquanto aqueles que adentravam a corola da flor e não carregavam pólen foram classificados como coletores de néctar. As abelhas que tiveram contato direto com os órgãos reprodutores da flor foram consideradas polinizadoras eficientes.

Resultado semelhante foi descrito por Layek *et al.* (2024), em que a maioria dos insetos visitantes coletava néctar ou pólen, sendo as abelhas dos gêneros *Apis*, *Ceratina*, *Xylocopa* e *Halictus* as mais frequentes e eficientes na polinização do gergelim. Selvakumari *et al.* (2022) classificou os insetos que estendiam a tromba nas flores como coletores de néctar e aqueles que transportavam pólen nas pernas posteriores como coletores de pólen. Para os autores, as abelhas do gênero *Apis* são consideradas polinizadores eficientes devido à sua alta atividade de forrageamento no gergelim.

Sendo assim, este estudo possibilitou compreender as fases fenológicas da floração, a viabilidade do pólen, a receptividade do estigma, além dos principais insetos visitantes e seus comportamentos, contribuindo significativamente para o entendimento da biologia floral e reprodutiva do gergelim, bem como do papel dos insetos visitantes no processo de polinização.

Figura 9. Visitantes florais na flor de gergelim. (A, B, E) Abelhas nativas; (D, F) Abelhas africanizadas; (C, G, H) Abelhas solitárias.



Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

4. CONCLUSÃO

O ciclo reprodutivo e a biologia floral do gergelim (*Sesamum indicum* L.), revelou aspectos importantes da dinâmica reprodutiva da espécie em condições tropicais. Observou-se que, embora o gergelim seja autógamo facultativo, suas características morfológicas favorecem a polinização cruzada, especialmente por agentes bióticos.

A ordem Hymenoptera foi identificada como o único grupo responsável pela visitação floral, composta principalmente por três espécies de abelhas que realizaram o forrageamento entre 6h e 16h, com pico de atividade entre 7h e 12h — período em que as flores apresentaram maior oferta de pólen e néctar.

5. REFERÊNCIAS

ABD ALFATTAH, M. A.; EL-MASARAWY, M. S. Effects of honey bee pollination on seed yield and chemical composition of two sesame varieties in Egypt. **Egyptian Journal of Agricultural Sciences**, v.75, n.1, p.67–77, 2024.

ABD EL-MOHSEN, A. A. Multivariate analysis for evaluating sesame yield and its contributing factors. **Journal of Plant Production**, v.33, n.4, p.2465–2478, 2008.

AHOHUENDO, B., C.; SINÉBOU, V. C. O.; AHOTON, L. E.; ETÈKA, A. C.; DANSI, A.; AHANCHÉDÉ, A.; HOUNHOUIGAN, J. D.; SANNI, A.; FOUCAULT, B. de. Phénologie et biologie florale de *Sesamum radiatum* schumach. & thon., un légume feuille traditionnel en voie de domestication au Bénin. **Acta Botanica Gallica**, v.159, n.3, p.335–344, 2012.

ALI, S.; JAN, A. Sowing dates and nitrogen levels effect on morpo-phenological traits of sesame cultivars. **Journal of Environment and Earth Science**, v.4, n.22, p.155, 2014.

ANDRADE, P. B. de; FREITAS, B. M.; ROCHA, E. E. de M.; LIMA, J. A. de; RUFINO, L. L. Floral biology and pollination requirements of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 36, n. 1, p. 93-99, 2014.

ARRIEL, N. H. C.; GUEDES, A. R.; PEREIRA, J. R. **Descrição botânica e técnicas de polinização controlada no gergelim (*Sesamum indicum* L.)**. Campina Grande: Embrapa Algodão, ed. 1, 2000. (Comunicado Técnico, 113).

AZEEZ, M. A.; OLOWOOKERE, M. B.; ANIMASAUN, D. A.; BELLO, B. O. Utility of some floral characters in the assessment of genetic diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.). **Acta agriculturae Slovenica**, v.109, n.1, p.61–70, 2017.

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, [S. I.], v.67, n.1, p.1–48, 2015.

BHOOT, H. V.; SHARMA, L. K.; KULKARNI, G. U.; RAVAT, U.; RATHVA, S. Characterization of sesame genotypes through morphological characters. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 3, p. 3132–3138, 2019.

BROOKS, M. E.; KRISTENSEN, K.; VAN BENTHEM, K. J.; et al. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. **The R Journal**, v. 9, n. 2, p. 378–400, 2017.

CRUZ, D. de O.; FREITAS, B. M. Diversity of bee species floral visitors and potential pollinators of oleaginous crops in Northeast of Brazil. **AMBIÊNCIA**, v.9, n.2, p.411–418, 2013.

DAFNI, A. **Pollination ecology: a practical approach**. Oxford University Press, 250p., 1992.

DAFNI, A.; KEVAN, P.G.; HUSBAND, B.C. **Practical pollination biology**. Ontario: **Environquest**, 590p., 2005.

DAFNI, A.; MAUÉS, M. M.A. Rapid and simple procedure to determine stigma receptivity. **Sexual Plant Reproduction**, v.11, p.177-180, 1998.

DAS, R.; JHA, S. Insect pollinators of sesame and the effect of entomophilous pollination on seed production in new alluvial zone of west Bengal. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 3, p. 1400–1409, 2019.

DELAPLANE, K. S.; DAG, A.; DANKA, R. G.; FREITAS, B. M.; GARIBALDI, L. A.; GOODWIN, R. M.; HORMAZA, J. I. Standard methods for pollination research with *Apis mellifera*. **Journal of Apicultural Research**, v. 52, n. 4, p. 1–28, 2013.

EKANAYAKE, E. M. D.; KARUNARATNE, W. A. I. P. Native Sri Lankan bees enhance pollination of sesame, *Sesamum indicum*. **Ceylon Journal of Science**, v.51, p. 29-36, 2022.

EL NAIM, A. M.; EL DAY, E. M.; AHMED, A. A. Effect of plant density on the performance of some sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under rain fed. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v.6, p.498–504, 2010.

FREITAS, B. M. KLEIN, A-M.; BOMFIM, I. G. A.; FORNOFF, F.; BOREUX, V.; OLIVEIRA, M. O. **Polinização agrícola por insetos no Brasil: um guia para fazendeiros, agricultores, extensionistas, políticos e conservacionistas**. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Nature Conservation and Landscape Ecology, 162 p., 2020. Disponível em: <https://abelha.org.br/guia-de-polinizacao-abelhas-agricultur>. Acesso em: 1 set. 2024.

FURAT, S.; UZUN, B. The use of agro-morphological characters for the assessment of genetic diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.). **Plant Omics Journal**, v.3, p.85-91, 2010.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados meteorológicos - históricos de dados meteorológicos - ano 2023. Brasília, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 03 out. 2024.

IPGRI; NBPGR. Descriptors for sesame (*Sesamum* spp.). Roma, Itália; Nova Délhi, Índia: international plant genetic resources institute; national bureau of plant genetic resources, 2004. Disponível em: <http://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/2bf9f6db-ece0-4ce4-9471-e2b8661b85b8/content>. Acesso em: 1 set. 2024.

JEYARAJ, S.; BEEVY, S. S. Insights into the drought stress tolerance mechanisms of sesame: the queen of oilseeds. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.43, n.10, p. 3370–3391, 2024.

KALWIJ, J. M.; PALMER, M. Review of the plant list, a working list of all plant species. **Journal of Vegetation Science**, v.23, ed. 5, p. 998-1002, 2012.

KAMEL, S. M.; BLAL, A. H.; MAHFOUZ, H. M.; SAID, M. The most common insect pollinator species on sesame crop (*Sesamum indicum* L.) in Ismailia Governorate, Egypt. **International Academy of Ecology and Environmental Sciences**, v. 2, n. 2, p. 66–74, 2013.

KEARS, C. A.; INOUYE, D. W. Techniques for pollination biologists. Niwot: **University Press of Colorado** 583p., 1993.

KHIDIR, M. O.; OSMAN, H. E. G. Correlation studies of some agronomic characters in sesame. **Experimental Agriculture**, v.6, n.1, p.27–31, 1970.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate. in: handbuch der klimatologie**, Bd. 1. Gebrüder Borntraeger, Berlin, p.1-44, 1936.

KUMARI, B. M.; REVATHI, S.; GANESAMURTHY, K. Fertilization barriers in the inter-specific crosses of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Lifesciences Leaflets**, v.68, p.70-77, 2015.

LAYEK, U.; BHANDARI, T.; DAS, A.; KARMAKAR, P. Floral visitors of sesame (*Sesamum indicum* L.): elucidating their nectar-robbing behaviour and impacts on the plant reproduction. **PLOS One**, v. 19, n. 4, e0300398p., 2024.

LINNAEUS, C. **Systema naturae per regna tria naturae, classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis**. 10. ed. Holmiae: Laurentii Salvii, 1758.

LÜDECKE, D. ggeffects: Tidy data frames of marginal effects from regression models. **Journal of Open Source Software**, v.3, n.26, p.772, 2018.

MAHFOUZ, H. M.; KAMEL, S. M.; BELAL, A. H.; SAID, M. Pollinators visiting sesame (*Sesamum indicum* L.) seed crop with reference to foraging activity of some bee species. **Journal of Applied Life Sciences and Environment**, v.45, n.2, p.49-55, 2012.

MAHMOUD, M. F. Insects associated with sesame (*Sesamum indicum* L.) and the impact of insect pollinators on crop production. **Pesticidi i fitomedicina**, v.27, n.2, p.117–129, 2012.

MAIA, A. K. P.; GUIMARÃES, J. N.; SILVA, L. T. da; GALVÃO, A. S.; RIBEIRO, J. A.; MORAIS, L. I. S.; MELO, I. R. L.; RIBEIRO, M. S. M.; RIBEIRO, O. D.; QUADROS, B. R. de Comportamento fotoblástico de cultivares de gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista ft, Ciências Agrárias**, ISSN 1678-0817, v.28, ed.132, 2024.

MILI, A.; DAS, S.; NANDAKUMAR, K.; LOBO, R. A comprehensive review on *Sesamum indicum* L.: botanical, ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological aspects **Journal of Ethnopharmacology**, v. 281, p. 114-503, 2021.

MYINT, D.; GILANI, S. A.; KAWASE, M.; WATANABE, K. N. Sustainable sesame (*Sesamum indicum* L.) production through improved technology: an overview of production, challenges, and opportunities in Myanmar. **Sustainability**, v. 12, n. 9, 3515p., 2020.

NAPOLETANO, K. **Impollinazione guidata su sesamo (*Sesamum indicum* L.) nel Nordeste del Brasile**. Monografia (Graduação em Ciências Agrárias Tropicais e Subtropicais) – Università degli Studi di Firenze, Florença, Itália, 2008. 100p.

NGONGOLO, K.; MTOKA, S.; RUBANZA, C. D. Floral visitors and pollinators of sesame (*Sesamum indicum* L.) from kichi forest to the adjacent local communities' farms. **Entomology and Applied Science Letters**, v.2, p. 32-39, 2015.

- PANDO, J. B.; DJONWANGWÉ, D.; MOUDELSIA, O. B.; FOHOOU, F-N. T.; TAMESSE, J. L. Effect of insect pollination on the yield of *Sesamum indicum* (Pedaliaceae) in Maroua-Cameroon. **Journal of advances in agriculture**, v. 11, p. 22–36, 2020.
- PARMAR, R. S.; CHOVIATIA, V. P.; BARAD, H. R.; SAPARA, G. K. Method of pollination using female parents in *Sesamum* (*Sesamum indicum* L.) for different time during summer. **Progressive Research – An International Journal**, v.12, p. 2460-2463, 2017.
- PEREIRA, J. R.; ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; QUEIROGA, V. de P. Preparo do solo e plantio. In ARRIEL, N. H. C.; SILVA, E. C. da F.; GOMES, N. M. S.; SOUSA, G. F. de F. **Cultivo do gergelim. Sistemas de produção EMBRAPA**, ISSN 1678-8710 6, Embrapa Algodão, 46p.,2023. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1155372/1/Cultivo-do-Gergelim.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2025.
- PERIN, A.; CRUVINEL, D. J.; SILVA, J. W. da. Desempenho do gergelim em função da adubação NPK e do nível de fertilidade do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, p.93–98, 2010.
- PFAHLER, P. L.; PEREIRA, M. J.; BARNETT, R. D. Genetic and environmental variation in anther, pollen and pistil dimensions in sesame. **Sexual Plant Reproduction**, v.9, n.4, p.228–232,1996.
- POTTS, S. G.; DAFNI, A.; NE'EMAN, G. Pollination of a core flowering shrub species in Mediterranean phrygana: variation in pollinator diversity, abundance and effectiveness in response to fire. **Oikos**, v.92, n.1, p.71–80, 2001.
- R CORE TEAM (2024)**. R: A language and environment for statistical computing. [s. l.]: r foundation for statistical computing. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- RAHMAN, M Z.; REZA, M. E.; HOSSAIN, M. S.; ALI, M. R.; HOSSAIN, M. S. Effect of bee pollination on yield of sesame. **Ecology Journal**, v.4, p.1-7, 2022.
- RAM, S. G.; SUNDARAVELPANDIAN, K.; KUMAR, M.; VINOD, K. K.; BAPU, J. R. K.; RAVEENDRAN, T. S. Pollen–pistil interaction in the inter-specific crosses of *Sesamum* sp. **Euphytica**, v.152, n.3, p.379–385, 2006.
- RAO, K. S.; KUMAR, Y.; YADAV, S.; POONIA, R.; NAYAK, S. Effect of different modes of pollination on Sesame yield parameters. **Biological Forum –An International Journal**. v. 14, p. 238–242, 2022.
- SANTOS, C. A. C. dos; PEIXOTO, C. P.; VIEIRA, E. L.; SILVA, M. R. da; BULHÕES, I. S.; CARVALHO, E. V. de; SOUZA, M. S. de. Desempenho do girassol submetido a um bioestimulante vegetal em duas épocas de semeadura e dois arranjos espaciais. **MAGISTRA**, v.29, n.1, p.36–46, 2017.
- SARWAR, G.; AKRAM, W.; ASLAM, S.; MAHMOOD, R.; PATHAN, A. K.; ISLAM, N.; RAFIQUE, M. K.; DAHRI, Z. H. Pollinator profile and their influence on the yield enhancement in sesame. **Plant Bulletin**, v.3, n.1, p. 68–76, 2024.

- SELVAKUMARI, G.; RANI, B. U.; SURESH, K.; ANAND, G.; SHANTHI, M. Abundance and foraging behaviour of entomophilous pollinators on sesame, *Sesamum indicum* L. **Indian Journal of Ecology**, v.49, p. 228-234, 2022.
- SILVA, N. B. da; AMARAL, C. L. F. Aplicação de testes colorimétricos para determinação da viabilidade polínica em *Catharanthus roseus* [L.] G. Don (Gentianales). **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.19, n.2, p.93–97, 2021.
- SRUTHI, S. R.; KALAIYARASI, R.; SASIKALA, R.; SUDHA M. An insight into the reproductive success in an interspecific cross of *Sesamum*. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v.12, n.3, p.827–834, 2021.
- TESFAYE, O.; GAISA, E. The effect of I. pollination on seed yield and nutritional qualities of I. in dale sedi district of Western Oromia, Ethiopia. **Legume Science**, v.6, n.3, p. 1-9, 2024.
- TESFAYE, T.; TEFAYE, K.; KENENI, G.; ALEMU, T. Morphological characteristics and genetic diversity of Ethiopian sesame genotypes. **African Crop Science Journal**, v.29, n.1, p.59–76, 2021.
- TRONCOSO-PONCE, M. A.; KILARU, A.; CAO, X.; DURRETT, T. P.; FAN, J.; JENSEN, J. K.; THROWER, N. A.; PAULY, M.; WILKERSON, C.; OHLROGGE, J. B. Comparative deep transcriptional profiling of four developing oilseeds: Transcriptional profiling of oilseeds. **The Plant Journal**, v. 68, ed. 6, p.1014–1027, 2011.
- WADA, E.; LOHA, G.; LEJA, D.; GOGILE, A. Performance evaluation of commercial sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars for yield and yield related traits in Wolaita, southern Ethiopia. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development (AJFAND)**, v.22, n.3, 2022.
- WAN, Y.; ZHOU, Q.; ZHAO, M.; HOU, T. Byproducts of sesame oil extraction: composition, function, and comprehensive utilization. **Foods**, v.12, n.12, p. 23-83, 2023.
- WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant graphics for data analysis**. Cham: Springer International Publishing, 260 p., 2016. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>. Acesso em: 12 jan. 2025.
- YADAV, R.; KALIA, S.; RANGAN, P.; PRADHEEP, K.; RAO, G. P.; KAUR, V.; PANDEY, R.; RAI, V.; VASIMALLA, C. C.; LANGYAN, S.; SHARMA, S.; THANGAVEL, B.; RANA, V. S.; VISWAKARMA, H.; XÁ, A.; SAXENA, A.; KUMAR, A.; SINGH, K.; SIDDIQUE, K. H. M. Current research trends and prospects for yield and quality improvement in sesame, an important oilseed crop. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 863521, 2022.

CAPÍTULO 2

Importância da polinização biótica no rendimento e qualidade de sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.) no Nordeste do Brasil

Importância da polinização biótica no rendimento e qualidade de sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.) no Nordeste do Brasil

RESUMO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) tem ganhado destaque no mercado agrícola, especialmente pela crescente demanda internacional e pela sua viabilidade em sistemas de segunda safra, devido à baixa exigência hídrica. Apesar de ser uma espécie predominantemente autógama, o papel dos polinizadores na produtividade ainda é pouco explorado. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes métodos de polinização sobre a produtividade e a qualidade fisiológica das sementes de gergelim. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições e dez parcelas de 2,5 × 10 m. Foram comparados cinco tratamentos: polinização livre, polinização restrita com gaiola, autopolinização, geitonogamia e polinização cruzada manual. Em cada tratamento, 150 flores foram marcadas e, nos casos de polinização manual, as flores foram emasculadas previamente. A frutificação foi avaliada três dias após a polinização, e a persistência dos frutos verificada na colheita. As variáveis analisadas incluíram rendimento de grãos (kg/ha), massa de mil sementes, peso de uma semente, número de frutos por planta, número de sementes por fruto, germinação, vigor, comprimento e massa (fresca e seca) de plântulas e raízes. Os dados foram submetidos à ANOVA e ao teste de Student-Newman-Keuls ($p \leq 0,05$). Os resultados indicaram que, embora o gergelim apresente elevada capacidade de autopolinização, a polinização aberta promoveu incremento significativo na produtividade (497,78 kg/ha) em comparação com o tratamento restringido (387,28 kg/ha). Além disso, houve médias mais altas para número de frutos por planta e número de sementes por fruto nas condições de polinização aberta. Por outro lado, a germinação, o peso de mil sementes e o vigor não tiveram diferenças significativas entre os tratamentos, sugerindo que a ausência de polinizadores não prejudica a qualidade fisiológica das sementes. Portanto, podemos concluir que, embora o gergelim possa se autopolinizar, a presença de polinizadores contribui no aumento da produtividade. Esse aumento produtivo é extremamente importante em uma cultura cuja comercialização está diretamente ligada à quantidade de sementes produzidas. Esses resultados destacam a importância de conservar os polinizadores e de adotar práticas agrícolas que estimulem a presença desses agentes na cultura do gergelim.

Palavras-chave: Gergelim, polinizadores, geitonogamia, rendimento de sementes

Importance of biotic pollination on sesame seed yield and quality (*Sesamum indicum* L.) in Northeast Brazil

ABSTRACT

Sesame (*Sesamum indicum* L.) has gained prominence in the agricultural market, especially due to the growing international demand and its viability in second crop systems, due to the low water requirement. Despite being a predominantly autogamous species, the role of pollinators in productivity is still little explored. This study aimed to evaluate the effects of different pollination methods on the yield and physiological quality of sesame seeds. The experiment was conducted in a completely randomized design, with five replications and ten plots of 2.5 × 10 m. Five treatments were compared: free pollination, restricted pollination with cage, self-pollination, geitonogamy and manual cross-pollination. In each treatment, 150 flowers were marked and, in cases of manual pollination, the flowers were previously emasculated. Fruiting was evaluated three days after pollination, and fruit persistence was verified at harvest. The variables analyzed included grain yield (kg/ha), weight of one thousand seeds, weight of one seed, number of fruits per plant, number of seeds per fruit, germination, vigor, length and mass (fresh and dry) of seedlings and roots. Data were submitted to ANOVA and the Student-Newman-Keuls test ($p \leq 0.05$). The results indicated that, although sesame has a high capacity for self-pollination, open pollination promoted a significant increase in productivity (497.78 kg/ha) compared to restricted treatment (387.28 kg/ha). In addition, there were higher averages for the number of fruits per plant and the number of seeds per fruit under the open pollination conditions. On the other hand, germination, weight of one thousand seeds and vigor did not have significant differences between the treatments, suggesting that the absence of pollinators does not impair the physiological quality of the seeds. Therefore, we can conclude that, although sesame can self-pollinate, the presence of pollinators contributes to increased productivity. This increase in production is extremely important in a crop whose commercialization is directly linked to the amount of seeds produced. These results highlight the importance of conserving pollinators and adopting agricultural practices that encourage the presence of these agents in sesame crops.

Keywords: Sesame, pollinators, geitonogamy, seed yield

1. INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma oleaginosa de grande relevância agrícola, cultivada mundialmente por suas sementes e pelo óleo de elevado valor nutritivo. Devido à sua rusticidade e tolerância a condições climáticas adversas, a cultura representa uma alternativa estratégica para agricultores em regiões de clima instável (Ratan *et al.*, 2020).

Em 2023, a produção global estimada de gergelim foi de 6,79 milhões de toneladas, cultivadas em uma área de 13,05 milhões de hectares, com rendimento médio de 520,1 kg/ha. A África respondeu por cerca de 55,8% da produção mundial. O Sudão destacou-se como o principal produtor, com 4.571.307 hectares cultivados, embora com baixa produtividade média (299,2 kg/ha). Em contraste, a Índia, segundo maior produtor, registrou área plantada de 3.534.721 hectares e produtividade média de 1.079 kg/ha (Faostat, 2023).

No Brasil, a área cultivada na safra 2023/24 foi de 659,9 mil hectares, com produtividade média de 547 kg/ha. Para a safra 2024/25, projeta-se uma redução de 3,7% na área plantada (635,5 mil ha), acompanhada de um aumento de 12,5% na produtividade (616 kg/ha), resultando em uma produção estimada de 391,6 mil toneladas (Conab, 2025).

A polinização é um dos principais serviços ecossistêmicos prestados pela biodiversidade, sendo essencial para a reprodução de grande parte das espécies vegetais com flores e para a estabilidade dos ecossistemas terrestres. Estima-se que aproximadamente 87,5% das espécies de angiospermas dependem de polinizadores animais, com variações regionais que indicam maior dependência em regiões tropicais (Turo *et al.*, 2024). Essa interação planta-polinizador não apenas sustenta comunidades naturais, mas também contribui diretamente para a produtividade agrícola. A nível global, cerca de 75% das culturas alimentares apresentam algum grau de dependência da polinização animal, sendo que 13 são essenciais e 30 altamente dependentes (Klein *et al.*, 2007).

Estudos têm demonstrado que paisagens agrícolas próximas a florestas e pastagens tendem a apresentar maior produtividade, justamente pela maior oferta de polinizadores silvestres (Mulwa *et al.*, 2022). Além disso, práticas agrícolas sustentáveis, como o manejo adequado da época de floração e a conservação dos habitats de abelhas, aumentam a eficiência da polinização e a lucratividade das

lavouras (Sritongchuay *et al.*, 2021). No entanto, a intensificação agrícola, quando não aliada à conservação de polinizadores, pode comprometer significativamente os serviços de polinização, afetando tanto a diversidade quanto a produtividade agrícola em escala regional e global. Adicionalmente, a exposição contínua dos polinizadores a pesticidas representa uma ameaça concreta à saúde das abelhas e à segurança ambiental, conforme evidenciado por Cunha *et al.* (2024).

As flores de gergelim são autopolinizáveis durante a antese, no entanto, o estigma permanece receptivo ao pólen de outras plantas, o que permite a ocorrência de polinização cruzada. Além disso, suas flores são atrativas para uma ampla variedade de insetos visitantes, especialmente abelhas, que atuam como agentes de polinização entomófila (Ratan *et al.*, 2020; Freitas *et al.*, 2020). O gergelim também se destaca como uma planta melífera atrativa, sendo uma importante fonte de néctar para as abelhas (Pashte e Shylesha, 2013).

A atividade de abelhas, especialmente *Apis mellifera*, está positivamente correlacionada ao aumento da produtividade do gergelim, refletidos em maior número de frutos e sementes com maior peso (Rahman *et al.*, 2022; Rao *et al.*, 2022; Sarwar *et al.*, 2024). Estudos conduzidos por Andrade *et al.* (2014), Ekanayake e Karunaratne (2022) e Abd Alfattah e El-Masarawy (2024) indicam que a polinização livre por insetos promove maior produção de frutos em comparação a tratamentos de polinização restrita, reforçando a hipótese de que a produtividade do gergelim é potencializada por agentes polinizadores. Esse efeito positivo também foi evidenciado por Ekanayake e Karunaratne (2022), que relataram um aumento de até 75% na produtividade de culturas submetidas à polinização animal.

Por outro lado, Tesfaye e Gaisa (2024) observaram que a polinização por abelhas não resultou em aumento no número de cápsulas por planta quando comparada a outros métodos de polinização controlada. Ainda assim, as plantas submetidas à exclusão total de polinizadores apresentaram menor número de sementes por cápsula, bem como redução no peso e no rendimento total de sementes, indicando que a presença de polinizadores, mesmo que não influencie todos os componentes produtivos, é relevante para a produção.

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da presença de polinizadores sobre os componentes produtivos e a qualidade das sementes de gergelim (*S. indicum* L.) por meio de experimentos que compararam plantas isoladas de polinizadores e plantas expostas livremente à ação dos insetos. Além

disso, buscou-se determinar o requerimento de polinização da cultura, investigando a eficiência dos diferentes mecanismos reprodutivos na formação de frutos e sementes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a safra de 2024 no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em Cruz das Almas, Bahia, Brasil (12°40'S, 39°06'W; 226 m de altitude). O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo. A espécie utilizada foi o gergelim (*Sesamum indicum* L.), cultivar K3, caracterizada por crescimento ramificado, porte médio a alto, sementes de coloração marrom e cápsulas semideiscentes (Maia *et al.*, 2024).

O delineamento experimental contou com 10 parcelas de 2,5 m × 10 m (25 m² cada), totalizando 345 m². A área foi preparada com maquinário agrícola e a semeadura ocorreu em 11 de julho de 2024, adotando espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas, com profundidade de semeadura adequada à cultura. Foi aplicada adubação de base com NPK (4-14-8) na dose de 550 kg ha⁻¹, o que correspondeu a 3,30 kg da formulação no total, equivalente a 11 g por metro linear (Perin *et al.*, 2010).

A emergência das plantas foi observada até 12 dias após a semeadura, alcançando 90% das plântulas. O desbaste foi realizado em duas etapas: a primeira quando as plantas apresentaram quatro folhas, mantendo-se 20 plantas por metro linear; e a segunda, ao atingirem aproximadamente 15 cm de altura, reduzindo-se para duas plantas por cova, com densidade final de 10 plantas por metro linear, conforme recomendações da Embrapa Algodão (Pereira *et al.*, 2023). Os tratamentos culturais consistiram exclusivamente em capinas manuais, sem uso de produtos fitossanitários.

Durante o período experimental, de 11 de julho a 18 de novembro de 2024, as condições climáticas foram caracterizadas por temperaturas médias entre 22 °C e 26 °C, com mínimas de 20 °C e máximas de até 33 °C. A precipitação acumulada foi de aproximadamente 355,2 mm, com distribuição irregular: julho (61 mm), agosto (115,8 mm), setembro (39,2 mm), outubro (93,5 mm) e novembro (45,7 mm).

A umidade relativa do ar variou de 87% em julho para 73% em outubro e novembro (INMET, 2024).

2.1 Experimento 1 - Polinização livre e restrita

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, totalizando 10 parcelas. Os tratamentos consistiram em duas condições de polinização: área livre (flores expostas aos polinizadores) e área restrita (exclusão de insetos mediante gaiolas de polinização) (Figura 1). As gaiolas foram confeccionadas com malha de náilon (2×2 mm), sustentadas por tubos de PVC de $\frac{3}{4}$ de polegada, com dimensões de $3 \times 10 \times 1,80$ m, cobrindo uma área útil de 24 m^2 . Foram montadas no início da floração e desmontadas após o término do florescimento, permitindo o completo desenvolvimento vegetativo das plantas. A área total experimental foi de 345 m^2 , e as avaliações foram realizadas nas plantas cultivadas na área útil de $8,96 \text{ m}^2$ por parcela.

Para a estimativa dos componentes agronômicos e de qualidade das sementes, foram avaliadas plantas da área útil de cada parcela. As seguintes variáveis foram mensuradas: rendimento de grãos (kg ha^{-1}), calculado com base na produção obtida na área útil ($8,96 \text{ m}^2$) de cada parcela e convertido para hectare; massa de mil sementes (g), determinada por meio da pesagem de oito repetições de cem sementes puras e secas por parcela; número de frutos por planta, obtido pela média de vinte plantas aleatoriamente selecionadas em cada parcela; número de sementes por fruto, estimado pela média de vinte cápsulas por parcela; e número de ramos por planta, contabilizado em vinte plantas por parcela.

O vigor (primeira contagem) e a germinação (contagem final) das sementes foram avaliados por meio de quatro repetições de vinte e cinco sementes, dispostas em caixas do tipo Gerbox. A primeira contagem foi realizada três dias após a semeadura, registrando-se o percentual de plântulas normais (VPN), plântulas anormais (VPA), sementes mortas (VSM), sementes duras (VSD) e o vigor (VIGOR). A contagem final foi realizada aos seis dias, com registro da germinação (GERM), plântulas normais (GPN), plântulas anormais (GPA), sementes mortas (GSM) e sementes duras (GSD). Também foram determinados o tempo médio de germinação (TMG) e o índice de velocidade de germinação (IVG), conforme as recomendações da RAS (Brasil, 2009).

Adicionalmente, foi mensurado o comprimento da parte aérea (CPA, cm) e das raízes (CR, cm) das plântulas normais com auxílio de paquímetro digital. O peso fresco da parte aérea (PFPA, g) e das raízes (PFR, g), bem como o peso seco da parte aérea (PSPA, g) e das raízes (PSR, g), foram obtidos após secagem das plântulas em estufa a 65 °C até atingirem peso constante, conforme metodologia adaptada de Aguiar *et al.* (2014) e Nóbrega *et al.* (2018).

Figura 1. Gaiolas de polinização montadas em campo



Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

2.2 Experimento 2 – Requerimentos de polinização

Com o objetivo de estimar o requerimento de polinização do gergelim, foram selecionados aleatoriamente 650 botões florais dentro da área experimental. As flores foram submetidas a cinco diferentes tratamentos: (1) polinização livre (n = 150), em que flores foram marcadas para avaliar o nível natural de polinização realizado pelos polinizadores presentes na área; (2) polinização restrita com saco de papel (n = 150), em que botões florais foram ensacados com papel, permitindo estimar a capacidade de autopolinização sem a interferência de vetores externos, como vento ou insetos; (3) polinização restrita ao vento (n = 150), em que flores foram marcadas dentro da área protegida por gaiolas, visando avaliar exclusivamente o efeito do vento como vetor de pólen; (4) autopolinização manual (geitonogamia) (n = 150), em que flores previamente ensacadas com tule foram emasculadas com auxílio de pinças e receberam pólen manualmente de outra flor

da mesma planta; e (5) polinização cruzada manual (n = 150), em que flores foram emasculadas e polinizadas manualmente com pólen proveniente de uma planta distinta, assegurando a ocorrência de polinização cruzada (Figuras 2 e 3).

Os parâmetros avaliados neste experimento incluíram o número de frutos formados (taxa de frutificação %), verificado três dias após a manipulação das flores, o número de frutos colhidos (taxa de colheita %), contabilizado no momento da colheita, e o número de frutos abortados (taxa de abortos %), obtido pela diferença entre os frutos formados e os efetivamente colhidos. Além disso, foi determinado o número de sementes por fruto, através da contagem direta das sementes presentes em cada fruto colhido, e o peso de sementes por fruto, estimado pela multiplicação do número de sementes pelo peso médio individual de cada semente (em g).

Figura 2. Polinização restrita com saco de papel (A), Polinização livre, marcada com fita (B)



Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

Figura 3. Polinização cruzada manual (A), Autopolinização manual (geitonogamia) (B).



Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

2.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) após verificação do atendimento aos pressupostos de normalidade dos erros, homogeneidade de variâncias e independência dos erros. As variáveis que atenderam aos pressupostos paramétricos foram analisadas por ANOVA, e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK). Para as variáveis expressas em taxas, como frutificação, colheita e abortos, aplicou-se o teste exato de Fisher com correção de Bonferroni. Em todas as análises adotou-se o nível de 5% de significância. As análises foram realizadas no *software* R (R Core Team, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Experimento 1

Os resultados referentes ao rendimento de grãos do gergelim e seus componentes produtivos estão apresentados na Tabela 1. O rendimento de grãos sob polinização livre foi 28,50% maior ao da polinização restrita, acompanhado por um aumento de 12,80% no número de frutos por planta e 10,40% no número de

sementes por fruto. Por outro lado, a massa de mil sementes e o número de ramos por planta não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 1. Efeitos da polinização livre e restrita sobre os componentes de produção de gergelim (*S. indicum* L.), em Cruz das Almas, BA, 2024.

Variável	Polinização Livre (Média ± DP)	Polinização Restrita (Média ± DP)	F	p-valor
Massa de 1000 sementes (g)	0,29 ± 0,006	0,28 ± 0,014	2,84	0,13
Número de ramos/ planta	1,99 ± 0,30	1,80 ± 0,15	1,60	0,24
Número de frutos/ planta	48,5 ± 2,84	43,0 ± 2,81	9,21	0,02
Número de sementes/ fruto	69,0 ± 1,71	62,5 ± 2,67	20,89	<0,01
Rendimento (kg/ ha)	497,78 ± 51,45	387,28 ± 37,83	15,01	<0,01

Esses resultados são consistentes com os obtidos por Ela *et al.* (2021), que também observaram que o número médio de frutos por planta ($64,80 \pm 34,91$) e o número médio de sementes por fruto ($69,81 \pm 8,88$) foram maiores no tratamento de polinização livre quando comparados com os tratamentos protegidos. Os autores atribuíram o aumento desses componentes de *S. indicum* L. à ação das abelhas polinizadoras.

Resultados semelhantes foram relatados por Layek *et al.* (2024), onde o tratamento livre aos polinizadores apresentou uma porcentagem de frutificação ($96 \pm 6,99\%$) e número de sementes por fruto ($54,07 \pm 15,28$) maiores ao tratamento com exclusão de polinizadores ($83 \pm 9,49\%$ e $43,17 \pm 20,44$, respectivamente). Pando, Djonwangwé e Moudelsia (2020), ao comparar polinização por abelhas e polinização restrita, também obtiveram resultados maiores para o percentual de frutificação na polinização por abelhas ($98,34\%$ vs. $93,67\%$), assim como no número de sementes por fruto ($91,34 \pm 8,25$ vs. $86,23 \pm 9,04$). Para esses mesmos parâmetros, Kaur *et al.* (2023) registraram valores de $96,30 \pm 1,61$ e $61,16 \pm 0,12$ no tratamento livre e $75,73 \pm 0,99$ e $54,83 \pm 0,44$ no tratamento restringido. Rahman *et al.* (2022), em experimento com plantas de gergelim cobertas por gaiolas com abelhas, livres e restritas aos polinizadores, também apresentaram melhores resultados nos tratamentos com abelhas (número de frutos por planta 86,5; número de sementes por fruto 56,8) e livre aos polinizadores (83,5; 51,5), enquanto o tratamento restrito obteve 58,8 e 45,8, respectivamente. Abd Alfattah e El-

Masarawy (2024) também apresentaram resultados maiores para a polinização em área livre, nos parâmetros número de frutos por planta (74,9; 88,7 e 66,5; 74,8) e rendimento total (986,9 kg; 1137,1 kg e 888,2 kg; 913,8 kg) em dois anos consecutivos (2020 e 2021).

Embora o rendimento de grãos tenha sido significativamente maior no tratamento livre aos polinizadores, a massa de mil sementes foi estatisticamente semelhante entre os tratamentos, indicando que a polinização está intrinsecamente relacionada à quantidade de sementes produzidas, e não ao peso ou tamanho das sementes.

Segundo Melo (2023), a cultivar K3 apresenta potencial produtivo que varia entre 700 e 1000 kg/ha. No presente experimento, a produtividade observada ficou abaixo desse intervalo, provavelmente devido às condições meteorológicas adversas durante o ciclo da cultura, especialmente a distribuição irregular das chuvas, com destaque para o déficit hídrico acentuado no mês de setembro, período crítico de floração e início do enchimento das cápsulas. Esse fator pode ter limitado a produtividade, visto que, segundo a EMBRAPA (2023), o ideal de precipitação durante o florescimento e o enchimento inicial é de 45% e 20%, respectivamente, do total necessário para o ciclo da cultura. Por outro lado, em regiões com precipitação anual inferior a 300 mm, o gergelim pode apresentar produtividade entre 300 e 500 kg/ha, conforme descrito por Arriel, *et al.* (2007).

Nos estudos de Abd Alfattah e El-Masarawy, (2024) o peso de mil sementes foi maior na polinização aberta (3,31 g a 4,22 g), enquanto na restrita foi de 2,72 g a 3,17 g. O mesmo foi descrito Das e Jha (2019) e Sarwar *et al.* (2024), para peso de mil sementes de gergelim, onde as maiores médias foram nos tratamentos de polinização aberta (3,10 g e 3,44 g, respectivamente) e com *Apis mellifera* (2,89 g e 3,14 g, respectivamente), enquanto o menor peso foi registrado na polinização restrita (2,56 g e 2,90 g). Rahman *et al.* (2022), também demonstraram maior peso de mil sementes nos tratamentos aberto (3,2 g) e com abelhas (3,5 g), sendo a restrita 2,9 g.

Em relação ao número de ramos por planta (NRP) Tesfaye e Gaisa (2024), também relataram em seu estudo, que o número de ramos por planta não demonstrou diferença entre os tratamentos de polinização aberta e restringida, este resultado mostra que a presença das gaiolas não dificultou o desenvolvimento vegetativo da planta.

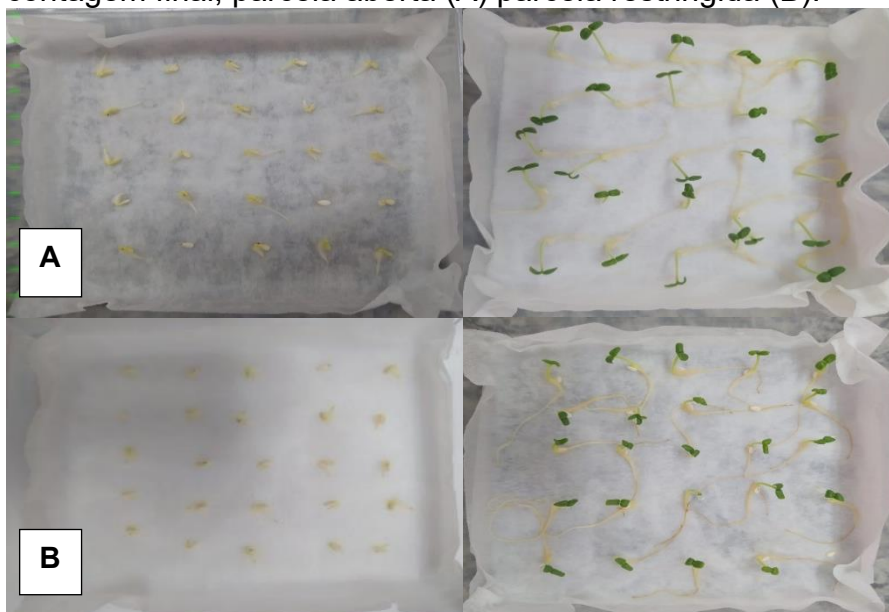
No que diz respeito à qualidade fisiológica das sementes, não houve diferença estatisticamente significativa entre a polinização livre e restringida na primeira contagem do teste de germinação, que avalia o vigor, plântulas normais (VPN), plântulas anormais (VPA), sementes mortas (VSM) e sementes duras (VSD). Apesar disso, o tratamento com polinização livre apresentou um aumento percentual de aproximadamente 6,70% no vigor e 8,47% no percentual de plântulas normais (VPN), em relação à polinização restrita. Na avaliação final do teste de germinação, também não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis germinação (GERM), plântulas normais (GPN), plântulas anormais (GPA), sementes mortas (GSM), sementes duras (GSD), tempo médio de germinação (TMG) e índice de velocidade de germinação (IVG) (Tabela 2) (Figura 4).

Tabela 2. Efeitos da polinização livre e restrita sobre a qualidade fisiológica das sementes de gergelim (*S. indicum* L.), em Cruz das Almas, BA, 2024.

Variável	Polinização Livre (Média ± DP)	Polinização Restrita (Média ± DP)	F	p-valor
Vigor (1ª contagem)	91,0 ± 0,09	85,3 ± 0,11	1,79	0,22
VPN	83,2 ± 0,13	76,7 ± 0,14	0,97	0,35
VPA	7,6 ± 0,08	8,2 ± 0,08	0,05	0,82
VSM	0,5 ± 0	0,5 ± 0	0,00	1,00
VSD	0,5 ± 0	0,5 ± 0	0,00	1,00
Germinação (GERM)	97,2 ± 0,08	96,1 ± 0,07	0,48	0,51
GPN	87,6 ± 0,08	83,7 ± 0,10	0,99	0,35
GPA	9,2 ± 0,06	11,6 ± 0,10	0,63	0,45
GSM	0,6 ± 0,01	0,7 ± 0,03	0,29	0,60
GSD	2,8 ± 0,08	3,9 ± 0,07	0,48	0,51
TMG (dias)	1,1 ± 0,03	1,2 ± 0,16	2,01	0,19
IVG	23,4 ± 0,91	22,3 ± 1,50	1,66	0,23

VPN: Vigor/plântulas normais; VPA: Vigor/plântulas anormais; VSM: Vigor/sementes mortas; VSD: Vigor/sementes duras; GPN: Germinação/plântulas normais; GPA: Germinação/plântulas anormais; GSM: Germinação/sementes mortas; GSD: Germinação/sementes duras; TMG: Tempo médio de germinação; IVG: Índice de velocidade de germinação.

Figura 4. Teste de germinação, foto das sementes germinadas 1ª contagem e contagem final, parcela aberta (A) parcela restringida (B).



Autor: Tatiane Oliveira dos Santos (2024)

Essa ausência de significância pode estar relacionada, principalmente, ao fato de que, embora os tratamentos tenham diferido quanto à presença de polinizadores, todas as plantas foram cultivadas sob as mesmas condições ambientais ao longo do ciclo reprodutivo. Além disso, a menor quantidade de sementes nos frutos oriundos da polinização restrita pode ter favorecido uma distribuição mais eficiente dos fotoassimilados, resultando em sementes com alto vigor e capacidade germinativa (Vieira; Carvalho, 2023).

Resultados semelhantes foram relatados por Paulino *et al.* (2023), em estudo com feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae), que não encontrou diferenças significativas na germinação entre os tratamentos de autopolinização e polinização natural ($z = 1,62$; $p = 0,235$). O mesmo foi observado por Wróblewska *et al.* (2024), ao avaliarem a germinação de sementes de três espécies da família Orchidaceae. Para *D. majalis* e *D. incarnata*, os autores não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos de polinização aberta e autopolinização ($\chi^2 = 1,18$ e $\chi^2 = 0,39$, respectivamente; $p > 0,05$).

Pioltelli *et al.* (2024), analisando a germinação de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), observaram uma taxa de germinação significativamente maior em polinização aberta (~92%), em comparação com os tratamentos de polinização manual (~85%) e autopolinização (~78%). Resultados similares foram relatados por Rao *et al.* (2022), ao estudarem duas variedades de gergelim submetidas a

diferentes densidades de abelhas, polinização livre e polinização restrita. A maior taxa de germinação foi observada nas parcelas com abelhas (69,79% a 77,61% na variedade Cv. HT-1 e 64,74% a 72,85% na Cv. HT-2), seguidas pela polinização livre (63,94%; 58,88%), enquanto a polinização restrita apresentou os menores valores (46,03% e 53,85%, respectivamente).

Tesfaye e Gaisa (2024) também relataram germinação mais eficaz na polinização livre (88,9%), seguidos pela polinização restrita com abelhas (86,68%), e polinização restrita sem abelhas, que obteve os menores índices (60,46%). Esses dados reforçam a ideia de que os efeitos da polinização sobre a germinação podem estar associados a fatores como genótipo das plantas, características reprodutivas e fisiológicas, condições ambientais, presença e densidade de polinizadores, e tempo de armazenamento das sementes.

Abd Alfattah e El-Masarawy (2024) relataram um maior índice de velocidade de germinação para sementes oriundas da polinização aberta em duas variedades de gergelim (23,84% e 23,42%). Já Xiao *et al.* (2025), ao estudarem *Salvia daiguii*, observaram resultados opostos, com a autopolinização ($1,49 \pm 0,17$; $p < 0,001$) superando a polinização aberta ($0,88 \pm 0,07$; $p < 0,001$) quanto ao índice de velocidade de germinação.

Os resultados referentes ao desenvolvimento das plântulas de gergelim encontram-se na Tabela 3. As análises indicaram que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos de polinização para as variáveis comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), peso fresco da parte aérea (PFPA) e peso fresco da raiz (PFR), sugerindo que o sistema reprodutivo da planta foi eficiente mesmo sob polinização restrita. No entanto, não se pode descartar a contribuição de mecanismos de polinização abiótica, como a ação do vento, além da capacidade de autopolinização da espécie.

Por outro lado, foram observadas diferenças estatísticas significativas nas variáveis de biomassa seca. O peso seco da parte aérea (PSPA) apresentou um aumento de aproximadamente 33,33% no tratamento com polinização livre em relação à polinização restrita. Da mesma forma, o peso seco da raiz (PSR) foi 50,00% maior sob polinização livre, evidenciando que a presença de polinizadores bióticos contribuiu positivamente para o acúmulo de biomassa nas plântulas de gergelim.

Tabela 3. Efeitos da polinização livre e restrita sobre o desenvolvimento de plântulas de gergelim (*S. indicum* L.), em Cruz das Almas, BA, 2024.

Variável	Polinização Livre (Média ± DP)	Polinização Restrita (Média ± DP)	F	p-valor
CPA (cm)	2,08 ± 0,06	1,97 ± 0,23	1,04	0,34
CR (cm)	4,58 ± 0,76	4,20 ± 0,46	0,92	0,37
PFFA (g)	0,54 ± 0,12	0,46 ± 0,10	1,52	0,25
PFR (g)	0,25 ± 0,05	0,23 ± 0,04	0,51	0,49
PSPA (g)	0,04 ± 0,00	0,03 ± 0,00	16,00	<0,01
PSR (g)	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,00	6,40	0,04

CPA: Comprimento da parte aérea; CR: Comprimento da raiz; PFFA: Peso fresco da parte aérea; PFR: Peso fresco da raiz; PSPA: Peso seco da parte aérea; PSR: Peso seco da raiz.

3.2 Experimento 2

Os testes de polinização apresentaram diferenças significativas nas taxas de frutificação, colheita e abortos (Teste Exato de Fisher, $p < 0,05$). As taxas de frutificação e colheita nos tratamentos com polinização livre e polinização restrita foram de 100%, com ausência de abortos (0%) (Tabela 4). Apesar desses valores máximos, as taxas de frutificação não diferiram estatisticamente daquelas observadas nos tratamentos de autopolinização e geitonogamia. No entanto, esses dois últimos apresentaram menor eficiência reprodutiva, com redução nas taxas de colheita e aumento nas taxas de abortos.

A polinização cruzada resultou na menor taxa de frutificação (94%), o que representa uma redução de 6% em relação à polinização livre, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Já as taxas de colheita e abortos na polinização cruzada não diferiram significativamente daquelas obtidas na autopolinização e na geitonogamia.

Em estudo sobre diferentes métodos de polinização de gergelim, Rao *et al.* (2022) apresentaram menor taxa de frutificação na polinização restringida (74,50%). Já Andrade *et al.* (2014), registraram taxa de frutificação maior na polinização livre (96,43%), seguida da geitonogamia (91,06%) e a menor taxa foi registrada na autopolinização (80,55%), já em relação colheita, parte dos resultados corroboram com os resultados do presente estudo, onde a menor taxa de colheita foi registrada na geitonogamia (72,63%).

Entre os diferentes tipos de polinização, houve efeito significativo sobre o número de sementes por fruto ($F = 9,92$; $p < 0,001$) e o peso estimado de sementes

por fruto ($F = 14,29$; $p < 0,001$) (Tabela 5). A polinização livre apresentou um número de sementes por fruto 12,90% maior que a autopolinização e 7,06% maior que a polinização cruzada. Para o peso estimado de sementes por fruto, a polinização livre apresentou aumento de 16,10% em relação à autopolinização e 12,16% em relação à polinização cruzada.

A polinização cruzada, geitonogamia e polinização restrita apresentaram desempenhos semelhantes, sem diferenças significativas entre si. No entanto, todas resultaram em número e peso de sementes por fruto menores que os obtidos na polinização livre, indicando que, apesar de a planta ser predominantemente autógama, a presença de polinizadores bióticos maximiza o desempenho reprodutivo.

A autopolinização apresentou os menores valores, com redução de 11,43% no número de sementes por fruto e 13,86% no peso de sementes, em comparação à polinização livre. Esses resultados indicam que a ausência de polinização cruzada, mesmo em plantas autógamas, afeta negativamente a quantidade e o desenvolvimento das sementes.

Portanto, a pesquisa demonstrou que a presença de polinizadores naturais pode potencializar significativamente a produtividade da cultura. Esses achados reforçam a necessidade de adoção de práticas agrícolas que favoreçam a conservação e o manejo adequado de polinizadores, contribuindo para sistemas de produção mais sustentáveis e eficientes.

Tabela 4. Taxas de frutificação, colheita e abortos (%) em plantas submetidas a diferentes testes de polinização, em Cruz das Almas, BA, 2024.

Tratamento	Taxa de Frutificação (%)	Taxa de Colheita (%)	Taxa de Abortos (%)
Livre (n=150)	100 a	100 a	0 a
Restrita (n=150)	100 a	100 a	0 a
Autopolinização (n=150)	95,3 a	92,7 b	2,7 b
Geitonogamia (n=150)	98,7 a	90,0 b	8,7 b
Cruzada manual (n=150)	94,0 b	85,3 b	8,7 b

Valores seguidos por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste exato de Fisher pareado, com correção de Bonferroni, ao nível de 5% de significância.

Tabela 5. Número de sementes e peso médio das sementes oriundas dos diferentes tratamentos de polinização em gergelim (*S. indicum* L.), em Cruz das Almas, BA, 2024.

Tratamento	Nº Sementes/ Fruto (Média ± DP)	Peso Sementes/ Fruto (g) (Média ± DP)
------------	---------------------------------	---------------------------------------

Livre	55,46 ± 9,42 a	0,166 ± 0,028 a
Cruzada manual	51,80 ± 9,79 b	0,148 ± 0,028 bc
Geitonogamia	49,70 ± 9,97 bc	0,148 ± 0,029 bc
Restrita	52,15 ± 9,42 b	0,153 ± 0,027 b
Autopolinização	49,12 ± 9,14 c	0,143 ± 0,026 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a polinização livre exerce efeito positivo sobre os componentes produtivos do gergelim (*Sesamum indicum* L.), promovendo aumentos significativos no rendimento de grãos, no número de frutos por planta e no número de sementes por fruto. Tais evidências destacam a relevância dos agentes polinizadores como aliados no incremento da produtividade da cultura.

Em contrapartida, os parâmetros relacionados à qualidade fisiológica das sementes — como germinação, vigor e massa de mil sementes — não apresentaram diferenças significativas entre os métodos de polinização, indicando elevada capacidade de autopolinização da espécie e manutenção da qualidade das sementes mesmo na ausência de polinizadores.

5. REFERÊNCIAS

ABD ALFATTAH, M. A.; EL-MASARAWY, M. S. Effects of honey bee pollination on seed yield and chemical composition of two sesame varieties in Egypt. **Egyptian Journal of Agricultural Sciences**, v.75, n.1, p.67–77, 2024.

AGUIAR, R. S. de; YAMAMOTO, L. Y.; PRETI, E. A.; SOUZA, G. R. B. de; SBRUSSI, C. A. G.; OLIVEIRA, E. A. de P.; ASSIS, A. M. de; ROBERTO, S. R.; NEVES, C. S. V. J. Extração de mucilagem e substratos no desenvolvimento de plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.2, p. 605-6012, 2014.

ANDRADE, P. B. de; FREITAS, B. M.; ROCHA, E. E. de M.; LIMA, J. A. de; RUFINO, L. L. Floral biology and pollination requirements of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 36, n. 1, p. 93-99, 2014.

ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. de A.; FÉLIX, D. de S.; SILVA, O. R. R. da; CARDOSO, G. D. **A cultura do gergelim**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 72p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/97914>. Acesso em: 2 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: MAPA, 2009. 399 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acesso em: 20 jun., 2025.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: safra 2024/25: 9º levantamento. [S. l.]: CONAB, 2025. Boletim. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/9o-levantamento-safra-2024-25>. Acesso em: 20 jun. 2025.

CUNHA, F. da; CHAMBÓ, E. D.; COELHO, S. R. M.; CAMARGO, S. C.; GAMA, D. C.; GARCIA, R. C. Land use and occupation and pesticide contamination assessment in honey from Africanized honey bees (Hymenoptera: Apidae) using gas chromatography-mass spectrometry. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 4, e20230547, 2024.

DAS, R.; JHA, S. Insect pollinators of sesame and the effect of entomophilous pollination on seed production in new alluvial zone of west Bengal. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 3, p. 1400–1409, 2019.

EKANAYAKE, E. M. D.; KARUNARATNE, W. A. I. P. Native Sri Lankan bees enhance pollination of sesame, *Sesamum indicum*. **Ceylon Journal of Science**, v.51, p. 29-36, 2022.

ELA, M. A.; NDOUWE, T.; FIRITAWADA, C.; KENGNI, S. B.; DJAKBE, J.; MBERE, N.; FOHOUE, F.-N. T. Dynamics and impact of flowering insects on *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae) production in maroua (Far-north, Cameroon). **European Scientific Journal, ESJ**, v.17, n.25, p. 342–342, 2021.

EMBRAPA, ISSN 1678-8710 6, Embrapa Algodão, 46p.,2023. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1155372/1/Cultivo-do-Gergelim.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2025

FAOSTAT. Food and agriculture data. [S. l.]: FAO, 2023. Base de dados. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 20 jun. 2025.

FREITAS, B. M.; KLEIN, A.-M.; BOMFIM, I. G. A.; FORNOFF, F.; BOREUX, V.; OLIVEIRA, M. O. **Polinização agrícola por insetos no Brasil: ao Guia para Fazendeiros, Agricultores, Extensionistas, Políticos e Conservacionistas**. Freiburg: Universität Freiburg, 149p., 2020.

INMET – Instituto nacional de meteorologia. Dados meteorológicos - históricos de dados meteorológicos - ano 2023. Brasília, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 03 out. 2024.

KAUR, J.; KAUR, G.; BAJAJ, K.; SINGH, A.; SINGH, R.; KAUR, N. Effect of indigenous bee attractants on bee visitation and seed production of sesame (*Sesamum indicum* Linnaeus). **Environment and Ecology**, v.41, n.4, p. 3054–3059, 2023.

KLEIN, A.-M.; VAISSIÈRE, B. E.; CANE, J. H.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S. A.; KREMEN, C.; TSCHARNTKE, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.274, p. 303–313, 2007.

LAYEK, U.; BHANDARI, T.; DAS, A.; KARMAKAR, P. Floral visitors of sesame (*Sesamum indicum* L.): elucidating their nectar-robbing behaviour and impacts on the plant reproduction. **PLOS One**, v. 19, n. 4, e0300398p., 2024.

MAIA, A. K. P.; GUIMARÃES, J. N.; SILVA, L. T. da; GALVÃO, A. S.; RIBEIRO, J. A.; MORAIS, L. I. S.; MELO, I. R. L.; RIBEIRO, M. S. M.; RIBEIRO, O. D.; QUADROS, B. R. de Comportamento fotoblástico de cultivares de gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista ft, Ciências Agrárias**, ISSN 1678-0817, v.28, ed.132, 2024.

MELO, M. O. L. **Barreiras não tarifárias fitossanitárias**. Revista de Política Agrícola, v. 1, n. 2, p. 31-42, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politicaagricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/revista-de-politica-agricola/2023/revista-de-politica-agricola-no-2-2023.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

MULWA, R.; SIIKAMAKI, J.; NDWIGA, M.; ALVSILVER, J. Influence of proximity to and type of foraging habitat on value of insect pollination in the tropics, with applications to Kenya. **African Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.17, n.2, p.171–191, 2022.

NÓBREGA, J. S.; LOPES, K. P.; SANTOS, J. B. dos; PAIVA, F. J. da S.; SILVA, J. G. da; LIMA, G. S. de. Qualidade de sementes de gergelim produzidas sob níveis de salinidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.48, n.3, p. 280–286, 2018.

PANDO, J. B.; DJONWANGWÉ, D.; MOUDELSIA, O. B.; FOHOUE, F-N. T.; TAMESSE, J. L. Effect of insect pollination on the yield of *Sesamum indicum* (Pedaliaceae) in Maroua-Cameroon. **Journal of advances in agriculture**, v. 11, p. 22–36, 2020.

PASHTE, V. V.; SHYLESHA, N. A. Pollinators diversity and their abundance on *Sesamum*. **Indian Journal of Entomology**, v. 75, n. 3, p. 260–262, 2013..

PAULINO, C. de S.; CARNEIRO, L. T.; ALMEIDA, N. M.; SANTA-MARTINEZ, E.; CASTRO, C.C. Neutral influence of animal pollination in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae) production and seed germination (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). **Scientia Horticulturae**, v.318, 112096p., 2023.

PEREIRA, J. R.; ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; QUEIROGA, V. de P. Preparo do solo e plantio. In ARRIEL, N. H. C.; SILVA, E. C. da F.; GOMES, N. M. S.; SOUSA, G. F. de F. **Cultivo do gergelim. Sistemas de produção**

PERIN, A.; CRUVINEL, D. J.; SILVA, J. W. da. Desempenho do gergelim em função da adubação NPK e do nível de fertilidade do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, p.93–98, 2010.

PIOLTELLI, E.; GUZZETTI, L., BIELLA, P.; SALA, D.; COPETTA, A.; MUSSANO, P.; GALIMBERT, A.; LABRA, M. Animal pollination shapes fruits market features, seeds functional traits and modulates their chemistry. **Scientific Reports**, v.14, n.1, 22734p., 2024.

R CORE TEAM (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. [S. l.]: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

RAHMAN, M Z.; REZA, M. E.; HOSSAIN, M. S.; ALI, M. R.; HOSSAIN, M. S. Effect of bee pollination on yield of sesame. **Ecology Journal**, v.4, p.1-7, 2022.

RAO, K. S.; KUMAR, Y.; YADAV, S.; RAWAL, R. Diversity and abundance of flower visiting insects associated with sesame. **Indian Journal of Entomology**, V. 83, p. 77–81, 2022.

RATAN, S.; TIWARI, U. K.; NAYAK, M. K.; THAKUR, S. Assessment of relative impact of improved technology and scientific interventions on the income of sesame farmers in tribal area of Bundelkhand region. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.9, n.7, p. 809–813, 2020.

SARWAR, G.; AKRAM, W.; ASLAM, S.; MAHMOOD, R.; PATHAN, A. K.; ISLAM, N.; RAFIQUE, M. K.; DAHRI, Z. H. Pollinator profile and their influence on the yield enhancement in sesame. **Plant Bulletin**, v.3, n.1, p. 68–76, 2024.

VIEIRA, E. L.; CARVALHO, Z. S. de. Fisiologia de sementes: Parte I – formação e germinação de sementes. **Boletim Científico Agrônomo do CCAAB/UFRB**, v. 1, p. 1-9, 2023.

SRITONGCHUAY, T.; WAYO, K.; ORR, M. C.; HUGHES, A. C. Insufficient native pollinators during artificially induced early flowering decrease yield and long-term economic viability of a tropical fruit crop. **Journal of Applied Ecology**, v.58, p. 80–91, 2021.

TESFAYE, O.; GAISA, E. The effect of I. pollination on seed yield and nutritional qualities of I. in dale sedi district of Western Oromia, Ethiopia. **Legume Science**, v.6, n.3, p. 1-9, 2024.

TURO, K. J.; REILLY, J. R.; FIJEN, T. P. M.; MAGRACH, A.; WINFREER, R. Insufficient pollinator visitation often limits yield in crop systems worldwide. **Nature Ecology & Evolution**, v.8, p.1612-1622, 2024.

WRÓBLEWSKA, A.; OSTROWIECKA, B.; BRZOSKO, E.; JERMAKOWICZ, E.; TAŁAŁAJ, I.; MIRSKI, P. The patterns of inbreeding depression in food-deceptive *Dactylorhiza* orchids. **Frontiers in Plant Science**, v.15, p. 1-9, 2024.

XIAO, H.-W.; JIANG, R.-Q.; HUANG, Y.-B.; TIAN, R.-N. Fatores que afetam a germinação de sementes em *Salvia daiguii* criticamente ameaçada : qualidade das sementes, temperatura e luz, potencial osmótico, pH, polinização manual, hormônios e mucilagem. **Journal for Nature Conservation**, v.86, p.126-900, 2025.