



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

PEDRO DE ASSIS DE OLIVEIRA

ABELHAS VISITANTES FLORAIS E POLINIZADORAS DO MORANGUEIRO
(*Fragaria x ananassa* Duch.) CULTIVADO EM AMBIENTE TROPICAL

FORTALEZA
2024

PEDRO DE ASSIS DE OLIVEIRA

ABELHAS VISITANTES FLORAIS E POLINIZADORAS DO MORANGUEIRO
(*Fragaria x ananassa* Duch.) CULTIVADO EM AMBIENTE TROPICAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (UFC/UFPB) da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de concentração: Abelhas e Polinização.

Orientador: Prof. Ph.D. Breno Magalhães Freitas.

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Casimiro Cavalcante.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo (a) autor (a)

-
- O49a Oliveira, Pedro de Assis de.
Abelhas visitantes florais e polinizadoras do morangueiro (*Fragaria x ananassa* duch.) cultivado em ambiente tropical/ Pedro de Assis de Oliveira. – 2024.
130 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós- Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Orientação: Prof. Dr. Breno Magalhães Freitas.
Coorientação: Prof. Dr. Marcelo Casimiro Cavalcante.
1. *Nannotrigona testaceicornis*. 2. *Plebeia flavocincta*. 3. *Scaptotrigona* aff. *depilis*. 4. *Trigona recursa*. 5. *Apis mellifera*. I. Título.

CDD 636.08

PEDRO DE ASSIS DE OLIVEIRA

ABELHAS VISITANTES FLORAIS E POLINIZADORAS DO MORANGUEIRO
(*Fragaria x ananassa* Duch.) CULTIVADO EM AMBIENTE TROPICAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de concentração: Abelhas e Polinização.

Aprovada em: 05/07/2024

BANCA EXAMINADORA

Dr. Breno Magalhães Freitas (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Luiz Wilson Lima Verde
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Júlio Otávio Portela Pereira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Dr. Isac Gabriel Abrahão Bomfim
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Aos meus Pais (Sebastião Chaveiro de Oliveira e Maria de Lourdes de Oliveira) e Irmãos, em ordem decrescente, Paulo Henrique de Oliveira, Marciel Chaveiro de Oliveira (*in memoriam*), Raimundo Chaveiro de Oliveira, Maria Selete de Oliveira, Luis Antônio de Oliveira, Rafael Chaveiro de Oliveira, (eu) Pedro de Assis de Oliveira, Maripaula Chaveiro de Oliveira e Sivanês Henrique de Oliveira.

Com carinho, dedico a vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador do universo, pela conquista dessa importante etapa da minha trajetória e acima de tudo pela oportunidade de contemplar a sua glória através da natureza, obra de suas mãos. Por ter sido minha companhia, por ter me guiado em cada passo, por me oportunizar a janela que vislumbra a superioridade dos meus horizontes.

À minha família, pelo amor, carinho, paciência e compreensão, importantíssimos para a construção e realização de mais uma etapa.

Agradeço à meu pai, o apicultor Sebastião Chaveiro de Oliveira, e a minha mãe Maria de Lourdes de Oliveira por ter me ajudado nas pesquisas e todos da minha família, que são parte desta conquista.

À minha querida Milena Alves dos Santos, que nunca desdobrou esforços para me ajudar durante à condução do experimento, sem você não seria possível. Obrigado por todo companheirismo, paciência, palavras amigas, incentivos, conselhos nos momentos críticos e em especial por seu apoio incondicional e amizade.

À A2 morangos, na pessoa do diretor Adriano A. Cavalcante, por todo apoio na execução do experimento, pela disponibilidade do seu cultivo comercial do morangueiro para condução dos experimentos e toda logística.

À Universidade Federal do Ceará, pela calorosa acolhida, e ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia - PPGZ/UFC/UFPB, pela oportunidade de realização do doutorado. Aos técnicos e o pessoal que faz a manutenção e da limpeza, especialmente ao pessoal do Setor de Abelhas.

Ao meu orientador, com grande estima, professor PhD. Breno Magalhães Freitas, por toda dedicação e apoio, ajuda, paciência, méritos e parceria na construção desse trabalho. Muito obrigado.

Ao meu coorientador, com grande estima, Dr. Marcelo Casimiro Cavalcante, por ter cedido as abelhas introduzidas no experimento e todo o apoio e ensinamentos durante a pesquisa e fora dela, sobretudo pela nova visão e entendimento dos sistemas pecuários a mim apresentados desde como orientador da graduação. Muito obrigado!

À Dra. Favizia Freitas de Oliveira pela identificação das abelhas referidas no presente trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Luiz Wilson Lima Verde, Dr. Júlio Otávio Portela Pereira, Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino e Dr. Isac Gabriel

Abrahão Bomfim, pelas brilhantes e imprescindíveis contribuições para a melhoria deste trabalho, além da disponibilidade e despretensiosa amizade durante esta caminhada.

À Secretaria da Pós-Graduação, em nome de Francisca Prudêncio, sempre disponível e com grande gentileza em resolver os assuntos pertinentes ao programa de pós-graduação.

Aos meus colegas atuais e antigos do Grupo de Pesquisas com Abelhas (GPA): Dr. Mikail O. de Oliveira, Dr. Marcelo de O. Milfont, Dr. Isac G. A. Bomfim, Dr. Tarsio T. Lopes Alves, Dr. Antônio Diego de M. Bezerra, Dr. Jânio A. Felix, Dr. José Elton de M. Nascimento, Felipe L. Rosa, Dra. Epifânia E. de M. Rocha, Dr. Leonardo dos S. Gurgel, Dra. Hiara M. Meneses, Dr. Victor M. Monteiro, Arianne M. Cavalcante, Larysson F. dos Santos, David R. da Silveira, Maria da C. Parente, Paloma E. Bezerra, Felipe J. de F. Silva, Vitória I. M. de Sousa Muniz, Janaely S. Pereira, Letícia F. Paiva, Kiara L. S. Ferreira, João B. F. de S. Júnior, Felipe B. de Sousa, Francisco Felipe M. Farias, o apoio e ideias de vocês foi fundamental. Enfim, a todos que colaboram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Uma criança quebrou o braço três vezes do lado direito, nos anos 1998, 1999 e 2000.
A enfermeira da Regional de Arcoverde-PE disse-lhe....
- Um dia ele pode se torna um Doutor.....
Hoje torna real a previsão da enfermeira....

(OLIVEIRA, P. A.)

RESUMO

Objetivou-se entender a biologia floral e os requerimentos de polinização da cultura do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) em ambiente tropical, bem como identificar as abelha potenciais polinizadoras nessas condições, com ênfase no comportamento e na eficiência das abelhas sem ferrão (*Nannotrigona testaceicornis* (Nat), *Plebeia flavocincta* (Pf), *Scaptotrigona* aff. *depilis* (Sad) e *Trigona recursa* (Tr)) e da com ferrão *Apis mellifera* (Am), além do efeito da introdução de colônias de Sad na polinização da cultivar San Andreas, no município de Tianguá-CE. Para o acompanhamento da biologia floral foram realizadas as contagens das plantas em florescimento, determinação de idade floral (antese a senescência), morfometria floral nas flores primárias e secundárias e teste de receptividade estigmática com peróxido de hidrogênio. Para os requerimentos de polinização foram realizados os seguintes tratamentos: polinização livre (Pl), manual cruzada (Pmc) e restrita (Pr)/Autopolinização espontânea (Ape). No intuito de avaliar o efeito da Pmc por dia de florescimento e Pl, utilizou-se os dias como tratamento. Para comparação da eficiência de polinização entre as abelhas Sad, Am, Tr, Pf e Nat, utilizou-se uma visita. Avaliou-se diferentes números de visitas das Sad e comparados com os tratamentos Ape e Pl. Os resultados mostraram que as flores permanecem abertas durante quatro dias. Houve diferenças significativas entre as flores primárias e secundárias ($p < 0,05$) para comprimento e largura de sépala e diâmetro maior do estigma. As flores estão receptivas a partir do primeiro dia de florescimento. Pl e Pmc obtiveram 100% de frutos vingados e Pr apenas 50%. Houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as variáveis do tratamento Pmc e Pl por idade floral. Um total de 19 espécies de abelhas visitaram as flores do morangueiro. As mais abundantes foram Sad, Am, Tr, Pf e Nat, com as visitas entre os horários de 6:00h e 17:00h. Todas as abelhas tocavam nas estruturas reprodutivas das flores. O peso dos morangos variaram de 6,66 g (Ape) até 12,43 g (Pmc) e 13,58 g (Pl). Os tratamentos de Tr e Ape não produziram frutos no calibre 3 (diâmetro > 30 mm), enquanto o calibre 2 (entre 20 e 30 mm) foi o mais frequente em todos os tratamentos. O percentual de frutos com padrão para comercialização variaram de 11% (Ape) a 92% (Nat). Ao avaliar a eficiência de polinização por idade floral, os tratamentos por Sad, Tr e Pl não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) para o peso. A introdução das Sad aumentou a qualidade dos frutos de 33% para 58%. Flores que estavam expostas à visitação livre de abelhas Sad produziram frutos com melhor conformação (100%), mas os frutos mais pesados foram produzidos em flores expostas a todos os visitantes (complementaridade) e quando recebiam mais de três visitas de

Sad ($p < 0,01$). Conclui-se que os estudos da biologia floral e dos requerimentos de polinização em flores primárias indicam a necessidade de agentes para a polinização cruzada da cultivar estudada. As espécies avaliadas *Sad*, *Am*, *Tr*, *Pf* e *Nat* apresentam comportamentos de forrageio compatíveis para fornecerem os serviços de polinização exigidos para o morangueiro nas condições tropicais estudadas, refletindo positivamente nas variáveis quantitativas e qualitativas desejadas para a cultura.

Palavras-chave: abelhas polinizadoras; abelhas sem ferrão; biologia floral; polinização agrícola; polinização cruzada; polinização nos trópicos; *Scaptotrigona depilis*.

ABSTRACT

The aim of this study was to understand the floral biology and pollination requirements of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) in a tropical environment, as well as to identify potential pollinating bees under these conditions, with emphasis on the behavior and efficiency of stingless bees (*Nannotrigona testaceicornis* (Nat), *Plebeia flavocincta* (Pf), *Scaptotrigona* aff. *depilis* (Sad) and *Trigona recursa* (Tr)) and the stinging bee *Apis mellifera* (Am), in addition to the effect of the introduction of Sad colonies on the pollination of the San Andreas cultivar, in the municipality of Tianguá-CE. To monitor the floral biology, flowering plants were counted, floral age was determined (anthesis to senescence), floral morphometry was performed in primary and secondary flowers, and stigmatic receptivity test with hydrogen peroxide. For pollination requirements, the following treatments were performed: open pollination (Pl), manual cross-pollination (Pmc) and restricted pollination (Pr)/spontaneous self-pollination (Ape). In order to evaluate the effect of Pmc per flowering day and Pl, the days were used as treatment. To compare the pollination efficiency among Sad, Am, Tr, Pf and Nat bees, one visit was used. Different numbers of visits by Sad were evaluated and compared with the Ape and Pl treatments. The results showed that the flowers remained open for four days. There were significant differences between the primary and secondary flowers ($p < 0.05$) for sepal length and width and largest stigma diameter. The flowers are receptive from the first day of flowering. PL and Pmc obtained 100% of set fruits and Pr only 50%. There were significant differences ($p < 0.05$) between the Pmc and Pl treatment variables by floral age. A total of 19 bee species visited the strawberry flowers. The most abundant were Sad, Am, Tr, Pf and Nat, with visits between 6:00 a.m. and 5:00 p.m. All bees touched the reproductive structures of the flowers. Strawberry weight ranged from 6.66 g (Ape) to 12.43 g (Pmc) and 13.58 g (Pl). The Tr and Ape treatments did not produce fruits in size 3 (diameter > 30 mm), while size 2 (between 20 and 30 mm) was the most frequent in all treatments. The percentage of fruits within commercialization standards ranged from 11% (Ape) to 92% (Nat). When evaluating the pollination efficiency by floral age, the Sad, Tr and Pl treatments did not show significant differences ($p > 0.05$) for weight. The introduction of Sad increased fruit quality from 33% to 58%. Flowers that were exposed to free visitation by Sad bees produced fruits with better conformation (100%), but the heaviest fruits were produced in flowers exposed to all visitors (complementarity) and when they received more than three Sad visits ($p < 0.01$). It is concluded that the studies of floral biology and pollination requirements in primary flowers indicate the need for agents for cross-

pollination of the studied cultivar. The evaluated species *Sad*, *Am*, *Tr*, *Pf* and *Nat* present foraging behaviors compatible with providing the pollination services required for strawberry plants under the studied tropical conditions, reflecting positively on the quantitative and qualitative variables desired for the crop.

Keywords: crop pollination; cross pollination; floral biology; pollinating bees; *Scaptotrigona depilis*; stingless bees; tropical pollination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Localização da área do estudo, mapa do Brasil com destaque para o estado do Ceará (A); Mapa do estado do Ceará com destaque para a cidade de Tianguá (B); Mapa do município de Tianguá e localização do plantio de morango da empresa A2 morangos (C); e mapa de altitude para o município de Tianguá. CE (D).....	36
Figura 2	- Estrutura de suporte na qual foram plantados os morangueiros (<i>Fragaria x ananassa</i>) (A), visão de todos os vãos entre as colunas, e as linhas em cada vão (B).....	37
Figura 3	- Teste de receptividade com o peróxido de hidrogênio nas flores de morango (<i>Fragaria x ananassa</i>) cultivar San Andreas: flor de um dia (A); flor de dois dias (B); flor de três dias (C) e flor de quatro dias (D). Em Tianguá-CE. 2021.....	38
Figura 4	- Análise de qualidade de frutos de morango (<i>Fragaria x ananassa</i>), cultivar San Andreas: Fruto bem formado (A); fruto regular (B); fruto deformado (C); e fruto muito deformado (D). Frutos com valor comercial <i>in natura</i> (A e B) e frutos com valor industrial (C e D). Em Tianguá-CE. 2021.....	40
Figura 5	- Idade floral: antese no primeiro dia (A); flor de dois dias (B); flor de três dias (C) e flor de quatro dias (E), em Tianguá-CE. 2021.....	43
Figura 6	- Boxplot do brix do néctar das flores do morangueiro ao longo do experimento (<i>Fragaria x ananassa</i>) cultivar San Andreas, em Tianguá-CE. 2021.....	44
Figura 7	Visitantes florais registrados nas flores de morangueiro <i>Fragaria x ananassa</i> Duch., variedade San Andreas: <i>Protomeliturga turnerae</i> (A), <i>Euglossa</i> sp. (B), <i>Oxytrigona tataira</i> (C), <i>Trigona spinipes</i> (D), <i>Trigona recursa</i> (E), <i>Plebeia flavocincta</i> (F), <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> (G), <i>Nannotrigona</i> aff. <i>testaceicornis</i> (H), <i>Melipona mondury</i> (I), <i>Apis mellifera</i> (J), <i>Exomalopsis analis</i> (K), <i>Exomalopsis auropilosa</i> (L), <i>Hylaeus</i> sp. (M), <i>Augochlora</i> sp. (N), <i>Dialictus</i> sp. (O) no município de Tianguá, Ceará, na região Nordeste do Brasil. 2021.....	64

Figura 8	- Frequência de forrageio para <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> (Sad), <i>Trigona recursa</i> , (Tr) <i>Plebeia flavocincta</i> (Pf), <i>Apis mellifera</i> (Am), <i>Nannotrigona</i> aff. <i>testaceicornis</i> (Nat), temperatura (°C) e umidade (%) interna da estufa em Tianguá-CE. 2021.....	65
Figura 9	- Tempo de permanência das abelhas nas flores: <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> (Sad), <i>Trigona recursa</i> , (Tr) <i>Plebeia flavocincta</i> (Pf), <i>Apis mellifera</i> (Am), <i>Nannotrigona</i> . aff. <i>testaceicornis</i> (Nat), temperatura e umidade interna da estufa em Tianguá-CE. 2021.....	66
Figura 10	- Comportamento de forrageio para as abelhas <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> , <i>Trigona recursa</i> , <i>Plebeia flavocincta</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Nannotrigona</i> aff. <i>testaceicornis</i> : Recurso coletado (pólen, néctar e P e N= Pólen e Néctar) Contato com os órgãos reprodutivos/flor (antera, estigma e A e E= Antera e Estigma), padrão de deslocamento na flor do morangueiro da cultivar San Andreas. Em Tianguá-CE. 2021.....	67
Figura 11	- Disputa por recursos florais entre as abelhas <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> e <i>Trigona spinipes</i> ; abelha <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> por cima da <i>T. spinipes</i> (A), abelha <i>T. spinipes</i> por cima da <i>S. aff. depilis</i> (B), formiga esperando <i>S. aff. depilis</i> sair da flor (C) e dominância de <i>S. aff. depilis</i> forrageando na mesma flor do morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch., Cultivar San Andreas). Em Tianguá-CE, 2021.....	88
Figura 12	- Número médio de campeiras de <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> visitando as flores do morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch., cultivar San Andreas) no período de antese em Tianguá-CE. 2021.....	88
Figura 13	- Tempo de permanência das <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> nas flores controlado por idade floral (A), e visitas das <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> com as flores abertas naturalmente durante toda idade floral (B), em Tianguá-CE. 2021.....	89
Figura 14	- Comportamento de forrageio da <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> na flor do morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch., Cultivar San Andreas) coletando pólen: Abelha no ápice da flor (A e B); abelha nas laterais (C e D); e abelha em voo repassando o pólen do seu corpo para as corbículas (E). Em Tianguá-CE. 2021.....	90
Figura 15	- Atividade de forrageamento das <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> (A) e	

	correlação de Pearson entre as variáveis: Saiu, Entrou com pólen (E. Pól.), entrou com néctar/água (Ne/Ág), temperatura do ambiente interno a estufa (TA. Est.), umidade relativa da estufa (UR. Est), temperatura interna da colônia (TA. Col) e umidade relativa interna à colônia (UR. Col.) (B). Regressão para a atividade de forrageamento, abelhas que saíram e entraram com pólen na corbícula em função da umidade interna da colônia (CD).....	91
Figura 16	- Porcentagem dos frutos considerados: bem formados, regulares, deformados e muito deformados (A) e locais de deformações oriundos dos tratamentos: antes de <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> (AB) e depois de <i>S. aff. depilis</i> (CD), na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.....	92
Figura 17	- Correlação e regressão entre o número de aquênios totais sobre as variáveis brix, dias levados para amadurecimento, comprimento e diâmetro de frutos de morango, entre os tratamentos: Auto polinização espontânea (Ape), uma visita de <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> (1 Sad), duas visitas <i>S. aff. depilis</i> (2 Sad), acima de três visitas de <i>S. aff. depilis</i> (> Sad), livre de apenas de <i>S. aff. depilis</i> (Livre Sad) e livre com os visitantes geral (Livre geral). Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Trabalhos com testes de polinização com diferentes tipos de cultivares de morangueiro, espécies de abelhas, referência e localização no globo.....	28
Tabela 2	- Visitantes florais e potenciais polinizadores do morangueiro no Brasil.	30
Tabela 3	- Classificação do Mercado Comum do Sul- MERCOSUL (2021) e Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango- PBMH e PIMO (2009).....	40
Tabela 4	- Morfometria das flores primárias e secundárias do morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>) cultivar San Andreas, em Tianguá-CE. 2021...	43
Tabela 5	- Teste de receptividade estigmática por idade floral (antese) do morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>) cultivar San Andreas, em Tianguá-CE. 2021.....	44
Tabela 6	- Médias e desvio padrão ($\pm$) de peso (g), comprimento longitudinal (cm), diâmetro maior e menor (cm), número de aquênios totais, aquênios inviáveis, açúcares totais, período de maturação e taxa de fecundação de pseudofrutos de morangos (<i>Fragaria x ananassa</i>) da cv. San Andreas em função dos tratamentos polinização livre, restrita e manual cruzado. Em Tianguá, CE, 2021.....	45
Tabela 7	- Classificações de frutos de morango (<i>Fragaria x ananassa</i>) da cultivar San Andreas pelo Mercado Comum do Sul- MERCOSUL (2021) e Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango- PBMH e PIMO (2009). Em Tianguá-CE, 2021.....	45
Tabela 8	- Análise da qualidade dos frutos: Deformações; bem formado, regular, deformado e muito deformado. Valor comercial; bem formado e regular = Com valor <i>in natura</i> e deformado e muito deformado = com valor industrial. E porcentagem dos locais de deformações. Oriundos dos tratamentos polinização livre, polinização restrita e polinização manual cruzada. Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.....	46

Tabela 9	- Médias e desvio padrão ($\pm$) de peso (g), comprimento longitudinal (cm), diâmetro maior e menor (cm), número de aquênios totais e aquênios inviáveis, açúcares totais (Brix°), período de maturação (dias) taxa de fecundação e frutos com valor comercial <i>in natura</i> (%) de morangos (<i>Fragaria x ananassa</i>) da cv. San Andreas em função dos dias de antese para a polinização manual cruzado. Em Tianguá, CE, 2021.....	47
Tabela 10	- Médias e desvio padrão ($\pm$) de peso (g), comprimento longitudinal (cm), diâmetro maior e menor (cm), número de aquênios totais e aquênios inviáveis, açúcares totais (Brix°), período de maturação (dias) taxa de fecundação e frutos com valor comercial <i>in natura</i> (%) de morangos (<i>Fragaria x ananassa</i>) da cv. San Andreas em função dos dias de antese para a polinização livre, em Tianguá, CE, 2021.....	48
Tabela 11	- Médias de peso (g) comprimento longitudinal (cm), diâmetro maior e menor (cm), número de aquênios totais de frutos da cv. San Andreas em função dos tratamentos polinização por abelhas, manual cruzado, livre e autopolinização espontânea. Tianguá, CE, 2021.....	69
Tabela 12	-Resultados dos dados qualitativos dos tratamentos avaliados: <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> (Sad), <i>Apis mellifera</i> (Am), <i>Trigona recursa</i> (Tr), <i>Plebeia flavocincta</i> (Pf), <i>Nannotrigona</i> aff. <i>testaceicornis</i> (Nat), Polinização livre (Pl), Autopolinização espontânea (Ape) e Polinização manual cruzado (Pmc).....	70
Tabela 13	- Peso dos frutos (g) e número de aquênios totais por antese (idade floral) para os tratamentos <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Trigona recursa</i> , Polinização livre e manual cruzada para cada dia e entre os dias para cada tratamento.....	71
Tabela 14	- Porcentagem da qualidade dos frutos: Com valor comercial e sem valor comercial e local de deformação (ápice, base e laterais), oriundos dos tratamentos: polinização manual cruzado, polinização livre, <i>Apis mellifera</i> , <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> e <i>Trigona recursa</i> . Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.....	73
Tabela 15	- Médias de peso (g), diâmetro equatorial maior (cm), número de aquênios totais e taxa de fecundação de frutos da cv. San Andreas	

	antes e após a introdução da abelha <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> na cultura do morango. Tianguá, CE, 2021.....	91
Tabela 16	- Taxa de vingamento para autopolinização espontânea, uma visita de <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> , duas visitas de <i>S. aff. depilis</i> , acima de três visitas <i>S. aff. depilis</i> , livre com apenas <i>S. aff. depilis</i> e livre com todos os visitantes.....	93
Tabela 17	- Média e desvio padrão do peso (g) e número de aquênios totais: uma visita de <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> , duas visitas de <i>S. aff. depilis</i> , acima de três visitas de <i>S. aff. depilis</i> , livre com visitas de <i>S. aff. depilis</i> e livre com os visitantes geral. Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.....	93
Tabela 18	- Porcentagem da qualidade dos frutos: deformações, local de deformações e valor comercial oriundos dos tratamentos: Auto polinização espontânea (Ape), uma visita de <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> (1 Sad), duas visitas <i>S. aff. depilis</i> (2 Sad), acima de três visitas de <i>S. aff. depilis</i> (> Sad), livre de apenas de <i>S. aff. depilis</i> (Livre Sad) e livre com os visitantes geral (Livre geral). Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.....	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1	Polinização agrícola.....	22
2.2	Abelhas na polinização agrícola.....	23
2.3	A cultura do morangueiro.....	24
2.4	Polinização do morangueiro.....	26
2.5	Cenário atual e futuro da polinização no Brasil.....	30
3	BIOLOGIA FLORAL E REQUERIMENTOS DE POLINIZAÇÃO NA CULTURA DO MORANGUEIRO (<i>Fragaria X ananassa</i> DUCH., CULTIVAR SAN ANDREAS) NAS CONDIÇÕES TROPICAIS DO PLANALTO DA IBIAPABA, CEARÁ.....	32
3.1	Introdução	34
3.2	Material e métodos.....	36
3.2.1	<i>Local do estudo.....</i>	36
3.2.2	<i>Área experimental, instalação e condução da cultura.....</i>	37
3.2.3	<i>Biologia floral.....</i>	37
3.2.4	<i>Receptividade estigmática.....</i>	38
3.2.5	<i>Características avaliadas.....</i>	39
3.2.6	<i>Requerimentos de polinização.....</i>	40
3.2.7	<i>Concentração de sólidos solúveis (°Brix) no néctar.....</i>	41
3.2.8	<i>Análise de dados.....</i>	42
3.3	Resultados.....	42
3.4	Discussão.....	48
3.5	Conclusão	54
4	POLINIZAÇÃO DO MORANGUEIRO CULTIVADO EM AMBIENTE TROPICAL.....	55
4.1	Introdução	59
4.2	Material e métodos	60
4.2.1	<i>Área de estudo.....</i>	60
4.2.2	<i>Características do ambiente de cultivo.....</i>	61

4.2.3	<i>Coleta e identificação das abelhas</i>	61
4.2.4	<i>Avaliação do comportamento de forrageio das abelhas</i>	61
4.2.5	<i>Receptividade estigmática</i>	61
4.2.6	<i>Eficácia dos polinizadores</i>	62
4.2.7	<i>Análise de dados</i>	63
4.3	Resultados	63
4.4	Discussão	74
4.5	Conclusão	79
5	COMPORTAMENTO DE FORRAGEIO E UTILIZAÇÃO DE <i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> (MOURE, 1942) NA POLINIZAÇÃO DE <i>Fragaria x ananassa</i> DUCH., CV. SAN ANDREAS CULTIVADO NOS NEOTRÓPICOS	81
5.1	Introdução	83
5.2	Material e métodos	84
5.2.1	<i>Área de estudo</i>	84
5.2.2	<i>Características do ambiente de cultivo</i>	84
5.2.3	<i>Introdução das abelhas na estufa e avaliação do comportamento de forrageio</i>	85
5.2.4	<i>Eficácia dos polinizadores</i>	85
5.2.5	<i>Análise de dados</i>	87
5.3	Resultados	87
5.4	Discussão	95
5.5	Conclusão	99
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE A- MATERIAL SUPLEMENTAR (CAPÍTULO I)	120
	APÊNDICE B- MATERIAL SUPLEMENTAR (CAPÍTULO II)	125
	APÊNDICE C- MATERIAL SUPLEMENTAR (CAPÍTULO III)	127

1. INTRODUÇÃO

A polinização, transferência de grãos de pólen da antera (parte masculina) para o estigma (parte feminina) da mesma flor ou de outras flores da espécie, é importante para o vingamento e número de sementes dos frutos em culturas agrícolas (KLEIN *et al.*, 2020). Os estudos de polinização de culturas tradicionalmente cultivadas em climas temperados ou subtropicais são mais recentes em ambientes tropicais. A expansão de culturas de clima temperado para esses ambientes, onde seus polinizadores naturais não estão presentes nas novas áreas, demanda investigações em como os visitantes florais locais e potenciais polinizadores se relaciona com a produção dessas culturas. Dessa forma, faz-se necessário a busca por espécies locais que sejam capazes de desempenhar essa função em escala comercial (OLIVEIRA; CAVALCANTE; FREITAS, 2015).

As abelhas são importantes para a polinização de muitas plantas, incluindo o morangueiro que é uma cultura de clima temperado e que vem se expandindo para os Neotrópicos (MIRANDA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2020; ROSELINO *et al.*, 2009). Esses insetos são considerados polinizadores eficazes porque visitam flores em busca de alimento e, inadvertidamente, transferem o pólen da parte masculina para a feminina. Tendo em vista que a grande maioria das culturas depende de polinização biótica (RICKETTS *et al.*, 2008), sem as abelhas, muitas plantas, incluindo o morangueiro, teriam dificuldade em se reproduzir e melhorar a produção e as características de interesse comercial de seus frutos (ROSELINO *et al.*, 2009; MALAGODI-BRAGA, 2002).

O morangueiro é uma planta que produz flores pequenas e de fácil acesso e que precisam ser polinizadas para que se formem os frutos, pois é essencial para o sucesso da safra. Apesar do morangueiro se autopolinizar (ABROL *et al.*, 2019), as abelhas desempenham incrementos através da polinização, o pólen é transferido para cada pistilos que é a parte da planta onde tem os receptáculo que contém e desenvolve os ovários, sendo o conjunto de pistilos considerado o estigma da flor (NEGI *et al.*, 2020). O ovário, então, se desenvolve em aquênios considerado o fruto verdadeiro do morangueiro (MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; MALAGODI-BRAGA, 2002).

Sem a polinização adequada, o morangueiro pode ter dificuldade em produzir frutos, que podem ficar pequenos e/ou mal formados. Isso pode ser devido a uma variedade de fatores, entre eles: a falta de abelhas na área, informações em quais espécies como potenciais polinizadores podem serem utilizadas, determinação da eficiência de determinado grupos de

abelhas, falta de entendimento do comportamento de forrageio das abelhas, bem como das informações da biologia floral e dos requerimentos de polinização da cultura (ABROL *et al.*, 2019). Apenas poucas espécies são manejadas para polinização, e esse número fica ainda menor quando se fala em ambiente protegido ou semi aberto.

No Brasil, é proibida a introdução de espécies de abelhas exóticas, como vem sendo introduzida nos países de clima temperado para a polinização em larga escala, desta forma, o pacote tecnológico das abelhas exóticas (*Osmia* e *Bombus terrestris*) não podem ser utilizadas no Brasil para fins de polinização dirigida (SARAIVA *et al.*, 2012). Porém, existem as abelhas nativas sem ferrão (Apidae:Meliponini), as quais ocorrem em torno de 571 espécies descritas e com maior ocorrência nas regiões tropicais e subtropicais do planeta, sendo que o Brasil detém uma grande diversidade de meliponíneos, cerca de 255 espécies (ASCHER; PICKERING, 2024; CAMARGO; PEDRO, 2013; JONES, 2013). As abelhas sem ferrão têm sido apontadas como potenciais polinizadores ativos para diversas culturas (DEL SARTO; PERUQUETTI; CAMPOS, 2005; PALMA *et al.*, 2008; CRUZ *et al.*, 2005; CAUICH *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2008; NICOMEDO *et al.*, 2013; BOMFIM *et al.*, 2014), principalmente para o morangueiro, promovendo neste maiores rendimentos em produção e produtividade (KLEIN *et al.*, 2020; ROSELINO *et al.*, 2009; MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; SILVA *et al.*, 2020; SCHEID *et al.*, 2020).

Entretanto, no estado do Ceará, Nordeste do Brasil, a cultura do morangueiro é recente, com pequenas áreas e em ambientes totalmente fechado ou semi aberto, fato esse que limita ou impede a entrada desses polinizadores. Portanto, deve-se testar espécies de polinizadores que possam ser utilizadas na polinização dessa cultura, tendo em vista que, no território cearense existe um grande número de meliponíneos (mais de 34 espécies) no Estado (FELIX; FREITAS, 2021; LIMA-VERDE; PACHECO FILHO; FREITAS, 2020), os quais para muitos deles já existem técnicas de manejo (CRUZ; CAMPOS, 2009; NOGUEIRA-NETO, 1997) podendo, deste modo, serem utilizados em escala comercial para polinização de cultivares do morangueiro (ELEUTÉRIO; ROCHA; FREITAS, 2022; MENEZES; VOLLET-NETO; IMPERATRIZ-FONSECA, 2013).

Assim, esse trabalho apresenta novos achados sobre a biologia floral e os requerimentos de polinização da cultura do morangueiro em ambiente tropical, bem como sobre os visitantes florais (abelhas) como potenciais polinizadores dessa cultura. Além disso, o trabalho mostra como o comportamento de forrageio influencia na eficiência das abelhas sem ferrão (*Nannotrigona* aff. *testaceicornis*, *Plebeia flavocincta*, *Scaptotrigona* aff. *depilis* e

Trigona recursa), bem como na abelha com ferrão *Apis mellifera* (africanizada). Por fim, avalia-se o efeito de diferentes número de visitas da abelha canudo (*S. aff. depilis*) às flores do morangueiro no incremento produtivo da cultura, bem como o antes e o depois da introdução de colônias dessa espécie sobre a cultivar San Andreas no município de Tianguá no Estado do Ceará, em sistema semi-hidropônico sob condições de ambiente protegido com laterais abertas.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Polinização agrícola

Entre os agentes polinizadores existem os vetores abióticos, como o vento, a água e gravidade e vetores bióticos, que representa os animais que medeiam o processo de polinização (ACKERMAN, 2000; RECH *et al.*, 2014; WILLMER, 2011). Os animais contribuem com mais de 87,5% na polinização, em cerca de 352.000 das espécies de angiospermas mundialmente que interagem com os polinizadores (OLLERTON; WINFREE; TARRANT, 2011). Desta forma, alguns mamíferos, aves, répteis e insetos são importantes nesse processo de interação planta-polinizador (FAEGRI; VAN DER PIJL, 1979; KLEIN *et al.*, 2020; RADER, 2016).

Com relação aos insetos, estima-se que o valor de seus serviços de polinização se aproxima-se de 153 bilhões de euros anuais e ou 193 bilhões de dólares ao ano. Esse montante representa 9,5% do valor gerado da produção de cultivos agrícolas em todo o mundo, destinados a alimentação dos seres humanos (KLEIN *et al.*, 2007; GALLAI *et al.*, 2009; GARIBALDI *et al.*, 2016; RADER *et al.*, 2016; POTTS *et al.*, 2016). Dentro dessa classe animal, as abelhas polinizam cerca de 73% das 100 principais culturas que constitui boa parte da alimentação humana (FAO, 2004; NABHAN; BUCHMANN, 1997; RICKETTS *et al.*, 2008).

Devido a importância dos serviços de polinização e do monitoramento sistemático, para obter informações e tendências dos polinizadores sobre culturas agrícolas, foram criados órgãos que pudessem acompanhar de perto, em todo o mundo, os efeitos de polinização. A Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES), por exemplo, mostra que para as culturas que dependem dos serviços de polinizadores, estima-se um valor anual de serviços de polinização entre US\$ 235-577 bilhões em todo o mundo (IPBES, 2016).

No Brasil, esses serviços tem pouca atenção, sendo que estudos vêm sendo desenvolvidos e intensificados a partir do século XXI, pois até então, não existia informações compreensivas sobre esse valor econômico para esse país (FREITAS; IMPERATRIZ-FONSECA, 2005). Mais recente, estudos avaliando a dependência das culturas pelos polinizadores estimaram que, seriam gastos pelos agricultores na ausência dos serviços ecossistêmicos prestados pelos animais polinizadores, um valor econômico anual estimado de aproximadamente R\$ 43 bilhões (GIANNINI *et al.*, 2015; BPBES, 2019).

Claramente, a produção de alimentos para base humana depende, de forma direta ou indireta, das abelhas (GARIBALDI *et al.*, 2016; KLEIN *et al.*, 2007; POTTS *et al.*, 2016; RADER *et al.*, 2016). Entre as vantagens de uma polinização eficiente realizada pelas abelhas destacam-se: melhoria da qualidade dos frutos e sementes, da quantidade do produto, do valor comercial, aumento do tempo de prateleira, reduzindo as perdas de frutos não comercializáveis, elevação da eficiência do uso das terras e aumento do número de sementes (GARIBALDI *et al.*, 2013; KLATT *et al.*, 2014; WITTER *et al.*, 2014).

A eficiência dos serviços de polinização prestados pelos animais às culturas agrícolas, depende de vários fatores, como o comportamento de forrageamento, número de visitas do polinizador (MALERBO-SOUSA *et al.*, 2003). Desta forma, as abelhas se destacam sobre os serviços ecossistêmicos e agroecossistemas, uma vez que, sua grande vantagem está na existência de estudos e técnicas de manejo que visam direcionar e maximizar o seu desempenho em cultivos agrícolas, seja em campo aberto, fechado ou semiaberto (CRUZ; CAMPOS, 2009).

2.2 Abelhas na polinização agrícola

Entre as abelhas como polinizadores manejados, os gêneros *Apis* e *Bombus* são bastantes utilizados na polinização dirigida em boa parte dos continentes, principalmente em países do velho mundo. Empresas de biotecnologias vêm crescendo há décadas com a comercialização e exportação de pacotes tecnológicos das abelhas *Bombus* em ambientes protegidos e abertos (VELTHUIS; DOORN, 2006; VERGARA; FONSECA-BUENDÍA, 2012).

Com a expansão do sistema de cultivos fechado no Brasil, a partir da década de 90, a utilização das abelhas do gênero *Bombus* contribuiria de forma significativa na produção e produtividade das culturas agrícolas, como vem sendo conduzido na grande maior parte da Europa e em alguns países da América (SMITH-RAMÍREZ *et al.*, 2018; VELTHUIS; VAN; DOORN, 2006). Entretanto, a importação dessas espécies é proibida por lei, visto que poderia trazer severos prejuízos, como a competição por locais de nidificação, fontes de recursos, doenças e parasitas, podendo ser um prejuízo para as espécies nativas existentes em determinadas regiões (GRANDE *et al.*, 2003; SARAIVA *et al.*, 2012).

Todavia, as abelhas sem ferrão (tribo Meliponini) e algumas das abelhas solitárias, que são grupos menos utilizados na polinização dirigida, teriam a capacidade de serem utilizados em ambientes protegidos ou semiabertos. Cerca de 700 espécies de abelhas entre

maneáveis e não maneáveis, destas eusociais e solitárias, contribuem para os serviços de polinização (GARIBALDI *et al.*, 2013; KLEIJN *et al.*, 2015).

As abelhas nativas sociais e solitárias, recentemente, vêm sendo estudadas com objetivos de avaliar a sua eficiência na polinização a exemplo os Meliponini: *Scaptotrigonas*, *Trigonas* e solitárias: *Xylocopa* e *Centris* (MALAGODI-BRAGA *et al.*, 2002; CRUZ *et al.*, 2004, 2005; FREITAS *et al.*, 2014; MAGALHÃES; FREITAS, 2013) Klein *et al.* (2020) fazem um aparato sobre os principais visitantes florais e polinizadores para as principais culturas agrícolas do Brasil.

As informações de quais abelhas sejam efetivas a determinadas culturas agrícolas, principalmente no morangueiro, que vem sendo introduzidos em ambientes tropicais, é de fundamental importância para direcionar os programas de polinização, bem como, o conhecimento de manejo específico de cada espécie ao ambiente fechado ou aberto (BOMFIM *et al.*, 2014; CRUZ; CAMPOS, 2009).

2.3 A cultura do morangueiro

O cultivo agrícola do morangueiro teve sua origem na Europa em meados do século XVIII do cruzamento entre duas espécies (*Fragaria chiloensis* e *Fragaria virginiana*) oriundas das Américas, gerando assim, um híbrido, com boas características genéticas e dando destaque para a cultura considerada uma das mais difundida. É uma cultura de climas temperados, com grandes adaptações em climas tropicais e subtropicais, com distribuição ampla a nível global (LARSON, 1994; VAUGHAN; GEISSLER, 1997; NEGI *et al.*, 2020; ZEIST; RESENDE, 2019).

As plantas dos morangueiros são herbáceas, pertencente à família Rosaceae e ao gênero *Fragaria*, cujos cultivares atualmente são classificados em *Fragaria x ananassa* Duchesne (HANCOCK, 1990). Apresenta um ciclo de vida perene, mas com o passar do tempo necessita ser renovada, devido aos baixos índices de produtividade em decorrência de pragas e doenças (ANTUNES *et al.*, 2016).

A produção de morango por continentes no ano de 2021 mostra que a Ásia deteve 49% de toda a produção mundial ficando na primeira colocação e em segundo lugar as Américas com 24%, seguido da Europa 19%, e a África com 7% e a Oceania 1%. Atualmente, o Brasil está entre os dez maiores produtores, ocupando a oitava colocação com 197.000,31 toneladas e uma área plantada equivalente a 5.084 hectares (FAO, 2023).

De acordo com Fagherazzi *et al.* (2017), no Brasil a produção de morango tem destaque para os estados de Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, que juntos representam 75% da produção nacional. A cultura do morangueiro recentemente vem sendo implantada na região do Nordeste brasileiro nos estados da Bahia e do Ceará, em áreas de elevada altitude. Na Bahia, essa cultura vem sendo implantada na Chapada Diamantina (SILVA *et al.*, 2020). No Ceará, no planalto da Ibiapaba, com condições favoráveis para produzir o ano todo com frutos mais precoces, mas pouco se sabe sobre o requerimento de polinização e os polinizadores nessas condições tropicais (MIRANDA *et al.*, 2014). No entanto, essa produção ainda tem como base a agricultura familiar, com uma média de 0,3 hectares por produtor (FAGHERAZZI *et al.*, 2017).

O florescimento das cultivares de morango depende de fatores ambientais como o fotoperíodo e a temperatura (HEIDE *et al.*, 2013). Existem cultivares de dias curtos, o qual requerem um fotoperíodo de no máximo 14 horas e temperatura em média de 15°C para induzir o florescimento. Entretanto, também existem as cultivares de dias longos (indiferentes) necessitando de temperaturas entre 10° e 28°C (ANTUNES *et al.*, 2016). A produção varia em função da cultivar, a qual são sujeitas às condições de temperatura e fotoperíodo (ANTUNES *et al.*, 2011; ARIZA, 2012; ANTUNES *et al.*, 2014; ZEIST; RESENDE, 2019).

As flores do morangueiro são formadas por inflorescências do tipo cimeira dicasial, com flores hermafroditas. A parte masculina (androceu) é composta pelos filetes e anteras, local que produz os grãos de pólen. Já a parte feminina (gineceu) compõe-se de: óvulos, ovário, estigma e estilete, classificados de pistilos, sendo a quantidade de pistilos quem vai influenciar no potencial de tamanho dos frutos (WITTER *et al.*, 2014). Além disso, há uma hierarquia floral, existindo, assim, flores primárias, secundárias, terciárias e quaternárias (MALAGODI-BRAGA, 2002; HEIDE *et al.*, 2013; TUOHIMETSÄ *et al.*, 2014).

O fruto do morangueiro é um pseudofruto, resultante do crescimento do receptáculo floral, que amadurece como fruto. Entretanto, as sementes externas são os frutos verdadeiros chamados de aquênios, que, após sua fertilização, controlam o crescimento do receptáculo devido à síntese de hormônios, principalmente a auxina. O desenvolvimento do receptáculo floral se inicia na parte basal, depois lateral e apical, o que promove o desenvolvimento simétrico e típico do morango (ARIZA *et al.*, 2011; ARIZA, 2012; CSUKASI *et al.*, 2011).

Há diversas formas do grão de pólen chegar até o pistilo/estigma da flor do morangueiro (polinização). A ação da gravidade, por exemplo, é considerada como autopolinização espontânea, devido a abertura das anteras estarem anatomicamente mais

próximas ou altas e caem sobre o estigma da mesma flor, isso é mais visto sobre as flores primárias (MALAGODI-BRAGA, 2002). O vento pode contribuir para a polinização, considerada autopolinização anemófila (WITTER *et al.*, 2012).

Apesar da flor do morangueiro ser hermafrodita e autofértil, necessitam dos insetos para promover a autopolinização e polinização cruzada (ROSELINO *et al.*, 2009). A dependência das flores pela polinização cruzada pode ser explicada por três fatores: 1º a diferença da receptividade ou maturação dos estigmas e do amadurecimento das anteras e da liberação dos grãos de pólen e da sua receptividade; 2º a distância e altura das anteras em relação aos estigmas; e 3º hierarquia floral, cujas flores primárias apresentam anteras com uma altura geralmente mais baixa em relação ao estigma, contribuindo para uma baixa taxa de fertilização pelo processo de autopolinização espontânea e da autopolinização pelo vento, o que as tornam mais dependentes da ação dos insetos polinizadores para efetivação da polinização cruzada. Entretanto, as flores secundária, terciária e quaternária tendem a ter suas anteras mais altas em relação ao receptáculo floral, necessitando em menor grau da polinização cruzada (MALAGODI-BRAGA, 2002).

Klatt *et al.* (2014) reforçam que sem o transporte adequado de pólen por insetos ou abelhas, as taxas de fertilização dos aquênios se tornam baixas, bem como, a taxa de frutos não comercializáveis aumenta. Além disso, na presença de abelhas como potenciais polinizadores ocorre ganho no número de frutos, peso fresco, formato, tamanho entre outras características.

Conforme Spigler *et al.* (2008, 2010) e Ronque, (1998) a existência de esterilidade nos pistilos em algumas variedades pode ocasionar uma baixa taxa de fecundação dos aquênios, mesmo sob uma grande diversidade de abelhas ocasionando o efeito complementar.

Em cultivos abertos, pouca atenção é dada na utilização de abelhas para polinizar a cultura do morango, tendo em vista, esses recebem visitas de insetos do entorno, no entanto, com os avanços dos desmatamentos para expansão das fronteiras há destruição dos locais de nidificação para as abelhas nativas e consequentemente redução dos serviços gratuitos de polinização (KLEIN *et al.*, 2003; RADER *et al.*, 2016). Apesar de em ambiente protegido a atenção pelos polinizadores ser mais necessária, ela ainda continua sendo pouco adotada.

2.4 Polinização do morangueiro

Entre as abelhas mais utilizadas no mundo para a polinização do morangueiro são

as do gênero *Apis*, *Bombus* e *Osmia*, entretanto, a expansão de cultivo para clima tropical demanda novos polinizadores locais. O Brasil por possuir uma grande diversidade de abelhas nativas eussociais e solitárias, tem um potencial enorme na utilização desses polinizadores em culturas agrícolas (ASCHER; PICKERING, 2020; BUENO *et al.*, 2023; CAMARGO; PEDRO, 2013; SLAA *et al.*, 2006). Para a cultura do morangueiro as flores apresentam características de polinização cruzada e, desta forma, estudos vem mostrando essa relação benéfica com as abelhas (ABROL *et al.*, 2019; MCGREGOR, 1976; ROSELINO *et al.*, 2009; WITTER *et al.*, 2014). A polinização por abelhas contribui, entre outros fatores, para o aumento do valor comercial dos frutos, da produtividade e da produção (KLATT *et al.*, 2014).

A contribuição das abelhas como agentes polinizadores pode variar, pois, nem sempre todas as espécies possuem a mesma eficácia na transferência dos grãos de pólen da parte masculina (antras) para a feminina (estigma) da flor do morango (KLEIN *et al.*, 2007; FREITAS, 2013). Diante dessa situação, diferentes estudos comparativos vêm sendo realizados, no intuito de analisar as possíveis abelhas como potenciais polinizadores em culturas agrícolas, a exemplo o morangueiro (FREITAS; IMPERATRIZ-FONSECA, 2005; IMPERATRIZ-FONSECA *et al.*, 2007).

Freitas (2013) sugere que a eficácia de uma determinada espécie de polinizador no sucesso reprodutivo de culturas agrícolas, na prática pode ser acessada por uma única visita a flor ou inflorescência. Desta forma, para avaliar a formação de frutos e sementes (vingamento) uma visita seria o padrão para avaliar a eficácia, bem como, a eficiência do polinizador seria a taxa de pólen depositado no estigma ou o conjunto de sementes ocasionando assim a fertilização.

Por outro lado Kakutani *et al.* (1993) relatam que para ter uma taxa de fertilização de 87% e frutos com valor comercial, uma média de 11 visitas de abelhas são necessárias por flor. Winfree *et al.* (2015) preconizam a saturação, ou seja, aumentando a abundância de determinada espécie, a exemplo *Apis mellifera*, para que atinja em média de 16 a 25 visitas por flor. Entretanto, Chagnon, Gingras e Oliveira (1993) e Mallinger, Gratton, (2015) questionam a introdução de colmeias em locais onde existem uma grande diversidade de abelhas nativas (silvestres), tendo em vista o efeito de complementação na polinização por abelhas solitárias e sociais. O efeito complementar está relacionado ao comportamento de forrageio por parte das abelhas, pois algumas espécies visitam determinada área do receptáculo floral ou dos pistilos (MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007). Macinnis e Forrest (2019) constaram que as abelhas manejadas aumentam a porcentagem de frutos comercializáveis, entretanto com a

abelha silvestre ocorre um ganho de 42% em relação às abelhas introduzidas.

Vários são os estudos que mostram a importância de abelhas em diversas culturas, dentre os quais de Slaa *et al.* (2006) e Khalifa *et al.* (2021) que fizeram uma revisão a nível mundial. Especificamente na cultura do morangueiro existem diversos trabalhos em vários continentes do globo, conforme a tabela 1, que mostram a utilização de abelhas em testes de polinização com varias cultivares dessa cultura .

Tabela 1 - Trabalhos com testes de polinização com diferentes tipos de cultivares de morangueiro, espécies de abelhas, referência e localização no globo.

Espécies	Cultivar (es)	Ambiente	Referência	Local
<i>Apis mellifera</i> e abelhas indígenas	Veestar	Não especificado	Chagnon <i>et al.</i> , 1989	Canadá
<i>A. mellifera</i> e <i>Trigona minangkabau</i>	Houkou-wase	Cultivo protegido	Kakutani <i>et al.</i> , 1993	Japão
Abelha <i>Bombus</i> e <i>A. mellifera</i>	Dorit, Oso Grande, Douglas e Chandler	Cultivo protegido	Paydas <i>et al.</i> , 1998	Turquia
<i>A. mellifera</i> e <i>A. cerana</i>	Bogyojosaeng, Suhong, Yeobong	Cultivo protegido	Chang e Lee 2021	Coreia do Sul
<i>A. mellifera</i> e abelha <i>Bombus</i>	Camaroza	Cultivo protegido	Zaitoun <i>et al.</i> , 2006	Jordânia
<i>A. mellifera</i> , <i>T. spinipes</i> e <i>Dialictus</i> sp.	Oso Grande e Sweet Charlie	Ambiente aberto	Malagodi-Braga e Kleinert, 2007	Brasil
<i>Tetragonisca angustula</i>	Oso Grande, Tudla, Chandler e Dover	Cultivo protegido	Antunes <i>et al.</i> , 2007	Brasil
<i>Bombus terrestris</i>	Selva	Cultivo protegido	Dimou <i>et al.</i> , 2008	Grécia
<i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i> e <i>Nannotrigona testaceicornis</i>	Camarosa	Cultivo protegido	Roselino <i>et al.</i> , 2009	Brasil
<i>A. mellifera</i> e família <i>Halictidae</i>	Camarosa	Ambiente aberto	Albano <i>et al.</i> , 2009	Portugal
<i>A. mellifera</i>	Camarosa, Oso Grande, Diamante e Aromas	Cultivo protegido	Calvete <i>et al.</i> , 2010	Brasil
<i>Plebeia nigriceps</i>	Aromas, Diamante e Cegnidarem	Cultivo protegido	Witter <i>et al.</i> , 2012	Brasil
<i>B. terrestris</i>	Camarosa	Cultivo protegido	Ariza <i>et al.</i> , 2012	Espanha
<i>A. mellifera</i> e <i>Osmia bicornis</i>	Darselect, Elsanta, Florence, Honeoye, Korona, Lambada, Salsa, Symphony e Yamaska	Ambiente aberto	Klatt <i>et al.</i> , 2014	Alemanha
<i>A. mellifera</i>	Festival	Não especificado	Zapata <i>et al.</i> , 2014	México
<i>A. mellifera</i>	Dana, Etna, Belrubi, Chandler e Fern	Não especificado	Sharma <i>et al.</i> , 2014	Índia
<i>Anthophora plumipes</i>	Hokowase	Cultivo protegido	Adhikari e Miyanaga, 2016	Japão
<i>B. terrestris</i>	Fortuna	Semi-aberto	Trillo <i>et al.</i> , 2018	Espanha
<i>B. atratus</i>	Camino Real e Ventana	Cultivo protegido	Poveda Coronel <i>et al.</i> , 2018	Colômbia
<i>O. lignaria</i>	<i>Fragaria x ananassa</i>	Ambiente aberto	Horth e Campbell, 2018	EUA

<i>N. testaceicornis</i>	San Andreas	Ambiente aberto	Silva <i>et al.</i> , 2020	Brasil
<i>B. terrestris audax</i>	<i>Fragaria x ananassa</i> cultivar não divulgada	Semi-aberto	Martin <i>et al.</i> , 2019	Inglaterra
<i>O. cornuta</i>	Korona	Cultivo protegido	Herrmann <i>et al.</i> , 2019	Alemanha
<i>A. mellifera</i> e abelhas nativas	Jewel	Ambiente aberto	Macinnis e Forrest 2019	Canadá
<i>A. mellifera</i> , <i>Dialictus</i> <i>spp.</i> , e <i>Plebeia</i> spp.	San Andreas	Cultivo protegido	Scheid <i>et al.</i> , 2020	Brasil
<i>A. mellifera</i>	Every Day Farm	Cultivo protegido	ЗУЙ <i>et al.</i> , 2020	Mongólia
<i>A. mellifera</i>	Fortuna	Semi-aberto	Sarıdaş <i>et al.</i> , 2021	Turquia
<i>A. cerana</i> e <i>Tetragonula</i> <i>laeviceps</i>	sweet charlie	Não especificado	Alpionita <i>et al.</i> , 2021	Indonésia
<i>T. laeviceps</i>	Earlibrite	Cultivo protegido	Atmowidi <i>et al.</i> , 2022	Indonésia
<i>A. dorsata</i> e <i>A. florea</i>	Chandler	Ambiente aberto	Anees <i>et al.</i> , 2022	Paquistão

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na tabela 1, percebe-se que a grande maioria dos trabalhos utiliza as abelhas do gênero *Apis* e *Bombus*, entretanto, uma gama de abelhas manejadas de forma racional, entre elas sociais, nativas ou solitárias visitam os diferentes tipos de cultivares de morangueiro. Os gêneros *Scaptotrigona*, *Trigona*, *Nannotrigona* e *Plebeia* tem um grande potencial para a criação e utilização como polinizadores em culturas agrícolas, principalmente em casa de vegetação (HEARD, 1999; SLAA *et al.*, 2006). Alves (2019) revisa os trabalhos com a utilização de abelhas e potenciais polinizadores entre os anos 2000 a 2019 para o Brasil. Na tabela 2, podemos observar alguns trabalhos com os visitantes e potenciais polinizadores do morangueiro ocorridos no Brasil.

A grande maioria dos trabalhos realizados no Brasil estão mais localizados nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país (ALVES, 2019; ROSELINO *et al.*, 2009; MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; ANTUNES *et al.*, 2007; CALVETE *et al.*, 2010; WITTER *et al.*, 2012; SCHEID *et al.*, 2020). Na região do Nordeste brasileiro o cultivo é recente, principalmente testando abelhas em polinização, e foi realizado inicialmente ao sudoeste da Bahia (SILVA *et al.*, 2020), entretanto, não existem trabalhos que mostrem os potenciais polinizadores, especificamente no Estado do Ceará, uma vez que o cultivo do morangueiro vem sendo expandidos para os planaltos como a Ibiapaba e maciço do Baturité (MIRANDA *et al.*, 2014; DIAS *et al.*, 2015), Faz se necessário pesquisar e avaliar as abelhas nativas sem ferrão existentes como potenciais polinizadores (FELIX; FREITAS, 2021; LIMA-VERDE; PACHECO FILHO; FREITAS, 2020).

Tabela 2 - Visitantes florais e potenciais polinizadores do morangueiro no Brasil.

Família	Espécie	Referência
Apidae	<i>Apis mellifera</i>	Malagodi-Braga (2002)
	<i>Bombus morio</i>	
	<i>Exomalopsis analis</i>	
	<i>Geotrigona subterranea</i>	
	<i>Paratrigona subnuda</i>	
	<i>Plebeia droryana</i>	
	<i>Schwarziana quadripunctata</i>	
	<i>Tetragonisca angustula</i>	
	<i>Trigona spinipes</i>	
Halictidae	<i>Dialictus</i> sp.	
Apidae	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	Inagaki <i>et al.</i> (2017)
	<i>Ceratina</i> (Crewella) sp.	
	<i>Exomalopsis</i> (<i>Exomalopsis</i>) <i>analis</i> Spinola, 1853	
	<i>Plebeia remota</i> (Holmberg, 1903)	
	<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	
	<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	
Halictidae	<i>Augochlorella</i> sp. 1 e sp. 2	
	<i>Dialictus</i> sp.	
	<i>Paroxystoglossa</i> sp. 1	
Apidae	<i>Apis mellifera</i>	Piovesan <i>et al.</i> (2019)
	<i>Tetragonisca fiebrigi</i>	
	<i>Tetrapedia</i> sp.	
	<i>Trigona spinipes</i>	
	<i>Schwarziana quadripunctata</i>	
	<i>Plebeia emerina</i>	
	<i>Plebeia remota</i>	
	<i>Bombus pauloensis</i>	
	<i>Dialictus</i> sp. 1 E sp. 2	
Halictidae	<i>Augochloropsis</i> sp.1 e sp2	
	<i>Augochlora</i> sp.1	
Andrenidae	<i>Psaenythia bergii</i> Holmberg, 1884	
Apidae	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	Barbosa e Orth (2020)
	<i>Bombus</i> (<i>Fervidobombus</i>) <i>pauloensis</i> Friese, 1913	
	<i>Paratrigona lineata</i> (Lepeletier, 1836)	
	<i>Plebeia remota</i> (Holmberg, 1903)	
	<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	
	<i>T. (Thygater) analis</i> (Lepeletier, 1841)	
	<i>Centris varia</i> (Erichson, 1848)	
	<i>Ceratina</i> (<i>Ceratinula</i>) sp. 2	
	<i>Augochlora</i> sp. 1	
Halictidae	<i>A. amphitrite</i> (Schrottky, 1909)	
	<i>Augochlorella</i> sp.	
	<i>A. ephyra</i> (Schrottky, 1910)	
	<i>A. ugochloropsis</i> sp. 2	
	<i>Dialictus</i> sp. 1, S2 E SP3	

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.5 Cenário atual e futuro da polinização no Brasil

Com os avanços das mudanças climáticas e a ação antrópica, especialmente a intensificação do uso das terras, destruindo assim os habitats e a biodiversidade, há uma

preocupação urgente sobre programas de manejo que melhorem as populações de polinizadores, bem como, técnicas de formação de minicolônias para a utilização em escala comercial em serviços de polinização (ARCHER *et al.*, 2014; ELEUTÉRIO; ROCHA; FREITAS, 2022; MENEZES; VOLLET-NETO; IMPERATRIZ-FONSECA, 2013; POTTS *et al.*, 2010; VANBERGEN, 2013).

Apesar de vários trabalhos mostrarem a importância das abelhas sobre diferentes culturas agrícolas (CRUZ *et al.*, 2005; CAUICH *et al.*, 2006; DEL SARTO; PERUQUETTI; CAMPOS., 2005; NICOMEDO *et al.*, 2013; NUNES-SILVA *et al.*, 2013; PALMA *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2008), essas informações, às vezes, não chegam aos produtores, devido estarem em periódicos específicos de literatura científica e na maioria das vezes em língua estrangeira (KLEIN *et al.*, 2020), além das poucas políticas públicas de incentivos. Possivelmente, isso tenha contribuído para termos no Brasil poucos agricultores que utilizam as abelhas em culturas agrícolas, ao contrário do que percebe-se claramente em outras partes do mundo, onde estas abelhas já são bastante utilizadas e com técnicas de criação em grande escala (VELTHUIS; DOORN, 2006). Além do mais, ainda há poucas informações sobre o comportamento de potenciais polinizadores e sua eficácia sobre as culturas (KLEIN *et al.*, 2007), especialmente utilizando os gêneros *Scaptotrigona*, *Nannotrigona*, *Trigona*, *Plebeia* e *Apis* (africanizada).

O desenvolvimento de pesquisas para entender a biologia reprodutiva e os hábitos comportamentais desses gêneros são necessários para um incremento de técnicas de manejo visando a utilização destas espécies em serviços de polinização. Pois é de fundamental importância esses estudos para os produtores, a comunidade científica como também para a sociedade em geral, sendo estes um componente importante do cenário atual e futuro dos serviços de polinização prestados pelas abelhas.

3 BIOLOGIA FLORAL E REQUERIMENTOS DE POLINIZAÇÃO NA CULTURA DO MORANGUEIRO (*Fragaria X ananassa* DUCH., CULTIVAR SAN ANDREAS) NAS CONDIÇÕES TROPICAIS DO PLANALTO DA IBIAPABA, CEARÁ.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi entender a biologia floral e os requerimentos de polinização da cultura do morangueiro cultivar San Andreas nas condições tropicais do planalto da Ibiapaba no município de Tianguá-CE, em cultivo semi-hidropônico em estufa com as laterais abertas. O estudo foi realizado durante o período de fevereiro a julho de 2021. No acompanhamento da biologia floral foram realizadas as contagens das plantas que se encontravam em florescimento. Para idade floral foram acompanhadas 50 flores desde a antese até a senescência. Foram feitos a morfometria floral nas flores primárias e secundária. No teste de receptividade estigmática utilizou-se o peróxido de hidrogênio. Para os requerimentos de polinização foram realizados os seguintes tratamentos: polinização livre, manual cruzada e restrita. No intuito de avaliar o efeito da polinização manual cruzada por dia de florescimento e polinização livre, utilizou-se os dias como tratamento, com 30 repetições cada. O florescimento do morangueiro foi contínuo ao longo de todo o experimento, e as flores permaneceram abertas durante todo o período diurno e noturno, até atingirem 4 dias de antese. Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as flores primárias e secundárias no comprimento da sépala, largura da sépala e comprimento do estigma. As flores estiveram receptíveis a partir do primeiro dia de florescimento. Em relação a taxa de vingamento, polinização livre e manual obtiveram 100% de frutos vingados e restrita com 50%, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre todos os tratamentos. Também houve diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação ao tratamento manual cruzado e polinização livre por idade floral. Conclui-se com os estudos da morfometria e requerimentos de polinização em flores primárias que há necessidade de agentes para a polinização cruzadas da cultivar estudada.

Palavras-chave: autopolinização; morango; necessidade de polinização; polinização livre; polinização manual; polinização restrita; síndrome de polinização; vingamento de frutos.

ABSTRACT

The objective of this study was to understand the floral biology and pollination requirements of the strawberry cultivar San Andreas in the tropical conditions of the Ibiapaba plateau in the municipality of Tianguá-CE, cultivated on semi-hydroponics in a greenhouse with open sides. The study was carried out from February to July 2021. To monitor floral biology, counts of flowering plants were performed. For floral age, 50 flowers were monitored from anthesis to senescence. Floral morphometry was performed on primary and secondary flowers. Hydrogen peroxide was used in the stigmatic receptivity test. For pollination requirements, the following treatments were performed: open, manual cross-pollination, and restricted pollination. In order to evaluate the effect of manual cross-pollination by flowering day and open pollination, days were used as treatment, with 30 replicates each. Strawberry flowering was continuous throughout the experiment, and the flowers remained open throughout the day and night, until reaching 4 days of anthesis. There was significant difference ($p < 0.05$) between the primary and secondary flowers in sepal length, sepal width and stigma length. The flowers were receptive from the first day of flowering. Regarding fruit set rate, open and manual pollination obtained 100% of fruit set and restricted pollination achieved 50%, there were significant differences ($p < 0.05$) between all treatments. There were also significant differences ($p < 0.05$) regarding manual cross-pollination and open pollination by floral age. The studies of morphometry and pollination requirements in primary flowers led to the conclusion to the need for agents for cross-pollination of the studied cultivar.

Keywords: hand pollination; fruit set; open pollination; pollination need; pollination syndrome; restricted pollination; self-pollination; strawberry.

3.1 Introdução

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchesne (Hancock, 1990), é uma cultura pertencente à família Rosaceae, gênero *Fragaria*, amplamente difundida em todo o mundo. Apesar de ser de origem de clima temperado, novas cultivares vêm sendo desenvolvidas por meio de estudos de seleções e hibridizações para se adequarem aos climas tropical e semitropical, desta forma, atendendo a demanda do mercado consumidor (ANTUNES; PERES, 2013; KLATT *et al.*, 2014; QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 1996).

O morango é uma fruta com ampla aceitação tanto pelos consumidores para uso *in natura* quanto pela indústria para processamento industrial (RADMANN *et al.*, 2006). Os frutos com alto valor comercial, que depende da fertilidade dos aquênios é decorrente de vários fatores, além da polinização como tipo de cultivar, temperatura e época de plantio (ARIZA, 2012). Desta forma, a qualidade é quem determina o retorno financeiro para o produtor (CUI *et al.*, 2023).

A produção mundial de morango em 2022 apresentou como destaque a Ásia com 47,9% de toda a produção, seguida pelo continente Americano com 24,5%, Europa 18,6%, África 8,3% e a Oceania 0,6%. Entre os países a China, Estados Unidos e Turquia estão entre os primeiros colocados com uma produção de 3.354.803,57 t, 1.261,890 t, 728.112 t respectivamente. O Brasil ocupa a terceira colocação nas Américas e a decima colocação dos dez maiores produtores do globo, com 183.922,5 t. e uma área plantada equivalente a 4.786 hectares (FAO, 2023).

Apesar da alta produção no Brasil, o cultivo do morangueiro é recente no país, tendo se iniciado a partir do século XX. Mesmo assim, a cultura já vem tendo importância econômica significativa em várias cidades das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (ANTUNES; PERES, 2013; PEREIRA *et al.*, 2013), e recentemente o cultivo do morangueiro começou a se expandir nas serras úmidas ou brejos de altitude da região Nordeste, onde apresenta características climáticas favoráveis para o cultivo (COELHO-JUNIOR *et al.*, 2016; DIAS *et al.*, 2015; MIRANDA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2020).

As flores dos morangueiros são autoférteis, dando origem ao morango. No entanto, os frutos verdadeiros são os aquênios que se localizam na parte externa da infrutescência (o morango). Esses aquênios são responsáveis pelo crescimento do receptáculo floral e da formação de morangos bem desenvolvidos e de alto valor comercial. Entretanto, para esse crescimento acontecer, é preciso que haja a fertilização dos óvulos contidos nos pistilos em fase

floral, onde cada óvulo polinizado se desenvolverá em um aquênio. As flores bem polinizadas resultam em morangos com tamanho adequado e maturação precoce, sendo seu peso proporcional à quantidade de óvulos fertilizados (CHAGNON *et al.*, 1989; KLATT *et al.*, 2014; ZEBROWSKA, 1998).

Embora sejam hermafroditas, as flores do morangueiro apresentam variações na capacidade de autopolinização a depender dos tipos de cultivares (BÄNSCH *et al.*, 2021; CONNOR; MARTIN, 1973; ZEBROWSKA, 1998). Essas variações estão relacionadas a morfologia (anteras inferiores aos pistilos ou distanciadas do estigma) e a fisiologia floral (maturação dos pistilos em épocas diferentes das anteras), determinando assim, o grau de dependência destas à polinização cruzada (BAGNARA; VINCENT, 1988; ZEBROWSKA, 1998).

As flores do morangueiro têm diferentes potenciais de frutificação à depender do número de pistilos que possuem e da hierarquia floral: flores primárias, secundárias, ternárias e quaternárias (HALDER *et al.*, 2019; MALAGOGI-BRAGA, 2002), pois o número de pistilos e o tamanho diminuem com a hierarquia floral (CRANE; WALKER, 1984; FREE, 1993). As flores primárias são mais dependentes da polinização cruzada, dando importância aos agentes bióticos que podem transportar o pólen para os pistilos entre flores de diferentes plantas ou da mesma planta, desta forma, promovendo a polinização cruzada (MALAGOGI-BRAGA, 2010).

Diante desta situação, há a necessidade da transferência dos grãos de pólen para o estigma das flores do morango, especialmente por meio de abelhas ou pela polinização cruzada manual. Atendendo, desta forma, os requerimentos de polinização da cultura (CRUZ; CAMPOS, 2009).

O conhecimento da biologia floral e dos requerimentos de polinização, contribuem para direcionar na escolha do tipo de polinização e polinizador legítimo para uma melhor produção e produtividade de determinada cultura (DELAPLANE; MAYER, 2000; FREE, 1993). Em plantações de morango, o não vingamento dos frutos, na grande maioria, está atrelado ao baixo número de óvulos fertilizados, sendo decorrente de uma polinização inadequada apesar dos morangueiros possuírem a capacidade de se autopolinizarem (CHAGNON *et al.*, 1989; ZEBROWSKA, 1998).

Uma polinização bem sucedida faz com que haja a liberação de hormônios, estimulando o crescimento do receptáculo floral, produzindo frutos sem deformações, com incrementos em rendimentos de aquênios e frutos (CSUKASI *et al.*, 2011; DELAPLANE; MAYER, 2000; KLATT *et al.*, 2014).

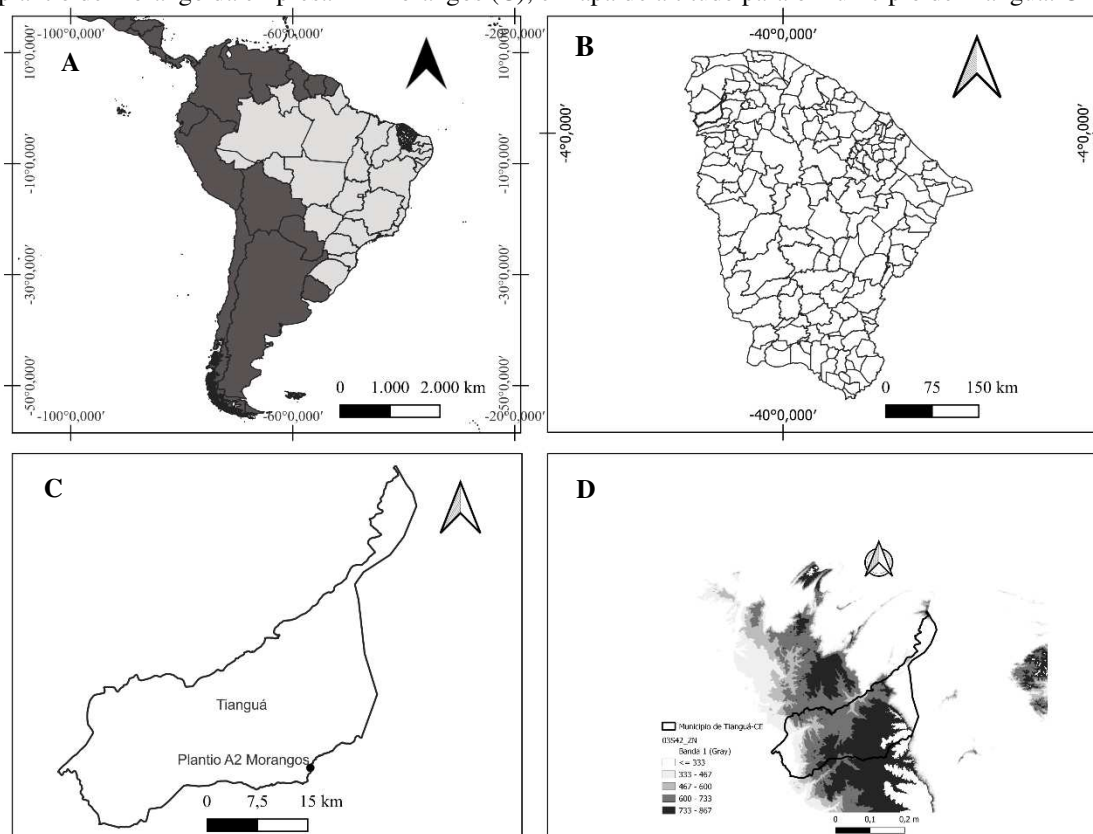
Desta forma, o objetivo desse trabalho foi entender a biologia floral e os requerimentos de polinização da cultura do morangueiro, através da cultivar San Andreas nas condições tropicais do planalto da Ibiapaba no município de Tianguá, Ceará, cultivado em sistema semi-hidropônico em estufa com as laterais abertas.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Local do estudo

O estudo foi conduzido no plantio da empresa A2morangos localizado no sítio Tabocas de Baixo, situado no município de Tianguá, CE a 867m de altitude (Figura 1), e as coletas de dados ocorreram entre fevereiro e julho de 2021 (INPE/TOPODATA, 2021).

Figura 1 - Localização da área do estudo, mapa do Brasil com destaque para o estado do Ceará (A); Mapa do estado do Ceará com destaque para a cidade de Tianguá (B); Mapa do município de Tianguá e localização do plantio de morango da empresa A2 morangos (C); e mapa de altitude para o município de Tianguá. CE (D).



Fonte: Elaborado pelo autor.

O município de Tianguá, localiza-se na Mesorregião do Noroeste Cearense, na

Microrregião de Ibiapaba, distante cerca de 330 km da capital Fortaleza -CE. O clima local, é Tropical Quente Semiárido Brando, ou Tropical Quente Subúmido. Apresenta temperatura média anual de 22° a 24°C e pluviosidade média de 1.210 mm, com o período chuvoso compreendido entre janeiro a maio a depender do ano hidrológico pode chegar até junho-julho. A vegetação é típica de Carrasco, Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) e Floresta Subperenifólia Tropical (IPECE, 2018).

3.2.2 Área experimental, instalação e condução da cultura

O morangueiro foi cultivado em uma estufa de 720 m² coberta com plástico de cultivo comercial e laterais abertas, permitindo a passagem de visitantes florais do entorno da plantação. A área possuía 7.000 plantas de morangueiro, da variedade San Andreas proveniente do Chile, cultivadas de forma elevada e em sistema semi-hidropônico (Figura 2A).

A estufa apresentava vãos (distância de uma coluna para outra) e em cada vão havia 3 canteiros ou linhas (Figura 2B). O pé direito da estufa tinha 3,5 m e a cobertura através de filme de polietileno (PEBD), com tratamento anti-ultravioleta e com uma espessura de 150 µM, contendo, abaixo sombrite e sendo aberto em horários mais quentes.

Figura 2 – Estrutura de suporte na qual foram plantados os morangueiros (*Fragaria x ananassa*) (A), visão de todos os vãos entre as colunas, e as linhas em cada vão (B). Em Tianguá-CE. 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Biologia floral

A quantidade de flores abertas em todo o plantio, ao longo do estudo, foi determinada com auxílio de contadores manuais, a cada dois dias. A duração da antese até a senescência foi conhecida a partir de 50 flores escolhidas e ensacadas aleatoriamente ainda em

fase de botões um dia antes da antese, sendo o seu posterior acompanhamento durante toda a duração de cada flor.

A morfometria floral foi feita com o uso de um paquímetro marca RS Baty nas flores primárias e secundárias (tratamentos), para a verificações das seguintes variáveis: para largura (distância menor) e comprimento (distância maior) das pétalas e sépalas, foi adotada as distâncias entre as pontas de duas pétalas ou sépalas opostas (cm), diâmetro maior e menor do estigma (conjunto de pistilos) (cm), número de sépalas, de pétalas, de anteras e número de flores por planta, totalizando 30 flores para cada tratamento.

3.2.4 Receptividade estigmática

A receptividade do estigma foi avaliada por meio da aplicação de solução de peróxido de hidrogênio (3%) nos estigmas (DAFNI *et al.*, 1992). Adicionou-se (H_2O_2) sobre todos os pistilos/estigma das flores no campo, sem cortá-las das plantas. As flores também não foram emasculadas para evitar cortes ou injúrias à planta que poderiam levar a liberação de enzimas no tecido das flores, mascarando os resultados. De acordo com Dafni *et al.* (1992) e Dafni e Maues (1998), a receptividade do estigma é determinada pela ocorrência e quantidade de bolhas produzidas ao se adicionar o peróxido de hidrogênio ao estigma, que quando receptivo produz a enzima peroxidase. Essa enzima causa a catalase/quebra das moléculas de peróxido de hidrogênio liberando oxigênio que ocasiona a formação de borbulhas.

Flores primárias foram utilizadas para os testes durante os quatro dias de duração de uma flor. Essas flores foram escolhidas e ensacadas aleatoriamente em fase de botões um dia antes da antese. Vinte (20) flores foram usadas em cada dia, totalizando 80 flores analisadas (Figura 3).

Figura 3 – Teste de receptividade com o peróxido de hidrogênio nas flores de morango (*Fragaria x ananassa*) cultivar San Andreas: flor de um dia (A); flor de dois dias (B); flor de três dias (C) e flor de quatro dias (D). Em Tianguá-CE. 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.5 Características avaliadas

Os morangos foram colhidos quando estavam 100% maduros na epiderme (superfície externa de coloração vermelha) (DUNG *et al.*, 2021) e as seguintes análises foram realizadas no mesmo dia da colheita: Para a biometria da fruta foi utilizado um paquímetro marca RS Baty, sendo medido o comprimento longitudinal (cm) compreendido entre a base e o ápice da fruta; e os diâmetros equatoriais maior e menor (cm); o peso (g) foi obtido através de uma balança marca Bel M3102 com precisão de duas casas decimais (material suplementar 1).

A taxa de fecundação (fertilização) dos aquênios foi observada removendo-os dos morangos manualmente com uma pinça, e colocando-os em um recipiente contendo água, para verificar a capacidade de flutuação. Conforme Malagodi-Braga (2002), ajustada de Thompson (1971), aquênios considerados fertilizados são pesados e vão para o fundo do recipiente em solução aquosa, enquanto aqueles que flutuarem não foram fertilizados ou não são viáveis. A contagem dos aquênios inviáveis/flutuantes foi realizada com um contador manual. A taxa de fecundação foi calculada por meio da diferença do número de aquênios totais e dos inviáveis, sendo a diferença multiplicada por 100 e dividido pelo número de aquênios totais, expresso em porcentagem.

Logo após a retirada dos aquênios dos morangos, foram realizadas as medições do teor de Sólidos Solúveis Totais (SST), expressos em graus Brix (° Brix). A leitura do SST foi obtida a partir do suco extraído de cada pseudofruto, após pressão manual desse em um refratômetro óptico modelo RHB-32ATC.

Para avaliar a qualidade pós-colheita das frutas, os morangos foram classificados quanto aos calibres e categorias de acordo com as normas do Mercado Comum do Sul - MERCOSUL (2021). O calibre é definido pela medida do maior diâmetro equatorial em faixas de calibres, que podem variar de 1 a 3 (Tabela 3). Os frutos foram classificados também quanto a classe de acordo com as normas do Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango- PBMH e PIMO (2009), levando em consideração o diâmetro maior. Para tanto, os frutos foram separados em classes, que podem ser entre 15-35mm ou acima de 35mm. Frutos abaixo de 15mm foram considerados sem classe (Tabela 3).

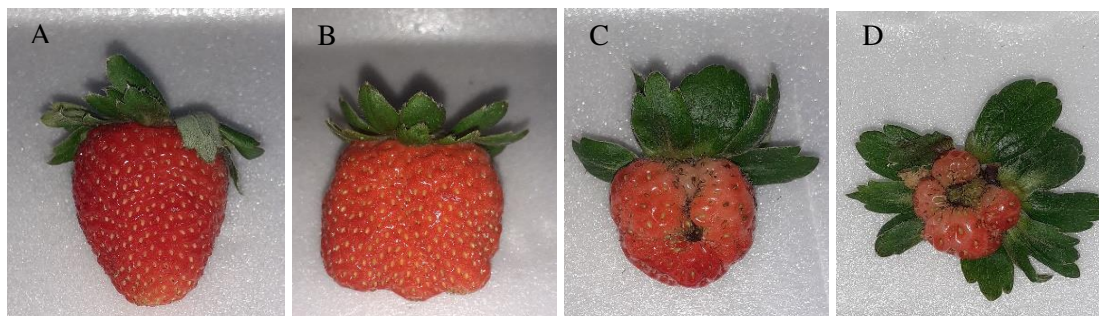
Tabela 3 – Classificação do Mercado Comum do Sul- MERCOSUL (2021) e Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango- PBMH e PIMO (2009).

Classificação MERCOSUL (2021)		Classificação PBMH & PIMO (2009)	
Calibres	Diâmetro equatorial maior (mm)	Classes	Diâmetro equatorial maior (mm)
1	Menor que 20	Sem classe	< ou =15
2	Entre 20 e 30	15	de 15 até 35
3	Maior que 30	35	Maior que 35

Fonte: Elaborado pelo autor com base no Mercosul e PBMH e PIMO.

Quanto a análise qualitativa referente à forma dos morangos, foi utilizada a classificação conforme Kakutani *et al.* (1993) e Malagodi-Braga *et al.* (2007) em frutos considerados: bem formados, regulares, deformados e muito deformados (Figura 4). Sendo que os fruto bem formados e regulares são considerados de valor comercial para o comércio *in natura*. Os deformados e muito deformados são destinados para subprodutos industriais (Figura 4). Para constatar onde ocorreram as deformações nos frutos, as regiões da base, laterais e ápice foram analisadas, conforme Barbosa e Orth (2020).

Figura 4 – Análise de qualidade de frutos de morango (*Fragaria x ananassa*), cultivar San Andreas: Fruto bem formado (A); fruto regular (B); fruto deformado (C); e fruto muito deformado (D). Frutos com valor comercial *in natura* (A e B) e frutos com valor industrial (C e D). Em Tianguá-CE. 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.6 Requerimentos de polinização

Para o estudo dos requerimentos de polinização do morangueiro utilizou-se três tratamentos com 30 repetições cada. Os procedimentos adotados nos tratamentos foram os seguintes:

-*Polinização Restrita (Pr/TI)*: autopolinização espontânea, com botões florais ensacados com sacos de organza no dia anterior à antese e permanecendo ensacados após as flores abrirem e até o crescimento do receptáculo floral (depois do quarto dia de florescimento). Esse tratamento avalia a polinização realizada pela ação da gravidade, movimento das flores

pelo vento, e pelo homem durante o manejo da cultura.

-Polinização Livre (Pl/T2): compreende toda forma natural de transferência de pólen nas flores marcadas, sendo considerado o tratamento controle. As flores foram marcadas quando ainda em botões florais, mas não foram ensacadas, e permaneceram assim durante toda a antese e até a colheita do fruto. Esse tratamento avalia a ação dos agentes do tratamento anterior, somados a de possíveis visitantes florais.

-Polinização Manual Cruzada (Pmc/T3): esse tratamento foi conduzido conforme o método utilizado pelo produtor, o qual consistia na utilização de um cotonete para transferir o pólen sempre entre flores de plantas distintas no 2º dia da antese (CAO *et al.*, 2023). Botões florais foram ensacados com sacos de organza no dia anterior à antese e no segundo dia era feito a polinização manual e depois reensacados até o vingamento do fruto. Esse dia foi determinado pelo produtor, tendo em vista que a passagem do cotonete não machuca os pistilos, bem como, levou em consideração a coloração, abertura e visitas dos potenciais polinizadores.

No intuito de avaliar o efeito da polinização manual cruzada por idade floral (polinização manual cruzada por dia de antese), utilizou-se os dias como tratamento (dias de florescimento 1, 2, 3 e 4, totalizando 4 tratamentos), com 30 repetições cada dia. Os botões florais foram ensacados um dia após a abertura, e a polinização realizada com cotonetes para cada dia. Logo após a polinização, essas flores permaneceram ensacadas até o desenvolvimento do receptáculo floral.

Para a polinização livre por idade floral (polinização livre por dia de antese da flor). Utilizaram-se os dias como tratamento com 30 repetições cada, e as flores foram marcadas um dia antes da antese e deixadas abertas e disponíveis para todos os visitantes de forma natural no período diurno (dentro da janela de forrageamento das abelhas) e ensacadas ao anoitecer, permanecendo ensacadas até o desenvolvimento do receptáculo floral.

3.2.7 Concentração de sólidos solúveis (°Brix) no néctar

O néctar foi coletado com o uso de tubos micro capilares em uma média de 10 flores para obter uma quantidade suficiente para a leitura, através de refratômetros óptico modelo RHB-32ATC. As leituras foram realizadas nos horários: 9:00, 12:00 e às 15:00h. Sendo duas leituras a cada hora.

3.2.8 Análise de dados

Os dados de todos os tratamentos foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk. Aqueles com distribuição normal foram submetidos a análises de variância, com nível de significância a 5% de probabilidade, e comparação de médias *a posteriori* pelo teste de Tukey. Para todos os casos, utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado- DIC com mesmo número de repetições. Quando não houve distribuição normal, procedeu-se pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (H), Teste de Friedman e teste de comparação Wilcoxon.

Os testes estatísticos foram realizados pelo programa R versão 3.4.1, (R Development Core Team, 2018), os gráficos foram realizados pelo programa SIGMA PLOT versão 11.0.

3.3 Resultados

As primeiras flores do morangueiro cultivar San Andreas surgiram a partir dos 60 dias após o transplântio. No início de fevereiro quando atingiu 27% do florescimento depois de quatro meses do transplântio, cresceu gradualmente, até chegar a 58% do total plantado em junho final do experimento.

As flores dessa cultivar apresentaram antese em diferentes horários do dia. Depois de abertas, as flores permaneceram assim durante todo o período diurno e noturno no período de quatro dias. No início da antese as pétalas apresentaram-se brancas e as flores mostraram-se atrativas até o segundo dia de florescimento, mas a partir do terceiro dia as pétalas começaram a ficar escurecidas e murchas e o processo de senescência se iniciou no quarto dia após a antese. Quando a flor não foi polinizada, seja por falta de visita de polinizadores, de movimento realizado pelo vento ou de manejo realizado na cultura, as pétalas permaneciam nas flores até o quarto dia.

As anteras apresentam deiscência e apresentação de pólen no primeiro dia após a abertura do botão floral, embora as pétalas em algumas flores ainda não estejam totalmente abertas. No segundo dia, tanto as anteras como as pétalas encontram-se totalmente abertas, enquanto que no terceiro e quarto dia as anteras apresentam uma coloração mais escura e secas, indicando que não há mais pólen disponível, pois nesse período as pétalas são menos esbranquiçadas o que torna a flor pouco atrativa para as abelhas (Figura 5).

Figura 5 – Idade floral: antese no primeiro dia (A); flor de dois dias (B); flor de três dias (C) e flor de quatro dias (E), em Tianguá-CE. 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se refere às diferenças nas medidas entre as flores primárias e secundárias do morangueiro, houve diferenças significativas ($p < 0.05$) no comprimento da sépala ($3,41 \pm 0,60$ cm e $2,76 \pm 0,43$ cm, respectivamente), na largura da sépala ($3,04 \pm 0,74$ cm e $2,47 \pm 0,39$ cm, respectivamente) e no diâmetro maior do estigma ($0,56 \pm 0,15$ cm e $0,48 \pm 0,14$ cm, respectivamente). Para as demais variáveis (comprimento e largura da pétala, diâmetro menor do estigma, número de sépalas, número de pétalas, número de anteras e número de flores por planta) não foram encontradas diferenças significativas ($p > 0.05$) (Tabelas 4).

Tabela 4- Morfometria das flores primárias e secundárias do morangueiro (*Fragaria x ananassa*) cultivar San Andreas, em Tianguá-CE. 2021.

Variáveis	Flores Primárias (cm)	Flores Secundária (cm)	Coefficiente Variação %	n
Comprimento da sépala	$3.41 \pm 0,60a$	$2.76 \pm 0,43b$	16.96	30
Largura da sépala	$3.04 \pm 0,74a$	$2.47 \pm 0,39b$	21.60	30
Comprimento da pétala	$2.34 \pm 0,44a$	$2.12 \pm 0,41a$	19.10	30
Largura da pétala	$2.04 \pm 0,57a$	$1.92 \pm 0,49a$	26.87	30
Diâmetro maior do estigma	$0.56 \pm 0,15a$	$0.48 \pm 0,14b$	27.88	30
Diâmetro menor do estigma	$0.42 \pm 0,16a$	$0.38 \pm 0,12a$	35.66	30
Número de sépalas	$13.16 \pm 1,90a$	$12.36 \pm 1,76a$	14.54	25
Número de pétalas	$6.93 \pm 1,11a$	$6.70 \pm 1,06a$	15.90	30
Número de anteras	$30.57 \pm 6,85a$	$30.53 \pm 4,97a$	19.60	30
Número flores por planta	$3.70 \pm 1,47a$	$3.86 \pm 1,07a$	33.96	30

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à receptividade dos estigmas (pístilos) ao peróxido de hidrogênio, observou-se variação crescente ao longo dos dias (antese). No primeiro dia de florescimento a receptividade foi de 43%, e verificado que os ápices das flores ainda não estavam totalmente receptivos, ao passo que no segundo dia de florescimento esse valor atingiu 90%. Entretanto, no terceiro e quarto dia a receptividade ocorreu da base e das laterais ao ápice por completo

(Tabela 5).

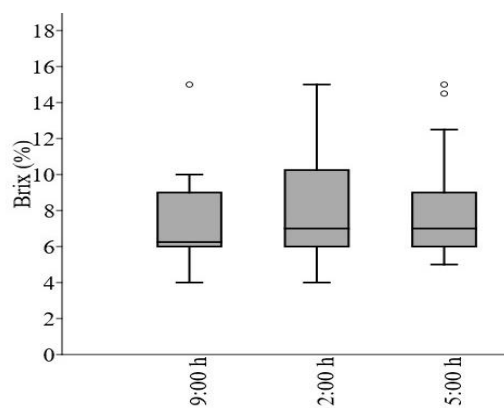
Tabela 5 - Teste de receptividade estigmática por idade floral (antese) do morangueiro (*Fragaria x ananassa*) cultivar San Andreas, em Tianguá-CE. 2021.

Receptividade estigmática	Tratamento (Idade floral)			
	1 dia	2 dia	3 dia	4 dia
Completa (%)	43	90	100	100
Base (%)	28	5	0	0
Laterais (%)	29	5	0	0
Ápice (%)	0	0	0	0
Total para coluna (%)	100	100	100	100
n	20	20	20	20

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à concentração de sólidos totais (°Brix) do néctar das flores do morangueiro, não houve diferença significativa ao longo do dia ($F_r = 0.3800$; $p > 0.05$) (Figura 6). As flores secretaram pequenas quantidades de néctar em volume, sendo necessário a coleta em várias flores para se obter uma amostra que permitisse a mensuração, e em concentração mediana abaixo de 10%.

Figura 6- Boxplot do brix do néctar das flores do morangueiro ao longo do experimento (*Fragaria x ananassa*) cultivar San Andreas, em Tianguá-CE. 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diferença significativa ($p < 0,05$) constatada entre todos os tratamentos relacionados aos requerimentos de polinização: *Pl*, *Pr* e *Pmc* para as variáveis peso, comprimento, diâmetro equatorial maior e menor, número de aquênios total e taxa de fecundação, obtendo maiores médias para o tratamento livre e menor média para a polinização restrita. As variáveis aquênios inviáveis, açúcares totais (°brix) e período de maturação dos frutos nos tratamentos *Pl* e *Pmc* não diferiram entre si ($p > 0,05$), entretanto, diferem da polinização restrita ($p < 0,05$). Atenção é dada ao período de maturação dos frutos no tratamento *Pr*, o qual os frutos detêm uma maior

média ($\bar{X} = 27,50$ dias), levando em torno de 4,5 dias a mais para o amadurecimento, quando comparado aos *Pr* ($\bar{X} = 22,63$ dias) e *Pmc* ($\bar{X} = 23,20$ dias), bem como, o SST do pseudofruto oriundo do tratamento restrito foi menor ($\bar{X} = 3,10$ °Brix) em comparação ao dos tratamentos *Pl* e *Pmc* (5,17 °Brix a 4,80 °Brix respectivamente) (Tabela 6 e Material suplementar 2).

Quanto às classificações do Mercosul para a *Pl* a maior porcentagem foi para o calibre 3, na *Pr* foi o calibre 1 e *Pmc* calibre 2. Na classificação PBMH e PIMO apenas a *Pl* obteve a classe 35 (27%), enquanto que *Pr* e *Pmc* não obtiveram valores para a classe 35. Além disso, mas, apenas a *Pr* obteve frutos sem classe (60%) (Tabela 7).

Tabela 6- Médias e desvio padrão ($\pm$) de peso (g), comprimento longitudinal (cm), diâmetro maior e menor (cm), número de aquênios totais, aquênios inviáveis, açúcares totais, período de maturação e taxa de fecundação de pseudofrutos de morangos (*Fragaria x ananassa*) da cv. San Andreas em função dos tratamentos polinização livre, restrita e manual cruzado. Em Tianguá, CE, 2021.

Variáveis	Tratamentos		
	Polinização Livre	Polinização Restrita	Polinização Manual Cruzada
Peso fresco (g)	16.43 $\pm$ 5,96a	3.00 $\pm$ 4,34c	11.68 $\pm$ 6,09b
Comprimento do fruto (cm)	3,83 $\pm$ 0,57a	1,39 $\pm$ 1,11c	3,25 $\pm$ 0,97b
Diâmetro equatorial maior (cm)	3,15 $\pm$ 0,66a	1,30 $\pm$ 0,97c	2,43 $\pm$ 0,66b
Diâmetro equatorial menor (cm)	2,40 $\pm$ 0,41a	1,03 $\pm$ 0,79c	2,02 $\pm$ 0,58b
Número de Aquênios total (N°)	315,47 $\pm$ 94,93a	45,83 $\pm$ 80,25c	226,37 $\pm$ 117,57b
Aquênios inviáveis (N°)	123,60 $\pm$ 75,67a	37,30 $\pm$ 65,93b	161,93 $\pm$ 99,41a
Açúcares totais (Brix°)	5,17 $\pm$ 0,81a	3,10 $\pm$ 2,40b	4,80 $\pm$ 1,91a
Período de maturação (Dias)	22,63 $\pm$ 1,45a	27,50 $\pm$ 5,79b	23,20 $\pm$ 1,92a
Taxa de fecundação (%)	60,38 $\pm$ 21,29a	16,08 $\pm$ 19,91c	24,52 $\pm$ 22,24b
n	30	30	30

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si, pelo Kruskal-Wallis e comparação de Wilcoxon (teste *post hoc*), ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7- Classificações de frutos de morango (*Fragaria x ananassa*) da cultivar San Andreas pelo Mercado Comum do Sul- MERCOSUL (2021) e Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango- PBMH e PIMO (2009). Em Tianguá-CE, 2021.

Variáveis	Tratamentos		
	Polinização Livre	Polinização Restrita	Polinização Manual Cruzada
Classificação Mercosul (2021)			
Calibre 1 (%)	0	70	20
Calibre 2 (%)	43	27	60
Calibre 3 (%)	57	3	20
Somatório por coluna	100	100	100
Classificação PBMH & PIMO (2009)			
Sem classe (%)	0	60	0
Classe 15 (%)	73	40	90
Classe 35 (%)	27	0	0
Somatório por coluna	100	100	100
n	30	30	30

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação as deformações, para os frutos bem formados houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos de *Pl* (57%) e *Pmc* (35%) em comparação ao *Pr* que obteve 0%. Para os frutos regulares a *Pl* (13%) não teve diferença da *Pmc* (26%) ($p < 0,05$), ao passo que a *Pr* (3%) teve diferença da *Pmc* (Tabela 8). Para os frutos deformados não houve diferença ($H_{k-w} = 1,5$ $p > 0,05$) entre os tratamentos. Entretanto, frutos considerados muito deformados houve diferença entre os tratamentos de *Pl* (23%) e *Pmc* (26%) em comparação ao *Pr* que apresentou 90%.

Percebe-se que na polinização livre 70% dos frutos atingiram a classificação de valor comercial para o mercado *in natura* e 30% dos frutos, foram considerados com valor industrial sendo esses destinados para a fabricação de geleias, sucos, polpas, iogurtes etc. Enquanto que na polinização manual cruzada com valor *in natura* correspondeu a 61% e para indústria só atingiu 39%. Na polinização restrita, os frutos considerados com valor *in natura* alcançaram apenas 3%, já para a indústria chegou a 97% (Tabela 8).

Em relação ao local de deformação não houve diferenças para o ápice e a lateral entre os tratamentos de polinização, no entanto, houve diferença na base ($H_{k-w} = 7,98$ $P = 0,0185$) entre polinização livre e restrita ($P = 0,034$) (Tabela 8 e material suplementar 3).

Tabela 8- Análise da qualidade dos frutos: Deformações; bem formado, regular, deformado e muito deformado. Valor comercial; bem formado e regular = Com valor *in natura* e deformado e muito deformado = com valor industrial. E porcentagem dos locais de deformações. Oriundos dos tratamentos polinização livre, polinização restrita e polinização manual cruzada. Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.

Classificações	Polinização livre (<i>Pl</i>)	Polinização restrita (<i>Pr</i>)	Polinização manual cruzada (<i>Pmc</i>)
Deformações (%)			
Bem formado	57a	0b	35a
Regular	13ab	3b	26a
Deformado	7a	7a	13a
Muito deformado	23a	90b	26a
Soma total por coluna	100	100	100
Valor comercial (%)			
Com valor <i>in natura</i>	70	3	61
Com valor industrial	30	97	39
Local de deformação (%)			
Ápice	38a	34a	35a
Lateral	32a	33a	37a
Base	30a	33b	28ab
Soma total por coluna	100	100	100
n	30	30	30

Porcentagem seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si, pelo Kruskal-Wallis e Comparação de Wilcoxon (teste *post hoc*), ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao observar o tratamento manual cruzado por idade floral (dia de antese), houve

diferença para todos os dias ($P<0,05$), sendo que o segundo dia apresentou maiores médias para todas as variáveis. No entanto, para o peso do fruto $11,68\pm6,09\text{g}$, comprimento do fruto $3,25\pm0,97\text{cm}$ e açúcares totais $4,80\pm1,91$ °Brix o segundo dia foi diferente dos demais dias (dias 1, 2 e 3). Os dias levados para maturação não houve diferença entre os dias de antese ($p>0,05$). Para o diâmetro maior houve diferença ($P<0,05$), sendo o segundo dia maior $2,43\pm0,66\text{cm}$ em relação ao primeiro $1,48\pm0,89\text{cm}$, entretanto, o terceiro $1,90\pm0,89\text{cm}$ e o quarto dia $1,86\pm1,10\text{cm}$ não foram diferentes do segundo, já o primeiro não foi, também, diferente do terceiro e do quarto dia ($p>0,05$). O mesmo resultado foi visto para a taxa de fecundação (Tabela 9 e Material suplementar 4).

Para o número de aquênios total houve diferença ($P<0,05$) entre os dias, sendo os dias dois e três com as maiores médias $226,37\pm117,57$ e $160,20\pm111,58$ respectivamente. Resultado semelhante foi visto para os aquênios inviáveis e diâmetro menor dos frutos ($P<0,05$) (tabela 9). Frutos com valor para o comércio *in natura* destacaram-se os do segundo dia com 61%, os do terceiro dia com 33%, os do quarto dia com 20% e, com a menor porcentagem, os do primeiro dia com 10%.

Tabela 9- Médias e desvio padrão ($\pm$) de peso (g), comprimento longitudinal (cm), diâmetro maior e menor (cm), número de aquênios totais e aquênios inviáveis, açúcares totais (°Brix), período de maturação (dias) taxa de fecundação e frutos com valor comercial *in natura* (%) de morangos (*Fragaria x ananassa*) da cv. San Andreas em função dos dias de antese para a polinização manual cruzado. Em Tianguá, CE, 2021.

Variáveis Descrição	Polinização Manual Cruzada por idade floral			
	1 dia	2 dia	3 dia	4 dia
Peso fresco (g)	3,76 $\pm$ 4,36b	11,68 $\pm$ 6,09a	7,04 $\pm$ 5,07b	6,78 $\pm$ 6,46b
Comprimento fruto (cm)	1,64 $\pm$ 0,94c	3,25 $\pm$ 0,97a	2,43 $\pm$ 1,08b	2,29 $\pm$ 1,22bc
Diâmetro maior (cm)	1,48 $\pm$ 0,89b	2,43 $\pm$ 0,66a	1,90 $\pm$ 0,89ab	1,86 $\pm$ 1,10ab
Diâmetro menor (cm)	1,18 $\pm$ 0,79b	2,02 $\pm$ 0,58a	1,54 $\pm$ 0,73ab	1,36 $\pm$ 0,81b
Aquênios total (N°)	75,53 $\pm$ 88,00c	226,37 $\pm$ 117,57a	160,20 $\pm$ 111,58ab	125,00 $\pm$ 125,26bc
Aquênios inviáveis (N°)	61,33 $\pm$ 68,46b	161,93 $\pm$ 99,41a	111,77 $\pm$ 89,29ab	76,60 $\pm$ 73,23b
Açúcares totais (Brix°)	2,45 $\pm$ 2,19b	4,80 $\pm$ 1,91a	3,18 $\pm$ 2,06b	3,33 $\pm$ 2,32b
Dias para maturação	23,07 $\pm$ 5,26a	23,20 $\pm$ 1,92a	24,33 $\pm$ 5,89a	23,93 $\pm$ 7,39a
Taxa fecundação (%)	10,29 $\pm$ 11,56b	24,52 $\pm$ 22,24a	22,66 $\pm$ 24,96ab	18,12 $\pm$ 26,33ab
Com valor <i>in natura</i> (%)	10	61	33	20
n	30	30	30	30

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si, pelo teste de Kruskal-Wallis e Comparação múltipla de Wilcoxon (teste *post hoc*) ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao tratamento livre por dia de antese, não houve diferença ($p>0,05$) entre os dias para as variáveis diâmetro maior (cm), diâmetro menor (cm), aquênios inviáveis (N°), açúcares totais (°Bx), dias para maturação e taxa de fecundação (%). No entanto, para o peso (g) houve diferença ($p<0,05$) para o terceiro dia, que apresentou uma média maior

11,35±4,94g em relação ao quarto dia 7,47±5,72g, o primeiro dia com uma média de 9,24±5,90g equiparou ao segundo dia 10,38±5,62 e quarto dia, ao passo que não houve diferença entre os dias um, dois e três, o mesmo resultado foi visto para o comprimento do fruto (cm) e número de frutos verdadeiros ou aquênios totais (tabela 10 e material suplementar 5).

Os frutos com valor comercial para o mercado *in natura*, apresentaram um aumento ao longo dos dias, sendo o primeiro dia de antese com 50%, o segundo dia com 65% o terceiro dia com a maior porcentagem 72%, e o quarto dia apresentou a menor taxa com 41% (tabela 10).

Tabela 10- Médias e desvio padrão ($\pm$) de peso (g), comprimento longitudinal (cm), diâmetro maior e menor (cm), número de aquênios totais e aquênios inviáveis, açúcares totais (Brix°), período de maturação (dias) taxa de fecundação e frutos com valor comercial *in natura* (%) de morangos (*Fragaria x ananassa*) da cv. San Andreas em função dos dias de antese para a polinização livre, em Tianguá, CE, 2021.

Variáveis	Polinização Livre por idade floral			
Variáveis Quantitativas	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Peso fresco (g)	9,24±5,90ab	10,38±5,62ab	11,35±4,94a	7,47±5,72b
Comprimento do fruto (cm)	2,74±1,17ab	3,13±0,90ab	3,23±0,98a	2,49±1,28b
Diâmetro maior (cm)	2,15±1,02a	2,28±0,64a	2,35±0,74a	1,95±0,89a
Diâmetro menor (cm)	1,64±0,73a	1,87±0,55a	1,87±0,61a	1,53±0,81a
Aquênios total (N°)	178,80±114,86ab	213,40±108,51ab	224,47±110,67a	140,40±103,46b
Aquênios inviáveis (N°)	134,93±88,43a	175,63±93,75a	178,10±95,60a	119,73±88,58a
Açúcares totais (Brix°)	4,03±2,27a	4,88±1,50a	4,50±1,62a	3,92±2,15a
Dias para maturação	22,23±6,84a	22,57±1,14a	22,80±4,52a	22,47±6,50a
Taxa fecundação (%)	17,46±19,33a	16,68±13,39a	19,32±14,50a	11,89±11,80a
Com valor <i>in natura</i> (%)	50	65	72	41
n	30	30	30	30

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si, pelo Kruskal-Wallis e Comparação de medianas de Wilcoxon (teste *post hoc*), ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Discussão

Os estudos da biologia floral e requerimentos de polinização em morangueiros, nas condições Neotropicais, são importantes para um melhor manejo da cultura, bem como, entender o momento ideal para introduzir polinizadores/abelhas nos cultivos, aproveitando ao máximo os serviços de polinização para aumentar a produção e produtividade dos pseudofrutos, a fertilização dos aquênios e melhorar a qualidade dos frutos de morangos (DELAPLANE; MAYER, 2000; FREE, 1993). Nas condições tropicais, com base nos resultados, o morangueiro inicia o florescimento dois meses após o trasplante, sugerindo que a introdução de polinizadores para a cultivar estudada deve ser realizada 60 dias após o transplante ou quando tem 27% (120 dias) de flores abertas, a porcentagem estar próxima da recomendação por

Garibalde *et al.* (2020), quando se avalia as taxas de visitas de polinizadores, ao atingirem 25% de flores abertas.

O florescimento e a frutificação dos frutos da cultivar San Andreas foi de forma gradual e ininterrupta ao longo do estudo. Além de uma precocidade, a produção e produtividade permanece ao longo de todo o ano, tanto para clima temperado como tropical (MIRANDA *et al.* 2014; ARIZA; SORIA; MARTÍNEZ-FERRI, 2015). Esses achados indicam a necessidade de polinização cruzada (ŻBROWSKA, 1998) por potenciais polinizadores (abelhas) ou pessoas (manual) de forma contínua, ao longo do plantio. O florescimento das cultivares de morangueiros sofre influência de forma conjunta dos fatores micro meteorológicos, tais como: temperatura, umidade, fotoperíodo e precipitação (COSTA *et al.*, 2017; KUROKURA *et al.*, 2013).

Desta forma, as condições edafoclimáticas e agroclimáticas, bem como o tipo de cultivar, determinam a longevidade floral (ARIZA; SÓRIA; MARTÍNEZ-FERRI, 2015; SHARMA; YADAV; THAKUR, 2014). As flores do morangueiro em clima temperado duram em média de 6 a 7 dias (KRÜGER *et al.*, 2022; MALAGOGI-BRAGA, 2002) mas, neste estudo, sob condições tropicais, duraram apenas 4 dias, o que significa que a polinização deve ser realizada em período de tempo menor, bem como, pode determinar o padrão de forrageamento pelos polinizadores. Pesquisas realizadas verificaram que pequenas mudanças no clima ou na biologia floral das culturas agrícolas, como a cor das pétalas, guias de néctar e os compostos orgânicos voláteis influenciam as visitas pelas abelhas (FERNANDES *et al.*, 2019; ISAACS, 2010; MIRANDA *et al.*, 2014; MONTEIRO *et al.*, 2015; TUELL).

Possivelmente, por permanecer aberta durante toda a antese flores da cultivar estudada, em condições tropicais, podem receber visitantes ou potenciais polinizadores não abelhas, cujas visitas podem ocorrer em períodos diurno ou noturno (RADER *et al.*, 2016 e 2020), entretanto, essa situação carece de estudos para analisar quais visitantes não abelha contribuem com a polinização (RADER *et al.*, 2016 e 2020).

Em relação à morfometria das flores primárias em comparação com as secundárias, diferenças no tamanho das sépalas em comprimento e largura influenciam em uma maior estrutura da flor e, desta forma, os nectários são maiores, consequentemente, produzindo uma quantidade maior de néctar e atraindo mais polinizadores, pois as flores primárias são mais dependentes de polinização cruzada (MALAGOGI-BRAGA, 2002). O tamanho das flores em estudo em clima temperado e em diferentes cultivares variaram de 2,22 cm a 2,83 cm (NEGI; SHARMA, SHARMA, 2020), ao passo que as flores da cultivar San Andreas, nas condições

tropicais, não houve diferença entre primárias e secundárias, com um tamanho em comprimento e largura de pétalas variando de 1.92 cm a 2.34 cm. O menor tamanho de flores, pode contribuir para o comportamento de polinizadores de menor estatura, facilitando o deslocamento em busca dos recursos (néctar e ou pólen).

A diferença observada no diâmetro maior do estigma para flores primárias comparando com as secundárias, pode ser decorrente de vários estágios de desenvolvimento entre os pistilos (ZINI; GALATI; CARRERA, 2023), e de números diferentes de pistilos entre flores primárias (450 a 800 pistilos) e secundárias (150 a 200 pistilos) (MALAGODI-BRAGA, 2018; MACINNIS; FORREST, 2019), os quais determinam o crescimento do receptáculo (estigma) para fruto (pseudofrutos e aquênios) em formato cônico (ZINI; GALATI; CARRERA, 2023) caracterizando, assim, o diâmetro equatorial maior e menor em fase de fruto. O número de sépalos e anteras (estames) estão próximos dos encontrados em outros trabalhos (ARIZA; SÓRIA e MARTÍNEZ-FERRI, 2015; CAO *et al.*, 2023).

Quanto a receptividade estigmática, a flor receptiva a partir do primeiro dia de antese e aumentando gradualmente entre os demais dias, sugere que a polinização dirigida, pode ser introduzida ou polinizada no primeiro dia de abertura da flor. Os pistilos da área basal e das laterais são os primeiros a se tornarem receptivos e por último o ápice (ZINI; GALATI; CARRERA, 2023), desta forma, ao se introduzir polinizadores em cultivos de morangos nas condições estudadas, deve priorizar os potenciais polinizadores que possam realizar um comportamento circular da base para as laterais e, por fim, para o ápice. Ou mesmo um polinizador que possa fazer todo esse comportamento na flor por completo.

A receptividade precoce em condições tropicais necessita de abelhas que possam realizar as visitas nas primeiras horas do dia, após a antese, aumentando gradualmente até o quarto dia. Estudos realizados por Monteiro *et al.* (2015), analisando a biologia floral de macieiras (*Malus domestica*) pertencente a mesma família do morangueiro (Rosáceas) e que ambas são culturas de clima temperado, observaram que maçãs nas condições do clima semiárido tem uma precocidade na receptividade dos estigmas, no período floral, na frutificação e na colheita. Malagodi-Braga (2002) avaliando as cultivares Sweet Charlie e Oso Grande, verificou que a receptividade muda com a idade floral, a depender do sistema de cultivo, se em estufa ou a campo aberto. A receptividade precoce de plantios em estufa pode estar atribuída ao aumento interno da temperatura (MALAGODI-BRAGA, 2002; MONTEIRO *et al.*, 2015; ZINI; GALATI; CARRERA, 2023), antecipando, desta forma, a maturação dos pistilos em morangos nas condições tropicais.

Para a cultivar estudada, os estigmas receptíveis no primeiro dia de antese, no mesmo período de disponibilidade do pólen, favorecem a polinização cruzada, até mesmo a autopolinização (MCGREGOR, 1976; LATA *et al.*, 2018). Malagodi-Braga (2002) verificou que os estigmas estão mais receptíveis na fase final da idade floral, quando ocorre uma diminuição de grãos de pólen viáveis, desta forma, não havendo a coincidência entre viabilidade polínica e receptividade estigmática, justificando ainda mais a importância da polinização cruzada por agentes bióticos.

O pequeno volume e a baixa concentração de açúcares (Brix) verificados nas flores, podem ser pouco atrativo para os polinizadores. Desta forma, em flores de morangueiro para o local de estudo é indicado polinizadores, nesse caso, abelhas que tenham hábito de coletarem mais pólen, conforme sugerido para clima temperado por Malagodi-Braga e Kleinert (2007) e Roselino *et al.* (2009). Apesar da cultivar San Andreas possuir um alto teor de brix em relação a outras variedades, o aumento do brix é maior em sistemas de cultivo em solo em comparação ao semi-hidropônico (RICHTER *et al.*, 2018), e conforme Godoi (2009), esse fato pode estar relacionado ao teor de matéria orgânica no solo e a disponibilidade dos nutrientes para a planta.

Os requerimentos de polinização da cultivar San Andreas, em condições tropicais necessitam da polinização cruzada para as variáveis quantitativas e qualitativas quando comparada com a autopolinização. Apesar do morangueiro possuir flores hermafroditas (MALAGODI-BRAGA, 2018), para uma melhor transferência dos grãos de pólen para os pistilos, há necessidade de um agente polinizador. Entretanto, flores andróginas podem não serem totalmente auto fecundantes (MCGREGOR, 1976). A maior média em todas as variáveis analisadas para a polinização livre, ocorreu devido a estufa ser com laterais abertas, bem como, pela existência de cultivos em sistema de irrigação e pelas matas nativas conservadas e preservadas no entorno da estufa, o que facilitou a atração dos polinizadores (RADER *et al.*, 2016; MACINNIS; FORREST, 2019). Isso contribui para o efeito de complementação dos agentes polinizadores do entorno da estufa para o tratamento de polinização livre (CRUZ; CAMPOS, 2009; KLEIN *et al.*, 2003; MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; RADER *et al.*, 2016).

As diferenças em quase todas as variáveis quantitativas, para a polinização livre, principalmente a alta taxa de fecundação e o número de aquênios totais estão atreladas ao fato de que os agentes visitantes são eficazes ou eficientes na transferência dos grãos de pólen para os pistilos/estigma. A polinização manual cruzada realizada pelo produtor, pode ser uma segunda opção, no entanto, se deve avaliar a viabilidade econômica da contratação de mão de

obra especializada para realizar esse tipo de serviço, uma vez que nos trópicos e no local do presente estudo, existe uma grande diversidade de abelhas como potenciais polinizadores (ASCHER; PICKERING, 2020; PEDRO; CAMARGO, 2013; FELIX; FREITAS, 2021). Entretanto, necessita de estudos para registrar quais são esses visitantes (abelhas), como potenciais polinizadores para o ambiente tropical (Nordeste do Brasil), e para avaliar o comportamento e sua eficácia, principalmente as abelhas da tribo Meliponini que vem sendo indicadas como bons polinizadores para a cultura do morangueiro em clima temperado (Sul e Sudeste do Brasil) (MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; ROSELINO *et al.*, 2009; SCHEID *et al.*, 2020).

O número de dias necessários para o amadurecimento (início de florescimento até a data de colheita com 50% de flores abertas) em ambiente temperado para a cultivar San Andreas levaram em média 51 a 54 dias (TAZZO *et al.*, 2015; ZEIST *et al.*, 2019). Nesse estudo com a mesma cultivar e em ambiente tropical o período foi de 27,50 dias para a polinização restrita, para a polinização livre 22,63 dias e para a manual cruzada 23,20 dias, com uma média geral entre os três tratamento de 24 dias. Apesar do efeito ambiental (temperado x tropical), os menores dias levado para o tratamento livre e manual de 4,5 dias a menos em relação ao restrito, mostra que a utilização de potenciais polinizadores ou polinização manual cruzada em morangueiro nas condições tropicais diminui os gastos pelo produtor com a utilização de insumos tais como: produtos de controle de pragas e doenças, adubos, nutrição, gastos com mão de obra, água, energia entre outros.

Embora as flores primárias da cultivar San Andreas sejam auto compatíveis e hermafroditas, necessitam da polinização cruzada, para uma boa formação de frutos de classe 2 e 3 do Mercosul e classe 35 com base nas normas PBMH e PIMO, tendo em vista que os melhores frutos sem deformações (bem formado) foram oriundas da polinização livre e manual cruzada. A alta porcentagem de frutos com valor comercial industrial (deformados e muito deformados) na polinização restrita pode estar atribuída ao distanciamento entre as anteras e os pistilos, pois estes ficam na sua grande maioria em posição superior, bem como, pela diferença de maturação dos pistilos e anteras conforme relatado por Malagodi-Braga (2002) fato que aumenta a contribuição de polinização cruzada por abelhas.

Em relação ao local de deformação, a diferença na base entre os tratamentos, indica a necessidade de um polinizador que foque nessa área, possivelmente, abelhas de tamanho menor e que tenham um comportamento em circular sobre os pistilos. Na polinização manual cruzada, a não diferença na base quando comparado com a livre ou restrita, indicam que esse

resultado pode ter sido devido ao uso do cotonete mais no ápice e nas laterais do fruto, bem como, a posição dos estames (filetes e anteras) na base e do lado dos pistilos (estigma) pode ter impedido o manejo do cotonete sobre a base do receptáculo, e desta forma, refletindo na deformação localmente na base desses frutos.

Para a polinização manual cruzada por dia de antese, observa-se que as flores polinizadas no segundo dia de abertura proporcionaram maiores médias para todas as variáveis, com destaque para o peso, comprimento e frutos mais doces (brix°), além de serem considerados com alto valor para o comércio *in natura*. Esse é o primeiro estudo em que é avaliado a polinização manual cruzada por dia de antese (durante toda sua abertura). Desta forma, nas condições de clima tropical a polinização manual cruzada realizada pelos produtores no segundo dia de antese pode apresentar maiores rendimentos, além de um aumento na qualidade dos frutos. Uma explicação seria a viabilidade polínica que talvez seja maior nesse segundo dia, além do mais a receptividade completa do stigma chega a ser de 90%, para o segundo dia. Os menores valores nos dias 1, 3 e 4 podem ser atribuídos, durante a passagem do cotonete sobre os pistilos, desta forma danificando-os e surti efeito na qualidade do fruto (CAO *et al.*, 2023). Conforme McGregor (1976) e Cao *et al.* (2023) as abelhas tem resultados reais na transferência do pólen de forma eficaz sem danificar as partes do stigma da flor.

Na polinização livre por dia de antese, observa-se que independente do dia em que a flor esteja aberta aos visitantes, a grande maioria das variáveis não apresentaram diferença, em relação a taxa de fecundação, também não houve diferença entre os dias. Devemos informar que essas flores estiveram disponíveis apenas na janela de forrageamento diurno. As flores abertas durante toda a antese tiveram uma taxa de fecundação de 60,38 (tabela 6). Diante desses resultados é recomendado que produtores que tenham estufas fechadas e com as laterais abertas, devem abrir as laterais todos os dias para maximizar a taxa de fecundação, como se fosse um efeito complementar de polinização cruzada.

Apenas o número de aquênios totais, o comprimento e o peso apresentaram diferença entre o terceiro e quarto dia, sendo que houve um aumento gradual do primeiro dia para o terceiro e não houve diferença entre essas variáveis. Esses resultados podem ser devido a receptividade estigmática ser 100% para o terceiro dia de antese, desta forma, a deposição de pólen/ polinização realizada, tem maiores chance de germinar nos pistilos, dando origem a uma maior quantidade de pistilos fecundados e, conseqüentemente, essa fecundação estimula a produção dos hormônios auxina e giberelinas estimulando o crescimento (CSUKASI *et al.*, 2011; KLATT *et al.*, 2014) e fazendo que reflita o mesmo resultado no peso e comprimento

dos frutos.

Em condições naturais, sem o controle da idade floral, o menor resultado para as variáveis (número de aquênios totais, comprimento e o peso) no quarto dia em relação ao terceiro, pode ser devido ao tempo de disponibilidade da flor para os agentes bióticos, levando em consideração a receptividade estigmática de 100%, como ocorreu no terceiro dia de antese, essa hipótese é descartada. Com o controle da idade floral, essa diferença pode ter sido decorrente da maturação dos pistilos, podendo se tornarem inviáveis no quarto dia, no entanto não há diferença quando comparado com o primeiro e segundo dia de antese (MALAGODI-BRAGA, 2002).

3.5 Conclusão

O planalto da Ibiapaba, localizado em região tropical, apresenta condições edafoclimáticas favoráveis para a produção da cultivar San Andreas, com um ciclo de florescimento e frutificação contínuo durante todo o experimento, além de uma precocidade na idade floral atingindo em média 4 dias de antese.

Os estudos da morfometria e requerimentos de polinização em flores primárias indicam a necessidade de agentes para a polinização cruzadas da cultivar estudada.

Flores nas condições tropicais, apresentam receptividade estigmática em todo o período após a antese.

Para todos os tratamentos houve a formação de frutos, no entanto as flores que receberam polinização cruzada, apresentaram melhores desempenhos nas variáveis quantitativas e qualitativas analisadas.

Para os produtores de morangos locais que desejam realizar a polinização manualmente, com base nas variáveis quantitativas e qualitativas analisadas para a polinização manual cruzada por dia de antese, a recomendação é que seja realizada no segundo dia de idade floral.

Com base no tratamento de polinização livre por dia de antese, para produtores que tem sistema de abertura e fechamento das laterais para a visita dos agentes polinizadores, recomenda-se a abertura dessas laterais todos os dias, tendo em vista que flores livres apenas um dia não atinge a mesma taxa de frutos fecundados em relação a da polinização livre (aberta durante todo o período floral).

4 POLINIZAÇÃO DO MORANGUEIRO CULTIVADO EM AMBIENTE TROPICAL

RESUMO

A expansão de culturas de clima temperado para ambientes tropicais onde seus polinizadores não estão presentes, mas existe uma grande diversidade de visitantes florais demanda investigações em como essa maior biodiversidade de potenciais polinizadores se relaciona com a produção dessas culturas. Assim, investigamos a diversidade de abelhas visitantes do morango (*Fragaria x ananassa*), cultivar San Andreas, plantado em Tianguá, CE, NE do Brasil, onde se avaliou o comportamento de forrageio, taxa de vingamento, peso, qualidade dos frutos e calibres em diâmetro, conforme o Mercado Comum do Sul (Mercosul), resultantes de uma única visita de cinco espécies de abelhas, comparados com a polinização livre (*Pl*), autopolinização espontânea (*Ape*) e polinização manual cruzada (*Pmc*). Os resultados mostraram 19 espécies de abelhas visitando as flores do morangueiro, sendo a grande maioria da família Apidae (69%), seguida de Halictidae (21%), Andrenidae (5%) e Colletidae (5%). As mais abundantes foram *Scaptotrigona* aff. *depilis* (*Sad*) com visitas as flores entre 6:00h-17:00h, *Apis mellifera* (*Am*) das 7:00h-15:00h, *Trigona recursa* (*Tr*) entre 6:00h-16:00h, *Plebeia flavocincta* (*Pf*) entre 8:00h-15:00h e *Nannotrigona* aff. *testaceicornis* (*Nat*) entre 9:00h-15:00h. A maior média do tempo de permanência das abelhas nas flores foi registrada para *Sad* com $85,28 \pm 78,15s$, seguida por *Tr* com $59,53 \pm 47,34s$, *Pf* $49,75s \pm 29,89$, *Nat* $36,36s \pm 22,22s$ e *Am* com o menor tempo de $12,56 \pm 8,27s$. De um modo geral, todas tocavam nas estruturas reprodutivas das flores e o pólen foi o recurso mais coletado. Houve diferenças $H=101.6832$ ($p < 0,01$) na taxa de vingamento, com autopolinização espontânea (*Ape*) tendo vingado significativamente menos frutos que os demais tratamentos. Observaram-se diferenças significativas ($p < 0,01$) para as variáveis, comprimento, diâmetro maior e menor e números de aquênios totais e no peso dos morangos que variaram de 6,66g *Ape* até 12,43g polinização manual cruzada (*Pmc*) e 13,58g polinização livre (*Pl*). Todas as abelhas produziram frutos tão pesados quanto *Pmc*, mas *Tr* e *Pf* e *Ape* diferiram da *Pl*. Os tratamentos *Tr* e *Ape* não produziram frutos no calibre 3 (diâmetro $>30mm$), enquanto o calibre 2 (entre 20 e 30 mm) foi o mais frequente em todos os tratamentos. Os tratamentos também variaram em relação ao percentual de frutos com padrão para comercialização: *Nat* = 92%, *Pl* = 82%, *Am* = 73%, *Pmc* = 61%, *Tr* = 53%, *Sad* = 38% e *Pf* = 30%, *Ape* = 11%. Ao avaliar a eficácia por dia de antese/idade floral, os tratamentos por *Sad*, *Tr* e *Pl* não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) para o peso.

Para a variável número de aquênios totais em relação aos dias de antese, não houve diferenças significativas para os tratamentos de *Sad*, *Am*, *Tr* e *Pmc* ($p=0.1008$). Conclui-se que as espécies avaliadas *Sad*, *Am*, *Tr*, *Pf* e *Nat* apresentam comportamentos de forrageio compatíveis para fornecerem os serviços de polinização exigidos para o morangueiro, refletindo positivamente nas variáveis quantitativas e qualitativas desejadas para a cultura e que as abelhas estudadas não conseguem individualmente maximizar a produção ou qualidade dos frutos, sendo necessária suas ações complementares para produzir os melhores resultados, conforme observado na *Pl*.

Palavras-chave: abelhas sem ferrão; morango; polinização agrícola; morango; polinização tropical; qualidade de frutos.

ABSTRACT

The expansion of temperate crops to tropical environments where their pollinators are not present, but where there is a great diversity of floral visitors, demands investigations into how this greater biodiversity of potential pollinators relates to the production of these crops. Thus, we investigated the diversity of bees visiting strawberry (*Fragaria x ananassa*), cultivar San Andreas, planted in Tianguá, CE, NE Brazil, where we evaluated foraging behavior, fruit set rate, fruit weight, fruit quality and diameter sizes, according to the Southern Common Market (Mercosul), resulting from a single visit by five bee species, compared with open pollination (*Pl*), spontaneous self-pollination (*Ape*) and manual cross-pollination (*Pmc*). The results showed 19 species of bees visiting strawberry flowers, the vast majority of which were from the family Apidae (69%), followed by Halictidae (21%), Andrenidae (5%) and Colletidae (5%). The most abundant were *Scaptotrigona* aff. *depilis* (*Sad*) visiting the flowers between 6:00h-17:00h, *Apis mellifera* (*Am*) from 7:00h-15:00h, *Trigona recursa* (*Tr*) between 6:00h-16:00h, *Plebeia flavocincta* (*Pf*) between 8:00h-15:00h and *Nannotrigona* aff. *testaceicornis* (*Nat*) between 9:00h-15:00h. The longest average time spent by bees on the flowers was recorded for *Sad* with 85.28 ± 78.15 s, followed by *Tr* with 59.53 ± 47.34 s, *Pf* 49.75 ± 29.89 s, *Nat* 36.36 ± 22.22 s and *Am* with the shortest time of 12.56 ± 8.27 s. In general, all of them touched the reproductive structures of the flowers and pollen was the most collected resource. There were differences $H=101.6832$ ($p<0.01$) in the fruit set rate, with Spontaneous Self-Pollination (SSP) having set significantly fewer fruits than the other treatments. Significant differences ($p<0.01$) were observed for the variables length, largest and smallest diameter and number of total achenes and in the weight of the strawberries that ranged from 6.66g *AE* to 12.43g Manual Cross-Pollination (*Pmc*) and 13.58g Open Pollination (*Pl*). All bees produced fruits as heavy as *Pmc*, but *Tr* and *Pf* and *Ape* differed from *Pl*. The *Tr* and SSP treatments did not produce fruits in size 3 (diameter >30 mm), while size 2 (between 20 and 30 mm) was the most frequent in all treatments. The treatments also varied in relation to the percentage of fruits with commercial standard: *Nat* = 92%, *Pl* = 82%, *Am* = 73%, *Pmc* = 61%, *Tr* = 53%, *Sad* = 38% and *Pf* = 30%, *Ape* = 11%. When evaluating the efficacy by day of anthesis/floral age, the treatments by *Sad*, *Tr* and *Pl* did not present significant differences ($p>0.05$) for the weight. For the variable number of total achenes in relation to the days of anthesis, there were no significant differences for the treatments of *Sad*, *Am*, *Tr* and *Pmc* ($p=0.1008$). It is concluded that the evaluated species *Sad*, *Am*, *Tr*, *Pf* and *Nat* present compatible foraging behaviors to provide the pollination services required for the strawberry plant, reflecting positively on the quantitative and

qualitative variables desired for the crop and that the studied bees are not able to individually maximize the production or quality of the fruits, requiring their complementary actions to produce the best results, as observed in the *Pl*.

Keywords: agricultural pollination; fruit quality; stingless bees; strawberry; tropical pollination.

4.1 Introdução

O cultivo agrícola de várias espécies de clima temperado tem se expandido para ambientes tropicais. Porém, a maioria delas depende de polinização biótica, principalmente por abelhas (GARIBALDI *et al.*, 2013; KLEIN *et al.*, 2007), mas os polinizadores nativos de suas regiões de origem geralmente não ocorrem nos trópicos. Além do mais, em alguns países como o Brasil, por exemplo, é proibido a introdução de espécies exóticas (SARAIVA *et al.*, 2012), sendo necessário buscar espécies locais para desempenharem essa função (OLIVEIRA; CAVALCANTE; FREITAS, 2015).

Várias medidas têm sido tomadas visando aumentar a produtividade agrícola, como a seleção de novas variedades resistentes a altas temperaturas, pragas e doenças, melhorias nas práticas de irrigação, maior atenção à fertilidade dos solos etc. (ALMEIDA *et al.*, 2019; ALMEIDA *et al.*, 2015; MIRANDA *et al.*, 2014; MONTEIRO *et al.*, 2015; RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2014). Entretanto, essas medidas só surtem efeito se acompanhadas da polinização das flores. Na grande maioria das plantas cultivadas, sem a polinização não há a formação dos frutos (DELAPLANE *et al.*, 2013). Além disso, a polinização realizada por abelhas pode apresentar vantagens, como a melhoria na qualidade dos frutos e sementes, quantidade do produto, valor comercial, aumento do tempo de prateleira, redução de frutos não comercializáveis, uso eficiente das terras e maior número de sementes por fruto (KLATT *et al.*, 2014; GARIBALDI *et al.*, 2013; WITTER *et al.*, 2014).

Dentre os cultivos de clima temperado dependente da polinização cruzada que têm se expandido para áreas tropicais, está o morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) (ROSELINO *et al.*, 2009). O cultivo agrícola do morangueiro teve sua origem na Europa em meados do século XVIII do cruzamento entre duas espécies (*Fragaria chiloensis* e *Fragaria virginiana*), de onde se espalhou para várias partes do Globo (HANCOCK; SJULIN; LOBOS, 2008)

A produção de morango no ano de 2021 mostra que a Ásia deteve 49% de toda a produção mundial ficando na primeira colocação, na segunda as Américas 24%, depois a Europa 19%, África com 7% e a Oceania 1%. Atualmente, o Brasil está entre os dez maiores produtores ocupando a oitava colocação com 197.000,31 toneladas e uma área plantada equivalente a 5.084 hectares (FAO, 2023), com várias cultivares introduzidas no país (ANTUNES; PERES, 2013), sendo a San Andreas, de dia neutro (floresce e frutifica independentemente do fotoperíodo) e que vem se adaptando bem a diferentes microclimas

(BARRIOS; LEMA; LAREO, 2014).

As flores de morangueiro são hermafroditas e auto férteis (ABROL *et al.*, 2019) e, mesmo assim, as cultivares necessitam de polinização cruzada (ROSELINO *et al.*, 2009), devido à fisiologia, a maturação do gineceu e androceu em períodos diferentes (ocorrendo a receptividade estigmática antes das anteras da mesma flor liberarem o pólen) e anatomia (anteras abaixo dos pistilos) das flores, e devido a hierarquia floral ser mais acentuada nas flores primárias (BRAZANTI, 1989; HALDER *et al.*, 2019). Assim, estudos evidenciam que o sucesso da polinização pode mudar de acordo com os diferentes polinizadores de cada região, uma vez que, os frutos de alta qualidade e valor comercial necessitam de uma eficiência por parte dos polinizadores em atender os requerimentos de polinização da cultura (ANTUNES *et al.*, 2006; FREITAS, 2013; KLEIN *et al.*, 2007; KLEIN *et al.*, 2020).

Várias espécies de abelhas sem ferrão (tribo Meliponini) e do gênero *Apis* tem sido indicadas para fornecerem serviços de polinização dirigida para a cultura do morangueiro no Brasil, baseado em estudos realizados no sul e sudeste do país (MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; SCHEID *et al.*, 2020). Mas, o cultivo do morangueiro vem se expandindo para regiões mais quentes (ALMEIDA *et al.*, 2019; COELHO-JUNIOR *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2020), porém com pouca atenção à importância da polinização para a cultura, tendo em vista que poucos agricultores detém o conhecimento sobre a polinização dirigida e quais espécies de abelhas utilizar.

Sendo assim, objetivamos identificar a biodiversidade de abelhas visitantes e potenciais polinizadores e avaliar seus comportamentos de forrageio, bem como, as eficácias em *F. x ananassa* cultivar San Andreas, cultivado em ambiente tropical no município de Tianguá-CE-Brasil.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no sítio Tabocas de Baixo, situado no município de Tianguá, CE (3°49'14.08"S, 40°57'48.51"W), e as coletas de dados ocorreram entre fevereiro e julho de 2021. A região apresenta um clima Tropical Quente Subúmido, com temperaturas médias anuais de 20.7 °C, pluviosidade média de 1.203,3 mm e altitude de 795m (DCA UFCG, 2022).

4.2.2 Características do ambiente de cultivo

O morangueiro foi cultivado em uma estufa de 720 m² coberta com plástico de cultivo comercial e laterais abertas, permitindo a passagem de visitantes florais do entorno da plantação. A área possuía 7.000 plantas de *F. x ananassa*, da variedade San Andreas proveniente do Chile, cultivadas de forma elevada e em sistema semi-hidropônico. No plantio, foram usados somente produtos fitossanitários na classificação faixa verde (Categoria não classificado) (ANVISA, 2020), sempre respeitando os horários de forrageamento das abelhas.

4.2.3 Coleta e identificação das abelhas

As abelhas visitantes florais do morangueiro foram capturadas durante caminhadas em zigue-zague (transectos) entre os canteiros, perfazendo 72 metros de percurso de cada vez. Essas coletas foram realizadas ao longo de todo o dia, entre 5:00 e 18:00h, durante todo o período do experimento. Utilizou-se um tubo Falcon de 50 ml vazio para capturar a abelha no momento de sua visita à flor, e em seguida transferi-la para tubos com álcool 70%. As abelhas capturadas foram então levadas ao Laboratório do Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), montadas em alfinetes entomológicos e devidamente etiquetadas antes de serem identificadas e colocadas na coleção da UFC.

4.2.4 Avaliação do comportamento de forrageio das abelhas

Dados de forrageio foram obtidos para as cinco espécies mais frequentes visitando as flores do morangueiro. As observações foram realizadas das 5:00h às 18:00h, acompanhando 20 minutos em cada intervalo de 1 hora. Os parâmetros avaliados foram: recurso coletado (pólen, néctar ou pólen e néctar), órgãos da flor contatada (antera, estigma ou antera e estigma), padrão de forrageamento (se circulavam pelas laterais da flor, toda a flor ou apenas no ápice das flores) e tempo de permanência de cada abelha na flor.

Para avaliar as visitas das abelhas por dia e durante os quatro dias de antese (N=43), flores abertas e seus visitantes foram observados do momento em que as flores abriram no primeiro dia até quando murcharam ao final do quarto dia.

4.2.5 Receptividade estigmática

A receptividade do estigma foi avaliada por meio da aplicação de solução de peróxido de hidrogênio (3%) (DAFNI *et al.*, 1992). Adicionou-se (H₂O₂) sobre todos os pistilos/estigma da flor sem serem arrancados da planta, muito menos cortado as anteras (emasculados), uma vez que com cortes ou injúrias a planta poderia produzir enzimas no tecido das flores e mascarar os resultados da presença de borbulhas de oxigênio. A enzima catalase produzida em estigmas receptivos promove a quebra das moléculas de peróxido de hidrogênio liberando o gás oxigênio e levando a borbulhas/bolhas que permitem constatar visualmente que o estigma está receptivo (DAFNI *et al.*, 1992; DAFNI; MAUES, 1998). Flores primárias foram utilizadas para cada dia do florescimento. Essas flores foram escolhidas e ensacadas aleatoriamente em fase de botões um dia antes da antese. Vinte (20) flores foram usadas em cada dia, totalizando 80 flores analisadas.

4.2.6 Eficácia dos polinizadores

A eficácia dos polinizadores foi avaliada por meio de uma única visita da espécie de abelha às flores no segundo dia de antese (FREE, 1993; FREITAS, 2013; ALBANO *et al.*, 2009). Os tratamentos utilizados foram Polinização livre (*Pl*), Autopolinização espontânea (*Ape*), Polinização manual cruzada (*Pmc*), e uma visita de cada uma das seguintes espécies de abelha *Scaptotrigona* aff. *depilis* (*Sad*) *Nannotrigona* aff. *testaceicornis* (*Nat*), *Trigona recursa* (*Tr*), *Apis mellifera* (*Am*), *Plebeia flavocincta* (*Pf*). Após a polinização, as flores permaneceram ensacadas até a formação dos frutos. Para avaliar a eficácia dos polinizadores por idade floral repetiu-se os tratamentos acima para cada um dos quatro dias de antese da flor.

Após os frutos serem colhidos realizaram-se as análises quantitativas de peso (g) utilizando uma balança marca Bel M3102 com precisão de duas casas decimais, do comprimento longitudinal (cm) e diâmetro= largura equatorial maior e menor (cm) foram obtidos com um paquímetro marca RS Baty, e o teor de sólidos solúveis (°Brix) com um refratômetro óptico modelo RHB-32ATC. Além disso, também foram contados o número de aquênios totais e número de dias levados para o amadurecimento dos frutos, o qual compreendeu desde o primeiro dia de florescimento até a colheita.

Para as análises qualitativas os frutos foram classificados em bem formados, regulares, deformados e muito deformados. Os frutos bem formados e regulares são considerados de valor comercial para comércio *in natura*. Os deformados e muito deformados, considerados sem valor comercial, destinados para subprodutos industriais, segundo Malagodi-

Braga e Kleinert (2007). Para verificar onde ocorreram as deformações nos frutos, as regiões da base, laterais e ápice foram analisadas conforme Barbosa e Orth (2020). As classificações do Mercado Comum do Sul-MERCOSUL (2021) e do Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango-PBMH e PIMO (2009) também foram utilizadas.

No vingamento dos frutos foi adotado o conceito de que frutos abaixo de 1g foram considerados como aqueles que o produtor retira da planta e joga fora sem uso comercial, evitando desta forma, desvio de nutrientes por parte da planta.

4.2.7 Análise de dados

Os dados de todos os tratamentos foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk. Aqueles com distribuição normal foram submetidos a análises de variância, com nível de significância a 5% de probabilidade, conforme o teste de Tukey. Para todos os casos, utilizaram-se o Delineamento Inteiramente Casualizado- DIC com diferentes números de repetições. Quando não houve distribuição normal, procedeu-se pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (H) e o teste *a posteriori* de Dunn (Q). Os testes estatísticos foram realizados no programa R versão 3.4.1 (R Development Core Team, 2018).

4.3 Resultados

Dezenove espécies de abelhas foram identificadas visitando as flores do morangueiro: (Andrenidae) *Protomelitura turnerae* (Ducke, 1907). (Apidae) *Euglossa* sp. 1, *Oxytrigona tataira* (Smith, 1863), *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793), *Trigona recursa* Smith, 1863, *Trigona* aff. *fuscipennis* Friese, 1900, *Partamona ailyae* Camargo, 1980, *Plebeia flavocincta* (Cockerell, 1912) *Scaptotrigona* aff. *depilis* (Moure, 1942), *Nannotrigona* aff. *testaceicornis* (Lepeletier, 1836), *Melipona mondury* Smith, 1863, *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758), *Exomalopsis analis* Spinola, 1853, *Exomalopsis auropilosa* Spinola, 1853. (Colletidae) *Hylaeus* sp. 1. e (Halictidae) *Augochlora* sp. 1, *Dialictus* sp. 1, *Dialictus* sp. 2, e *Dialictus opacus* (Moure, 1940) (Figura 7). A grande maioria delas (69%) pertenciam à família Apidae, 21% à Halictidae, e 5% com Andrenidae e Colletidae. Desse total, apenas duas espécies tiveram suas colônias introduzidas na estufa, sendo o restante de ocorrência natural. As abelhas de hábito eussociais foram mais abundantes (53%) do que as solitárias (47%).

Figura 7- Visitantes florais registrados nas flores de morangueiro *Fragaria x ananassa* Duch., variedade San Andreas: *Protomeliturga turnerae* (A), *Euglossa* sp. (B), *Oxytrigona tataira* (C), *Trigona spinipes* (D), *Trigona recursa* (E), *Plebeia flavocincta* (F), *Scaptotrigona* aff. *depilis* (G), *Nannotrigona* aff. *testaceicornis* (H), *Melipona mondury* (I), *Apis mellifera* (J), *Exomalopsis analis* (K), *Exomalopsis auropilosa* (L), *Hylaeus* sp. (M), *Augochlora* sp. (N), *Dialictus* sp. (O) no município de Tianguá, Ceará, na região Nordeste do Brasil. 2021.



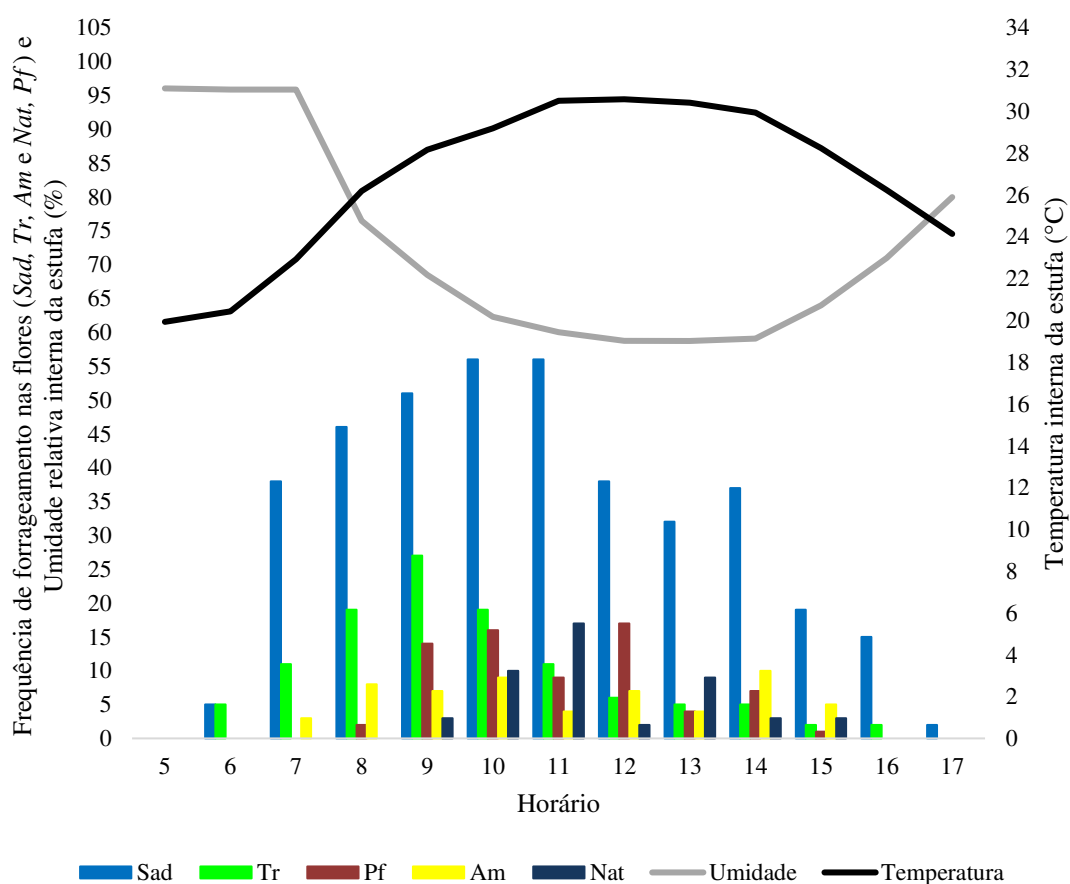
Fonte: Elaborado pelo autor.

Além da introdução de *S. aff. depilis* e *N. aff. testaceicornis*, foram identificados ninhos de forma natural no entorno do plantio (estufa) das abelhas *Apis mellifera*, *Trigona recursa*, *Oxytrigona tataira* e *Trigona spinipes*. As espécies que mais visitaram as flores do morangueiro foram *Scaptotrigona* aff. *depilis*, *T. recursa*, *P. flavocincta*, *A. mellifera* e *N. aff.*

testaceicornis.

Em relação à frequência ao longo do dia, percebeu-se que *S. aff. depilis* visitou as flores logo pela manhã a partir das 6:00h quando a temperatura interna da estufa começava a aumentar, atingindo os maiores picos de frequência entre 10:00-11:00h e encerrando as visitas às 17:00h. *Apis mellifera* iniciava as atividades de forrageamento a partir das 7:00 horas da manhã e finalizava às 15:00h, com maiores picos de visitas às 10:00h e às 14:00h, *T. recursa* começava a forragear às 6:00h e finalizava às 16:00h, com maior pico entre 9:00-10:00h. A atividade de forrageio da *P. flavocincta* ocorreu das 8:00h às 15:00h, com maior pico entre 9:00h e 12:00h. *N. aff. testaceicornis* deu início as suas atividades de forrageamento um pouco mais tarde do que as demais, às 9:00h com aumento substancial até às 11:00h (Figura 8).

Figura 8- Frequência de forrageio para *Scaptotrigona aff. depilis* (Sad), *Trigona recursa*, (Tr) *Plebeia flavocincta* (Pf), *Apis mellifera* (Am), *Nannotrigona aff. testaceicornis* (Nat), temperatura (°C) e umidade (%) interna da estufa em Tianguá-CE. 2021.

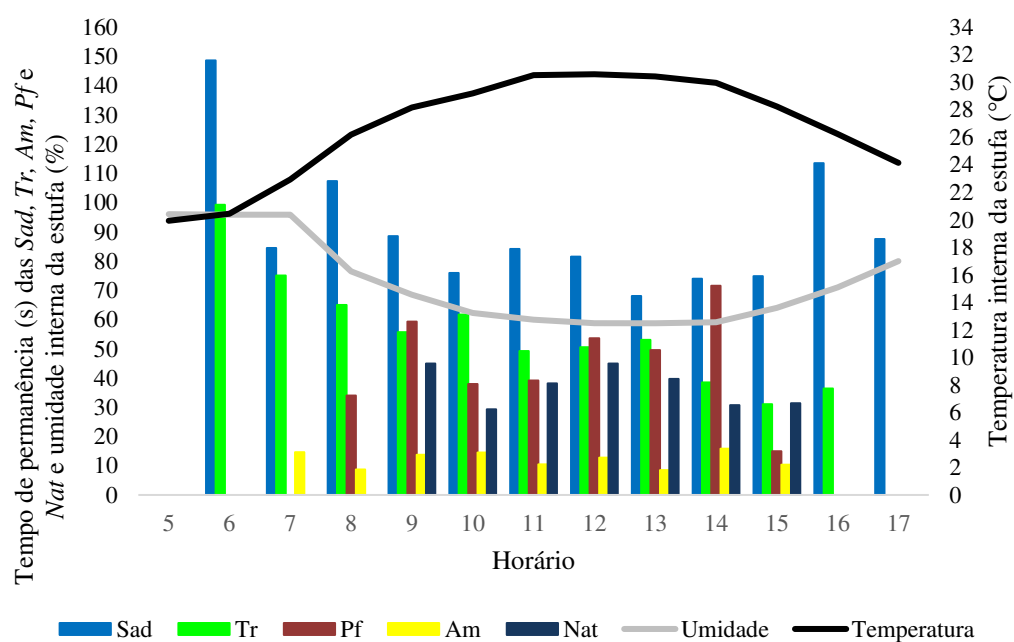


Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média do tempo de permanência das abelhas nas flores foi registrada para *S. aff. depilis* com $85,28 \pm 78,15$ s, seguida por *T. recursa* com $59,53 \pm 47,34$ s, *P. flavocincta* com

49,75s±29,89, *N. aff. testaceicornis* 36,36s±22,22s e *A. mellifera* com o menor tempo de 12,56±8,27s. Em relação ao tempo de permanência das abelhas nas flores ao longo do dia, percebe-se que para *S. aff. depilis* houve uma relação inversa com a temperatura dentro da estufa pois, à medida que esta aumentou, o tempo de permanência das abelhas nas flores diminuiu (Figura 9). Entretanto, isso aumentou a frequência de visitas (Figura 8). Já para *Apis mellifera*, o tempo de permanência na flor tem pouca variação ao longo do dia, sendo pouco afetada pelos parâmetros anteriores. No caso de *T. recursa*, a permanência nas flores diminuiu com o passar do dia, com maior tempo nos horários em que a umidade foi alta. Em *P. flavocincta* os horários em que as abelhas permanecem mais tempo visitando as flores foram às 9:00h e 14:00h, quando as temperaturas eram altas. Já para *N. aff. testaceicornis*, os maiores tempos de permanência nas flores foram verificados às 9:00 e 12:00h.

Figura 9- Tempo de permanência das abelhas nas flores: *Scaptotrigona aff. depilis* (Sad), *Trigona recursa*, (Tr) *Plebeia flavocincta* (Pf), *Apis mellifera* (Am), *Nannotrigona. aff. testaceicornis* (Nat), temperatura e umidade interna da estufa em Tianguá-CE. 2021.

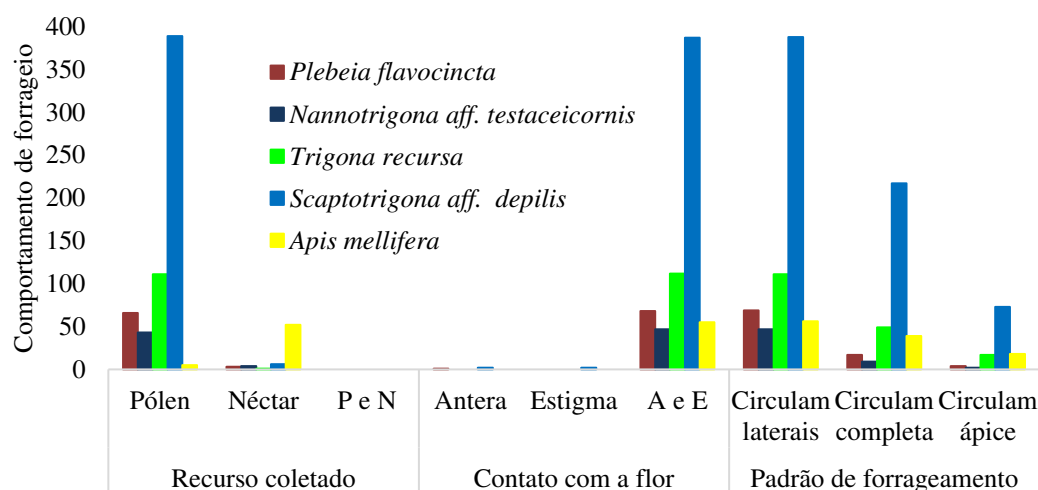


Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante as visitas, de um modo geral, todas as abelhas tocavam nas estruturas reprodutivas (masculina e feminina) das flores. *S. aff. depilis* (n=395), *A. mellifera* (n=57) e *T. recursa* (n=112) andavam em grande parte na flor por completo, ao passo que, *P. flavocincta* (n=70) e *N. aff. testaceicornis* (n=47) circulavam mais pelo ápice da flor, tocando nas anteras

e nos pistilos laterais. O recurso mais coletado foi o pólen para todas as abelhas, o néctar em pequenas quantidades, sendo mais frequente em *A. mellifera* (figura 10).

Figura 10- Comportamento de forrageio para as abelhas *Scaptotrigona* aff. *depilis*, *Trigona recursa*, *Plebeia flavocincta*, *Apis mellifera*, *Nannotrigona* aff. *testaceicornis*: Recurso coletado (pólen, néctar e P e N= Pólen e Néctar) Contato com os órgãos reprodutivos/flor (antera, estigma e A e E= Antera e Estigma), padrão de deslocamento na flor do morangueiro da cultivar San Andreas. Em Tianguá-CE. 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As abelhas, de uma maneira geral, concentram suas visitas no primeiro dia de antese, atingindo em média 23 visitas às flores por dia, e forçando a abertura das anteras. A partir do segundo dia de antese as anteras estão totalmente abertas, no entanto, o número de visitas cai bastante, em média apenas 2 visitas por dia. No terceiro dia de antese, devido as abelhas visitarem apenas esporadicamente, a média geral de visitas fica abaixo de uma abelha, e não houve qualquer visita às flores no quarto dia de antese. O mesmo comportamento foi visto quando se observava isoladamente cada espécie de abelha (*S. aff. depilis*, *T. recursa*, *P. flavocincta*, *A. mellifera*, *N. aff. testaceicorni*). Entretanto, *A. mellifera*, *N. aff. testaceicorni* e *P. flavocincta* visitaram as flores no terceiro dia de antese, mas essas visitas foram mais para a coleta de néctar tendo em vista que elas retiraram todo o pólen do primeiro para o segundo dia. No quarto dia de antese não ocorreram visitas (Material suplementar 1).

A receptividade dos estigmas na flor por completo, durante o primeiro dia de antese, foi de 43%, enquanto que nas flores da base e laterais correspondeu a 57%. No segundo dia atingiu 90% na flor por completo e apenas 10% nas flores de base e laterais, e no terceiro e quarto dia atingiram 100% por completo (material suplementar 2).

No presente estudo, o percentual de vingamento na autopolinização espontânea foi

inferior aos dos demais tratamentos com 34% de frutos vingados, enquanto que na polinização por *A. mellifera*, *N. aff. testaceicornis*, polinização livre e polinização manual cruzada houve 100% de frutos vingados. Entretanto, *S. aff. depilis*, *T. recursa* e *P. flavocincta* obtiveram 93%, 79% e 85% de vingamento, respectivamente. No entanto, não houve diferenças significativas entre os tratamentos, exceto a autopolinização espontânea $H = 101.6832$ ($p < 0,01$) (material suplementar 3).

Observaram-se diferenças significativas ($p < 0,01$) para as variáveis, peso, comprimento, diâmetro maior e menor e números de aquênios totais. Em relação ao peso dos frutos os tratamentos de polinização por *S. aff. depilis* = $11.27 \pm 5,24$ g, *A. mellifera* = $11.62 \pm 4,14$ g, *N. aff. testaceicornis* = $9.49 \pm 4,06$ g, polinização livre = $13.58 \pm 4,31$ g e polinização manual cruzada = $12.43 \pm 5,57$ g não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01$). Para a variável comprimento dos frutos não houve diferenças entre os tratamentos *S. aff. depilis*, *A. mellifera*, *T. recursa*, *N. aff. testaceicornis*, em comparação com a polinização livre e polinização manual cruzado.

Para as variáveis diâmetro maior e menor as abelhas se equiparam à polinização livre e manual cruzada. Para a variável número de aquênios totais não houve diferença para os tratamentos *S. aff. depilis*, *A. mellifera*, *P. flavocincta*, *N. aff. testaceicornis*, polinização livre e polinização manual cruzado, já a autopolinização espontânea se equiparou as abelhas de tamanho menores como *P. flavocincta*, *N. aff. testaceicornis* e *T. recursa* (tabela 11).

Em relação ao efeito dos diferentes tratamentos de polinização nos dias levados para o amadurecimento dos frutos, aqueles frutos oriundos da autopolinização espontânea levaram significativamente ($p < 0,05$) mais dias para amadurecerem (26 dias) quando comparados com a polinização livre (23 dias) e a polinização realizada por *A. mellifera* (23 dias). Para os demais tratamentos não houve diferenças significativas ($p < 0,05$). Também não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para o Brix ($p \geq 0,05$) (Material Suplementar 4).

Os frutos considerados bem formados destacaram-se nos tratamentos de polinização livre com 60%, seguido por *A. mellifera* com 56%, *N. aff. testaceicornis* com 46% e *T. recursa* com 40%. Os frutos considerados muitos deformados foram observados nos tratamentos de autopolinização espontânea com 78%, seguido de *P. flavocincta* com 50%, *S. aff. depilis* com 43% e a polinização manual cruzada com 25%.

Tabela 11- Médias de peso (g) comprimento longitudinal (cm), diâmetro maior e menor (cm), número de aquênios totais de frutos da cv. San Andreas em função dos tratamentos polinização por abelhas, manual cruzado, livre e autopolinização espontânea. Tianguá, CE, 2021.

<i>Espécie</i>	n	Peso	Comprimento	Diâmetro maior	Diâmetro menor	Aquênios totais
<i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i>	21	11.27±5,24abc	3.48±0,66ab	2.44± 0,66ab	1.90±0,41ab	230.52±119,67ab
<i>Apis mellifera</i>	30	11.62±4,14abc	3.34±0,54abc	2.53±0,47ab	1.99±0,25ab	263.57±105,71a
<i>Trigona recursa</i>	15	9.08±3,90bc	3.21±0,54abc	2.31±0,42ab	1.86±0,34ab	152.87±75,46bc
<i>Plebeia flavocincta</i>	10	7.61±2,69bc	2.85±0,42bc	2.14±0,42b	1.79±0,48ab	207.70±84,85abc
<i>Nannotrigona</i> aff. <i>testaceicornis</i>	13	9.49±4,06abc	3.17±0,46abc	2.32±0,35ab	1.91±0,35ab	208.62±60,53abc
Polinização Livre	40	13.58±4,31a	3.68±0,48a	2.69±0,44a	2.15±0,44a	267.23±92,77a
Auto polinização espontânea	9	6.66±2,56c	2.71±0,63c	2.18±0,46 ab	1.57±0,33b	96.11±72,04c
Polinização manual cruzado	28	12.43± 5,57ab	3.41± 0,80abc	2.55± 0,48ab	2.12±0,43a	241.54±106,10ab
Significância		p < .01	p < .01	p < .01	p < .01	p < .01
CV %		39.53	17.72	19.29	19.57	42.12

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas não há diferença estatisticamente ao teste de Tukey p=0,05.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Maiores porcentagem de deformações no ápice dos frutos foram para *T. recursa* (35%) e *N. aff. testaceicornis* (35%), nas laterais foram para *A. mellifera* (40%) e *N. aff. testaceicornis* (45%), na base *S. aff. depilis* (33%), e auto polinização espontânea (35%). Na classificação do Mercosul destaque para os tratamentos com calibre 3 entre eles: *S. aff. depilis*, *Apis mellifera*, *P. flavocincta*, *N. aff. testaceicornis*, polinização livre e polinização manual cruzado. O calibre 2 foi mais frequente para todos os tratamentos.

Em relação a classificação do PBMH e PIMO, apenas *S. aff. depilis* (5%), *A. mellifera* (3%) e polinização livre (3%) obtiveram frutos dentro da classe 35, entretanto, a grande maioria dos frutos ficaram na classe 15 para os tratamentos avaliados. Em relação ao percentual de frutos com padrão para comercialização, houve uma grande variação entre os tratamentos, onde *N. testaceicornis* (92%) se destacou com percentuais superiores a polinização livre (82%), polinização manual cruzada (61%) e *A. mellifera* (73%), enquanto que a autopolinização espontânea produziu os frutos com menor valor comercial (11%) (tabela 12).

Tabela 12- Resultados dos dados qualitativos dos tratamentos avaliados: *Scaptotrigona aff. depilis* (*Sad*), *Apis mellifera* (*Am*), *Trigona recursa* (*Tr*), *Plebeia flavocincta* (*Pf*), *Nannotrigona aff. testaceicornis* (*Nat*), Polinização livre (*Pl*), Autopolinização espontânea (*Ape*) e Polinização manual cruzado (*Pmc*).

Classificações	<i>Sad</i>	<i>Am</i>	<i>Tr</i>	<i>Pf</i>	<i>Nat</i>	<i>Pl</i>	<i>Ape</i>	<i>Pmc</i>
<i>Deformação</i>								
Bem formado (%)	19	56	40	10	46	60	0	32
Regular (%)	19	17	13	20	46	22	11	29
Deformado (%)	19	10	27	20	0	10	11	14
Muito deformado (%)	43	17	20	50	8	8	78	25
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Local de deformação</i>								
Ápice (%)	30	34	35	34	35	33	31	34
Lateral (%)	37	40	33	35	45	39	34	38
Base (%)	33	26	32	31	20	28	35	28
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Classificação Mercosul (2021)								
Calibre 1 (%)	28	3	20	30	15	2	33	14
Calibre 2 (%)	48	83	80	60	77	73	67	64
Calibre 3 (%)	24	14	0	10	8	25	0	22
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Classificação PBMH & PIMO (2009)								
Sem classe (%)	5	0	0	0	0	0	0	4
Classe 15 (%)	90	97	100	100	100	97	100	96
Classe 35 (%)	5	3	0	0	0	3	0	0
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Com valor comercial (%)	38	73	53	30	92	82	11	61
N° de frutos (N°)	21	30	15	10	13	40	9	28

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao avaliar a eficácia por dia de antese/idade floral, os tratamentos por *S. aff. depilis*, *T. recursa* e polinização livre não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) para o peso, entretanto, para *A. mellifera* o quarto dia foi aquele com pior resultado em relação aos demais dias 7,73g ($p < 0,05$), mostrando que para os dias 1, 2 e 3 não houve diferença com médias de 9,40g, 10,71g e 11,95g respectivamente. No tratamento manual cruzado houve diferença significativa ($p < 0,05$) sendo o primeiro dia menor (7,28g) em relação aos demais. Os dias 2, 3 e 4 não diferiram com médias de 12,04g, 9,01g e 9,38g respectivamente (Tabela 13).

Ao avaliar os tratamentos por dia de antese, para a variável peso, no primeiro dia, houve diferença entre a polinização livre 10,96g comparado com a *T. recursa* 6,53g ($p < 0,05$). Entretanto, *S. aff. depilis*, *A. mellifera* e a polinização manual cruzada não apresentaram diferenças em relação a polinização livre, por outro lado, *T. recursa* se equiparou e polinização manual cruzada, *A. mellifera* e *S. aff. depilis* (tabela 3). O mesmo comportamento foi visto para o terceiro dia de antese. No segundo dia de antese, houve diferença entre a polinização manual cruzada 12,04g comparado com a *T. recursa* 7,46g ($p < 0,05$), entretanto, *S. aff. depilis*, *A. mellifera* e a polinização livre não obtiveram diferenças em relação a polinização manual

cruzada. Por outro lado, *T. recursa* se equiparou e polinização livre, *A. mellifera* e *S. aff. depilis* (tabela 13). No quarto dia não houve diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$) (tabela 13).

Para a variável número de aquênios totais em relação aos dias de antese, não houve diferenças significativas para os tratamentos de *S. aff. depilis*, *A. mellifera*, *T. recursa* e manual ($p = 0,1008$). Apenas no tratamento livre houve diferença significativa entre os dias, sendo o terceiro dia com a maior média de números de aquênios totais 248,63 e o quarto dia obteve a menor média 173,96.

Avaliando o efeito de cada tratamento por dia de antese, observa-se que no primeiro dia de florescimento os tratamentos *S. aff. depilis*, *A. mellifera*, livre e manual cruzado foram iguais ($p < 0,05$) sendo a maior média para *Apis mellifera* 219,25. Já *T. recursa* obteve a menor média 102,56. No segundo dia e terceiro de antese não houve diferença entre *S. aff. depilis*, *A. mellifera*, livre e manual cruzado ($p > 0,05$). Para o quarto dia não houve diferenças significativas entre todos os tratamentos (tabela 13).

Tabela 13- Peso dos frutos (g) e número de aquênios totais por antese (idade floral) para os tratamentos *Scaptotrigona aff. depilis*, *Apis mellifera*, *Trigona recursa*, Polinização livre e manual cruzada para cada dia e entre os dias para cada tratamento.

Trat.	Peso dos frutos por idade floral (g)			
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
<i>Scaptotrigona aff. depilis</i>	8.35±3,48 aAB	8.89±6,16 aAB	10.12±5,71 aAB	9.65±3,46 aA
<i>Apis mellifera</i>	9.40±3,36 abAB	10.71±4,90 abAB	11.95±5,76 aAB	7.73±4,38 bA
<i>Trigona recursa</i>	6.53±3,16 aB	7.46±4,71 aB	8.25±5,67 aB	9.96±3,42 aA
Polinização Livre	10.96±4,86 aA	11.52±4,97 aAB	12.53±3,60 aA	9.25±4,99 aA
Polinização Manual Cruzado	7.28±4,15 bAB	12.04±5,87 aA	9.01±4,06 abAB	9.38±6,05 abA
Trat.	Número de aquênios por idade floral			
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
<i>Scaptotrigona aff. depilis</i>	176.18±76,25 aAB	184.71±131,65 aAB	215.88±100,83 aAB	233.37±70,29 aA
<i>Apis mellifera</i>	219.25±90,40 aA	245.73±116,26 aA	238.84±100,98 aA	222.75±110,72 aA
<i>Trigona recursa</i>	102.56±58,33 aB	131.26±82,46 aB	158.18±113,23 aB	179.53±42,84 aA
Polinização Livre	211.72±95,36 abA	232.50±96,67 abA	248.63±87,14 aA	173.96±87,25 bA
Polinização Manual Cruzado	146.93±82,91 aAB	234.07±111,68 aA	201.87±91,64 aAB	174.24±119,34 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não há diferença estatisticamente ao teste de Tukey $p=0,05$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação a qualidade dos frutos, a polinização manual cruzado obteve 60% dos frutos com valor comercial no segundo dia de antese, o primeiro e quarto dia obtiveram uma maior porcentagem de frutos sem valor comercial com 79% e 71% respectivamente. Em relação aos locais de deformações, (ápice, base e laterais), houve pouca variação (entre 27% - 38%) (tabela 14).

No tratamento polinização livre, os frutos com valores comerciais foram mais expressivos no terceiro e no segundo dia com 78% e 79% simultaneamente, enquanto que frutos sem valor comercial foram mais expressivos no primeiro e no quarto dia com 44% e 52% respectivamente. Os locais de deformações (ápice, base e laterais), ocorreram em maiores quantidades no ápice, exceto no segundo dia que foi mais na lateral com 41% (tabela 14).

No tratamento com *A. mellifera*, o terceiro dia produziu a maior porcentagem de frutos com valor comercial 75%, enquanto que o segundo e o quarto dia ficaram próximos, 61% e 65% respectivamente. Frutos sem valor comercial foram mais expressivos no primeiro dia de florescimento com 60% (tabela 14). Os locais de deformação (ápice, base e laterais) variaram entre 17% - 45%.

Frutos com valor comercial para o tratamento *S. aff. depilis* foram mais expressivos no terceiro e no primeiro dia de florescimento com 52% e 40% respectivamente. O quarto dia obteve maiores porcentagem de frutos sem valor comercial 66%, e os locais de deformações foram maiores nas laterais para todos os dias (tabela 14).

O tratamento de *T. recursa*, frutos com valor comercial foram mais expressivos no quarto e segundo dias com 53% e 36%, respectivamente. Houve maior porcentagem de frutos sem valor comercial do primeiro ao terceiro dia de florescimento 67%, 64% e 87% respectivamente, no entanto, o terceiro foi mais expressivo. Os locais de deformações foram mais representativos no primeiro e quarto dia nas laterais variando de 32% a 41% (tabela 14).

Tabela 14- Porcentagem da qualidade dos frutos: com valor comercial e sem valor comercial e local de deformação (ápice, base e laterais), oriundos dos tratamentos: polinização manual cruzado, polinização livre, *Apis mellifera*, *Scaptotrigona aff. depilis* e *Trigona recursa*. Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.

Idade floral				
Qualidade dos frutos Manual cruzado	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Com valor comercial (%)	21	60	35	29
Sem valor comercial (%)	79	40	65	71
Total por coluna (%)	100	100	100	100
Local de deformação				
Ápice (%)	38	38	37	35
Lateral (%)	32	37	36	37
Base (%)	30	28	27	28
Total (%)	100	100	100	100
Nº de frutos avaliados	14	29	23	21
Qualidade dos frutos Polinização livre	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Com valor comercial (%)	56	69	78	48
Sem valor comercial (%)	44	31	22	52
Total por coluna (%)	100	100	100	100
Local de deformação				
Ápice (%)	37	32	39	38
Lateral (%)	33	41	29	32
Base (%)	30	27	32	30
Total (%)	100	100	100	100
Nº de frutos avaliados	25	26	27	24
Qualidade dos frutos <i>Apis mellifera</i>	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Com valor comercial (%)	40	61	75	65
Sem valor comercial (%)	60	39	25	35
Total por coluna (%)	100	100	100	100
Local de deformação				
Ápice (%)	31	34	38	29
Lateral (%)	37	39	45	45
Base (%)	32	27	17	26
Total (%)	100	100	100	100
Nº de frutos avaliados	8	28	25	20
Qualidade dos frutos <i>Scaptotrigona aff. depilis</i>	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Com valor comercial (%)	40	36	52	34
Sem valor comercial (%)	60	64	48	66
Total por coluna (%)	100	100	100	100
Local de deformação				
Ápice (%)	33	31	32	38
Lateral (%)	39	36	40	42
Base (%)	28	33	28	20
Total (%)	100	100	100	100
Nº de frutos avaliados	28	28	27	29
Qualidade dos frutos <i>Trigona recursa</i>	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Com valor comercial (%)	33	36	13	53
Sem valor comercial (%)	67	64	87	47
Total por coluna (%)	100	100	100	100
Local de deformação				
Ápice (%)	29	35	35	35
Lateral (%)	38	32	33	41
Base (%)	33	33	32	24
Total (%)	100	100	100	100
Nº de frutos avaliados	9	19	22	15

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Discussão

As flores do morangueiro por serem de fácil acesso (flores abertas em forma de prato, anteras visíveis, grande quantidade de pólen e nectário raso e pouco escondido) atraem uma grande diversidade de abelhas como visitantes e potenciais polinizadores (ABROL *et al.*, 2019; MALAGODI-BRAGA, 2002), com a Família Apidae se destacando entre as demais (BARBOSA; ORTH, 2020; DARSONO; WIDHIONO, 2020). No caso do presente estudo, a grande maioria das espécies de abelhas identificadas como visitantes e potenciais polinizadores do morangueiro são amplamente distribuídas nos Neotrópicos (ASCHER; PICKERING, 2020; PEDRO; CAMARGO, 2013).

Entre as abelhas de hábito solitário e eussociais que observamos, quase todas ainda não têm uma técnica específica de manejo para sistema de criação racional e nidificam apenas em condições silvestres. Entretanto, a presença de matas nativas conservadas no entorno da estufa e a presença de vários cultivos agrícolas, contribuiu positivamente para a existência de uma diversidade de espécies de abelhas na área devido a disponibilidade de locais de nidificação e de recursos tróficos para as comunidades de abelhas nativas, o que além de favorecer a conservação dessas espécies, promove uma melhor polinização do morangueiro. Vários são os estudos que mostram essa relação positiva entre a diversidade de polinizadores e a produtividade agrícola (BÄNSCH *et al.*, 2020; SCILIGO; M'GONIGLE; KREMEN, 2022; SENAPATHI *et al.*, 2021).

Desta forma, estufas com laterais abertas e plantios em ambientes aberto aproveitam ao máximo os serviços de polinização de forma natural. Em regiões de clima temperado, as abelhas do gênero *Bombus* (*B. terrestris* e *B. impatiens*) vêm sendo utilizadas em larga escala para polinização dirigida (VELTHUIS; VAN DOORN, 2006), entretanto, nas condições tropicais pode-se priorizar as espécies de abelhas sem ferrão, as quais vêm sendo apontadas como polinizadores ativos para diversas culturas (DEL SARTO; PERUQUETTI ; CAMPOS, 2005; PALMA *et al.*, 2008; SANTOS; ROSELINO; BEGO *et al.*, 2008 ; NICODEMO *et al.*, 2013 ; BOMFIM *et al.*, 2014) principalmente o morangueiro (ROSELINO, *et al.*, 2009 ; MALAGODI-BRAGA ; KLEINERT, 2007 ; SILVA *et al.*, 2020; SCHEID *et al.*, 2020).

Entre as espécies que mais visitaram as flores e iniciaram e cessaram as atividades em horários diferentes destacaram-se: *N. aff. testaceicornis* e *P. flavocincta* de tamanho menor, entre 3,5-4 mm (MENEZES *et al.*, 2023), iniciaram mais tarde entre (8:00-9:00h), ao passo que

as abelhas maiores *S. aff. depilis*, *A. mellifera* e *T. recursa* de tamanho entre 5-11mm (JARAU *et al.*, 2003; KAJOBE, 2007; MENEZES *et al.*, 2023; MENEZES; VOLLET-NETO; IMPERATRIZ-FONSECA, 2013) iniciaram o forrageio mais cedo (6:00- 7:00h).

Apesar dos Meliponini serem predominantemente menores em relação ao tamanho (STREINZER; HUBER; SPAETHE, 2016), esse comportamento pode ser em decorrência da cor e o tamanho corporal, o qual as abelhas de coloração escura e maiores são capazes de absorver a luz com maior rapidez (PEREBOOM; BIESMEIJER, 2003; DOREY *et al.*, 2020), consequentemente iniciam as visitas as flores do morangueiro em temperaturas mais baixas, conforme é observado para clima temperado e tropical com os gêneros *Bombus* e *Xylocopa* (CORBET *et al.*, 1993; HALL *et al.*, 2021; FARIAS-SILVA; FREITAS, 2021; HARANO; HRNCIR, 2023). Os visitantes de tamanho menores e cores claras aquecem de forma mais lenta, necessitando iniciar o forrageamento em horários mais quentes (POTTS *et al.*, 2003a; POTTS *et al.*, 2003b; SILVA *et al.*, 2019).

Diferente do comportamento observado para *S. aff. depilis* por Roselino *et al.* (2009) na cultivar Camarosa em Ribeirão Preto-SP, em Zona Subtropical (Sudeste do Brasil), quando as abelhas iniciaram o forrageamento mais tarde, às 9:00h da manhã, e apresentaram pico de forrageamento entre 13:00-14:00h, no presente estudo as operárias de *S. aff. depilis* iniciaram as visitas às flores logo nas primeiras horas do dia às 6:00h e picos de forrageamento entre 10:00-11:00h, provavelmente devido as condições climáticas da Zona Tropical (Nordeste do Brasil). Devido ao aumento gradual da temperatura do ambiente (estufa), o tempo de permanência nas flores por cada visita diminuiu ao longo do dia (figura 9). Além da termorregulação, esse menor tempo nas flores pode ser em decorrência da coleta de néctar ao invés de pólen ou da competição exploratória por recursos (BALFOUR; GANDY; RATNIEKS, 2015).

De forma geral, a frequência de forrageamento entre as espécies em horários diferentes e sobrepondo-se, contribuiu para o efeito de complementariedade (comportamento espacial e/ou temporal da atividade de visitas entre esses grupos) nas taxas de visitas em clima tropical. Em ambiente totalmente fechado, introduzir espécies com diferentes comportamentos sobre as flores e com picos de visitas distintos (figura 8 e 9) equivale ao efeito complementar ocorrido devido a diversidade de espécies (CHAGNON *et al.*, 1993; MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; CRUZ; CAMPOS, 2009; PISANTY *et al.*, 2016; WINFREE *et al.*, 2015).

Em relação ao tempo de permanência das abelhas nas flores, *Apis mellifera*

(africanizada) foi a que apresentou o menor tempo de permanência nas flores, com poucas oscilações e em baixo número, similar ao observado por Calvete *et al.* (2010); Chaves *et al.* (2017) e Inagaki *et al.* (2017). Apesar deste tempo ser menor em relação às demais espécies, seu tamanho corporal faz com que consiga ser um polinizador eficaz, conseguindo tocar em todas as partes reprodutiva da flor. O tamanho também é um fator relacionado à eficiência do polinizador (FREE, 1993). Nas demais espécies avaliadas (*N. aff. testaceicornis*, *P. flavocincta*, *S. aff. depilis*, e *T. recursa*) os maiores tempos de permanência nas flores pode ser em decorrência da coleta do pólen, uma vez que elas demoram mais para coletar esse recurso em relação a coleta do néctar (NICHOLS; IBARRA, 2017).

Sobre aos resultados do comportamento de forrageamento das abelhas avaliadas (*N. aff. testaceicornis*, *P. flavocincta*, *S. aff. depilis*, e *T. recursa* e *Apis mellifera*), eles indicam que essas abelhas podem ser polinizadoras efetivas em ambiente tropical. Isso porque tocam em todas as partes reprodutivas, além do mais, circulam na grande maioria por completo, sendo consideradas abelhas excelentes para programa dirigido em plantios de morango. A coleta legítima de pólen ou néctar contribuem para que as abelhas toquem em todas as estruturas reprodutivas (MALAGODI-BRAGA; KLEINERT 2007)

A maior concentração de visitas no primeiro dia da antese está atrelada à disponibilidade de pólen, uma vez que as flores apresentavam pólen fresco e já estavam receptivas, e essas visitas e coletas foram ativas (refere-se coleta proposital do pólen, utilizando as mandíbulas e as pernas para colocação nas corbículas) (PORTMAN; ORR; GRISWOLD, 2019). As visitas ocasionais, principalmente para coleta de néctar, nos demais dias funcionaram como uma complementariedade à polinização realizada (MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007).

Scaptotrigona aff. depilis foi a espécie que fez o maior número de visitas, provavelmente devido ao fato de se ter introduzido duas colônias fortes na estufa. Mas essa espécie também ficou mais tempo sobre a flor, talvez em função de uma grande demanda da colônia por pólen (MENEZES, 2010), especialmente porque as flores de morango produzem pouco néctar e com baixos teores de açúcares (MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; BARBOSA; ORTH, 2020; DELAPLANE; MAYER, 2000). Entretanto, a coleta do pólen se torna mais demorado em relação a coleta de néctar (NICHOLS; IBARRA, 2017). As abelhas *N. aff. testaceicornis*, *T. recursa* e *P. flavocincta* também utilizaram como recurso principal a coleta de pólen (SCHEID *et al.*, 2020), justificando também os maiores tempos nas flores.

Os frutos de morangueiros possuem altas taxas de vingamentos, no entanto há uma grande dificuldade em estabelecer essa taxa, tendo em vista que os frutos verdadeiros do morango são os aquênios, enquanto o morango em si resulta do crescimento do receptáculo, ou seja, é um pseudofruto (MALAGODI-BRAGA, 2018). A autopolinização espontânea foi diferente dos demais tratamentos, isso devido ao distanciamento das anteras e os pistilos (estigma) serem maiores nas flores primárias, dificultando esse processo, embora as flores do presente estudo já estarem receptivas no primeiro dia de abertura floral (material suplementar 2).

Apesar de serem hermafroditas e compatíveis, as flores do morangueiro necessitam de um agente polinizador para transferir esse pólen dentro da flor ou em flores diferentes (polinização cruzada) para garantir o máximo de frutos com valor comercial (KLATT *et al.*, 2014). Desta forma, as espécies de abelhas sem ferrão estudadas se equipararam a *Apis* e ao tratamento livre e manual em relação aos vingamentos ou frutos colhidos. Em condições tropicais as abelhas sem ferrão são eficientes, garantindo uma boa colheita dos frutos de morangos.

Em relação às variáveis peso, diâmetro, comprimento e número de aquênios totais, apesar da autopolinização obter a menor média, não é diferente dos demais tratamentos. Esse resultado é atribuído ao fato desses frutos serem os que vingaram, no entanto para os dados terem a distribuição de normalidade considerou-se apenas os frutos acima de 1 grama. Além do mais tem o efeito da gravidade, do vento, e da ação dos jatos das pulverizações dos produtos aplicados durante o manejo da cultura, o qual pode contribuir para a fertilização dos aquênios na polinização restrita ou autopolinização.

Sem a fertilização dos pistilos não há a produção dos hormônios auxinas e giberelinas responsáveis para estimular o crescimento do receptáculo floral (CSUKASI *et al.*, 2011; KLATT *et al.*, 2014), bem como, outros fitohormônios responsáveis pela coloração avermelhada dos frutos (KLATT *et al.*, 2014). Foi visto a campo que frutos mal polinizados levam mais dias para a total pigmentação avermelhada, refletindo nos dias levados para amadurecimento, período o qual os tratamentos livre e com *Apis mellifera* encurtaram em 3 dias. De fato, frutos bem polinizados tem um ciclo de amadurecimento mais curto (WITTER *et al.*, 2014). Essa antecipação de colheita reflete na diminuição de custo de produção, trazendo lucro para o produtor (ZAITOUN *et al.*, 2006). Por outro lado, a falha na polinização e fertilização pode afetar a qualidade dos frutos por meio de um brix menor (KLATT *et al.*, 2014).

A baixa fertilização do tratamento da autopolinização refletiu em uma alta porcentagem de frutos considerados muito deformados e sem valor comercial, os mesmos resultados foram vistos por Malagodi-Braga; Kleinert, (2007) e Scheid *et al.* (2020). Ao passo que, frutos bem formados da polinização livre e com *A. mellifera* se destacaram, a semelhança dos resultados encontrados por Scheid *et al.* (2020).

A maior porcentagem de deformações no ápice para os tratamentos *T. recursa* e *N. aff. testaceicornis*, é atribuída ao comportamento de deslocamento sobre as flores, pois as mesmas circulam sobre as laterais entrando em contato com as anteras e pistilos lateralmente. Roselino *et al.* (2009) descreveram o mesmo comportamento para *N. aff. testaceicornis*. A porcentagem de frutos deformados nas laterais para o tratamento de *Apis mellifera* foi atribuído ao seu comportamento de deslocamento sobre o ápice do estigma, pois a parte ventral do seu abdome encosta sobre a superfície e as pernas ficam sobre as partes laterais, desta forma, as partes laterais dos pistilos não são bem polinizados (ALBANO *et al.*, 2009).

Uma explicação plausível para a não ocorrência do calibre 3 (diâmetro >30mm), da classificação do MERCOSUL para o tratamento por *T. recursa* é o seu abdome mais fino em relação a outras espécies do mesmo gênero. As espécies *A. mellifera* e *S. aff. depilis* se destacaram levando à produção de frutos na classe 35 da classificação PBMH e PIMO (2009). Isso mostra que *A. mellifera* tem um grande potencial para a polinização em larga escala na cultura do morangueiro nos trópicos, assim como vem sendo utilizada na Europa em grandes áreas de cultivos. No entanto, é importante lembrar que para pequenos cultivos, com atividade mais intensa, talvez não sejam aconselhadas uma vez que as abelhas africanizadas possuem ferrão e apresentam grande defensividade (ABROL *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2012). Mas, para casa de vegetação fechada ou semi aberta, a utilização de abelhas do gênero *Scaptotrigona* é uma boa indicação, geralmente levando à produção de frutos com alto calibre (BOMFIM *et al.*, 2014).

No que se refere à idade floral, os dias não têm efeito significativo sobre o peso dos frutos para os tratamentos por *S. aff. depilis*, *T. recursa* e livre por idade floral. O menor valor no quarto dia do tratamento com *A. mellifera* pode ser devido aos pistilos estarem em processo de maturação, passando, desta forma do ponto de receptividade e iniciando a formação do pseudofruto. Uma vez que a flor não se torna tão atraente aos visitantes nesse dia. Já na polinização manual cruzada, a diferença no primeiro dia pode ser decorrente da não receptividade total dos estigmas, além do pólen nas anteras ainda não estar totalmente viável. Em relação ao peso dos morangos e a qualidade, considerados de valor comercial, maiores

médias a partir do segundo dia de abertura, indica ao produtor a necessidade de realizar polinização manual a partir dessa idade floral.

O peso dos frutos e o número de aquênios no quarto dia para todos os tratamentos não apresentou diferença significativa, pois a polinização nesse dia talvez requeira uma maior complementação ou intensificação de visitas por uma única espécie (abundância) para suprimir o efeito temporal da flor aberta aos visitantes. No entanto, mesmo a polinização livre, que representa todos os visitantes naquele dia, não obteve diferenças. Pelo fato de que em condições de cultivo aberto as flores de morango permanecem os quatro dias de florescimento disponíveis para visitas diurnas e noturnas, pode ser que haja visitas de outros animais em todos esses períodos. Entretanto, nesse tratamento as flores estiveram expostas aos visitantes apenas no período diurno em que as abelhas apresentam suas atividades de forrageamento.

A receptividade estigmática total (100%) no terceiro dia, possivelmente influenciou em frutos com maior valor comercial para os tratamentos com *S. aff. depilis* *A. mellifera* e polinização livre, sugerindo que esse seja o dia no qual as abelhas apresentam melhores resultados de polinização das flores visando a produção de frutos com valor comercial. Já o tratamento manual obteve frutos com melhor porcentagem para o segundo dia de antese quando a receptividade estigmática é de 90%, levando assim a produção de frutos de maior qualidade quando a polinização manual é realizada nesse dia. Frutos com valor comercial com *T. recursa* no quarto dia, indica que a utilização dessas abelhas para esse dia pode refletir em frutos mais uniformes com flores 100% receptivas. Para Wietzke *et al.* (2018) a distribuição dos grãos de pólen de forma uniforme em estigmas receptíveis parece exercer enorme função na qualidade dos frutos.

4.5 Conclusão

Entre as espécies avaliadas *Scaptotrigona aff. depilis*, *Apis mellifera*, *Trigona recursa*, *Plebeia flavocincta* e *Nannotrigona aff. testaceicornis* apresentaram comportamentos de forrageio compatíveis para fornecerem os serviços de polinização exigidos para o morangueiro, refletindo positivamente nas variáveis quantitativas e qualitativas desejadas para a cultura.

Todos os meliponíneos estudados se equivaleram a *Apis mellifera*, a polinização livre e manual cruzada. Mais estudos são importantes para avaliar as demais espécies visitantes que ocorreram no presente estudo.

A partir dos resultados, aconselha-se aos produtores a instalação de colmeias próximas de plantios em estufas com laterais aberta ou céu aberto, bem como a preservação e conservação das vegetações nativas em áreas do entorno de plantios garantindo, assim, uma maior diversidade e abundância das abelhas.

5 COMPORTAMENTO DE FORRAGEIO E UTILIZAÇÃO DE *Scaptotrigona* aff. *depilis* (MOURE, 1942) NA POLINIZAÇÃO DE *Fragaria x ananassa* DUCH., CV. SAN ANDREAS CULTIVADO NOS NEOTRÓPICOS

RESUMO

Avaliou-se o comportamento e eficácia da utilização de abelhas *Scaptotrigona* aff. *depilis* (*Sad*) na polinização do morangueiro em condições tropicais. Durante o período de fevereiro a julho de 2021. Duas colônias de *Sad* foram introduzidas em uma estufa de morangos. Dados de forrageio nas flores entrando e saindo das colmeias foram obtidos das 5:00h às 17:00h. Simultaneamente, foram registrados os dados diários de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%). Para avaliar a eficiência na polinização da introdução das *Sad*, foram avaliados os pesos, comprimento dos frutos, diâmetro maior, número de aquênios totais, taxa de fecundação e qualidade dos frutos. Para avaliar o efeito das *Sad* utilizou-se seis tratamentos: auto polinização espontânea (*Ape*), apenas uma visita de *Sad*, duas visitas de *Sad*, acima de três visitas de *Sad*, livre apenas com visitas de *Sad* e o tratamento livre com todos os visitantes. Correlações e regressões foram realizadas para avaliar o comportamento das *Sad* em função das variáveis meteorológicas e quantitativas dos morangos. Houve correlação negativa da presença de *Sad* com o *Neopamera* sp. ao longo do dia ($r = -0,389$). As campeiras das *Sad* iniciaram as visitas a partir das 5:00h, os maiores picos de coleta de pólen foram entre 8:00 e 9:00h. O número de visitas da *Sad* entre os dias de antese não diferiu estatisticamente ($p = 0,3052$), diferentemente do tempo de permanência nas flores que diferiu ($p < 0,01$). Correlações significativas ocorreram para a umidade relativa interna da colônia com a quantidade de abelhas que saíram e entraram com pólen nas corbículas, com um coeficiente de determinação de 78% e 88% respectivamente. A temperatura interna da colônia foi fortemente correlacionada com a temperatura e umidade relativa interna da estufa ($p < 0,01$). A partir da introdução das abelhas, o percentual de frutos bem formados passou de 33% para 58%. Os frutos mais pesados foram produzidos em flores que estavam expostas a todos os visitantes e quando recebiam mais de três visitas de abelhas *Sad* ($p < 0,01$). De forma geral, quando aumenta o número de visitas pelas abelhas, aumenta os aquênios e o brix. Flores que estavam expostas à visita livre de abelhas *Sad* produziram frutos com melhor conformação (100%). Conclui-se que as *Sad*, tem comportamento de forrageio compatível para fornecer os serviços de polinização exigidos para o morangueiro, a introdução dessa espécie aumenta o número de aquênios por morango, melhorando significativamente a qualidade dos frutos.

Palavras-chave: abelha sem ferrão; eficiência de polinização; qualidade de frutos; morangos.

ABSTRACT

The behavior and effectiveness of using *Scaptorigona* aff. *depilis* (*Sad*) bees in strawberry pollination under tropical conditions were evaluated. During the period from February to July 2021, two *Sad* colonies were introduced into a strawberry greenhouse. Data on bees entering and leaving the hives while foraging on flowers were obtained from 5:00 am to 5:00 pm. Simultaneously, daily temperature (°C) and relative air humidity (%) data were recorded. Fruit weights, fruit length, largest diameter, number of total achenes, fertilization rate and fruit quality were evaluated to evaluate the efficiency of introducing *Sad* for pollination. To evaluate the effect of *Sad*, six treatments were used: spontaneous self-pollination (*Ape*), only one *Sad* visit, two *Sad* visits, more than three *Sad* visits, open with only *Sad* visits and the open treatment with all visitors. Correlations and regressions were performed to evaluate the behavior of *Sad* in relation to meteorological and quantitative variables of strawberries. There was a negative correlation between the presence of *Sad* and *Neopamera* sp. throughout the day ($r = -0.389$). The *Sad* foragers began their visits at 5:00 am, with the highest pollen collection peaks between 8:00 and 9:00 am. The number of *Sad* visits between anthesis days did not differ statistically ($p = 0.3052$), unlike the time spent in the flowers, which differed significantly ($p < 0.01$). Significant correlations occurred for the internal relative air humidity of the colony with the number of bees that left and entered with pollen in the corbiculae, which coefficient of determination were 78% and 88%, respectively. The internal temperature of the colony was strongly correlated with the internal temperature and relative air humidity of the greenhouse ($p < 0.01$). After the introduction of bees, the percentage of well-formed fruits increased from 33% to 58%. The heaviest fruits were produced in flowers that were exposed to all visitors and when they received more than three visits from *Sad* bees ($p < 0.01$). In general, when the number of visits by bees increased, the achenes and brix also increased. Flowers that were exposed to free visitation by *Sad* bees produced fruits with better conformation (100%). It is concluded that *Sad* bees have foraging behavior compatible with providing the pollination services required for the strawberry plant; the introduction of this species increases the number of achenes per strawberry, significantly improving fruit quality.

Keywords: fruit quality; pollination efficiency; stingless bees; strawberries.

5.1 Introdução

A polinização é um serviço de fundamental importância para a biodiversidade, seja de forma espontânea ou dirigida em culturas agrícolas. A maioria das angiospermas (de 84% a 88%) dependem de animais, especialmente de insetos, para a polinização (BARTHOLOMEE *et al.*, 2020; OLLERTON *et al.*, 2011; STANLEY *et al.*, 2020). Rader *et al.* (2020) estimaram que 105 tipos de culturas agrícolas em todo o mundo, dependem desses serviços ecossistêmicos, sendo as abelhas responsáveis por cerca de 70% da reprodução sexual dessas culturas (IPBES 2016; KLEIN *et al.*, 2007; RICKETTS *et al.*, 2008; SAUNDERS, 2018), gerando um montante US\$ 780,8 bilhões anuais (RADER *et al.*, 2020).

Os polinizadores silvestres e os manejados têm grande importância e se complementam na polinização de diversas culturas agrícolas no mundo, sendo as abelhas o grupo mais importante com cerca de 700 espécies de abelhas entre manejáveis e não manejáveis, eusociais e solitárias (BRITTAIN *et al.*, 2013; GARIBALDI *et al.*, 2013; KLEIJN *et al.*, 2015. MUNIZ *et al.*, 2019). Entre os agentes polinizadores manejados, os gêneros *Apis* e *Bombus* são bastante utilizados na polinização dirigida, enquanto que as abelhas sem ferrão (tribo Meliponini) e algumas das abelhas solitárias são grupos com uso menor.

Os meliponíneos compreendem cerca de 538 espécies identificadas, com vários gêneros distribuídos principalmente na zona tropical (ASCHER; PICKERING, 2023; CAMARGO e PEDRO, 2013). Muitos estudos relatam as abelhas sem ferrão como os principais polinizadores potenciais de diversas culturas agrícolas (DEL SARTO *et al.*, 2005; PALMA *et al.*, 2008; CRUZ *et al.*, 2005; CAUICH *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2008, NICOMEDO *et al.*, 2013; BOMFIM *et al.*, 2014). Dentre essas, as espécies do gênero *Scaptotrigona*, amplamente distribuído nas Américas Central e do Sul, se apresentam como promissoras devido a grande amplitude de sua ocorrência e de plantas que recebem suas visitas florais (ALEIXO *et al.*, 2017; LUZ *et al.*, 2019; REZENDE *et al.*, 2020; RADAESKI ; BAUERMANN, 2021).

As espécies do gênero *Scaptotrigona* apresentam um potencial para serem utilizadas como agentes polinizadores em culturas agrícolas, uma vez que possuem em torno de 800 a 100.000 indivíduos por colônia (GUTIÉRREZ *et al.*, 2016; JARAU *et al.*, 2003; MENEZES *et al.*, 2013), são adaptadas a diversas regiões das Américas (SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002), apresentam grande diversidade genética (VALE *et al.*, 2021), aceitam colmeias racionais adaptadas à sua criação e existem técnicas de manejo adequadas a elas

(LEÃO *et al.*, 2016), e por visitarem as flores de muitas culturas agrícolas (RAMALHO, 1990), principalmente o morangueiro.

Na cultura do morangueiro (gênero, *Fragaria*) várias abelhas tem sido indicadas para fornecerem serviços de polinização dirigida em diversas cultivares. A grande maioria dos trabalhos de polinização em morangueiros são voltados para clima temperados e subtropical (MALAGODI-BRAGA, 2002; ROSELINO *et al.*, 2009; MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; SCHEID *et al.*, 2020). Entretanto, não existe estudos que mostre o comportamento e eficácia das *Scaptotrigonas* como potenciais polinizadores na cultivar San Andreas, principalmente em áreas mais quentes sobre condições tropicais.

No Brasil, Roselino *et al.* (2009), ao avaliarem o comportamento da espécie *Scaptotrigona* aff. *depilis* na cultura do morangueiro (Var. Camarosa) em casa de vegetação, Sudeste do país, observaram que o padrão de deslocamento na flor por completo foi determinante para a polinização eficiente e que morangos polinizados por essa espécie apresentaram excelente formato comercial.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a polinização dirigida, o comportamento e eficácia da utilização de abelhas *S. aff. depilis* na polinização do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch., cultivar San Andreas) em condições tropicais do planalto da Ibiapaba, município de Tianguá-CE.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido no sítio Tabocas de Baixo, situado no município de Tianguá, CE (3°49'14.08"S, 40°57'48.51"W) com as coletas de dados tendo ocorrido entre fevereiro e julho de 2021. O clima da região é Tropical Quente Semiárido Brando, ou Tropical Quente Subúmido. Apresenta temperatura média anual de 22 a 24 °C e pluviosidade média de 1.210 mm ano. Com vegetação Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca), Floresta Subperenifólia Tropical (IPECE, 2018).

5.2.2 Características do ambiente de cultivo

O morangueiro foi cultivado em uma estufa de 720 m² coberta com plástico de cultivo comercial e laterais abertas, permitindo a passagem de visitantes florais do entorno da

plantação. A área possuía 7.000 plantas de *F. x ananassa*, da variedade San Andreas proveniente do Chile, cultivadas de forma elevada e em sistema semi-hidropônico. No plantio, foram usados somente produtos na classificação faixa verde (Categoria não classificado) (ANVISA, 2020), sempre respeitando os horários de forrageamento das abelhas.

5.2.3 Introdução das abelhas na estufa e avaliação do comportamento de forrageio

Duas colônias de *S. aff. depilis* foram introduzidas na estufa, quando 27% das plantas estavam florescendo, conforme preconiza (GARIBALDI *et al.*, 2020). Dados de forrageio nas flores foram obtidos das 5:00h às 17:00h, acompanhando 20 minutos em cada intervalo de 1 hora. Os parâmetros avaliados foram: recurso coletado (pólen, néctar ou pólen e néctar), órgãos da flor contatados (antera, estigma ou antera e estigma), padrão de abordagem (se circulavam pelas laterais da flor, toda a flor ou apenas no ápice das flores) e tempo de permanência de cada abelha na flor. Cada pouso na flor foi considerado como uma visita (MARTIN *et al.*, 2019). Ao mesmo tempo, foi quantificado a quantidade de *Neopamera* sp. (percevejo, principal praga de importância do morangueiro) sobre as flores.

O fluxo de abelhas nas colmeias foi quantificado por contadores manuais a cada 10 minutos por hora, iniciando às 5:00 horas da manhã e terminando às 17:00 horas conforme proposto por Oliveira (1973). As observações foram feitas na entrada do ninho durante a atividade de forrageamento. O comportamento de voo das abelhas foi classificado nas seguintes categorias: saída (quando saíam para forragear), entrada com pólen (quando elas entraram com uma carga de pólen visível nas corbículas) e entrada sem pólen (quando entraram na colônia sem carga de pólen aparente, indicando trazerem água ou néctar).

Simultaneamente, foram registrados os dados diários de temperatura (°C) e umidade relativa (%) por meio de data logger modelo Onset HOBOWare®, um ficou dentro da estufa na altura da plantação dos morangueiros, e um dentro de cada colmeia afim de calcularmos as médias de temperatura e umidade dos dois ambientes. Os dados foram processados para os mesmos horários e dias de observações utilizando o programa computacional Microsoft Excel®.

5.2.4 Eficácia dos polinizadores

Para avaliar a eficiência da introdução das *Scaptotrigona aff. depilis*, antes de

introduzir as abelhas (avaliados 68 frutos de flores primárias) e depois da introdução das mesmas (70 frutos oriundos de flores primárias), foram avaliados os pesos, comprimento dos frutos, diâmetro maior, número de aquênios totais, taxa de fecundação e porcentagem dos frutos considerados: bem formados, regulares, deformados e muito deformados e locais de deformações oriundos dos tratamentos.

Na avaliação do efeito do número de visitas (eficácia) das *S. aff. depilis* utilizou-se seis tratamentos: autopolinização espontânea (*Ape*), apenas uma visita de *S. aff. depilis*, duas visitas de *S. aff. depilis*, acima de três visitas de *S. aff. depilis*, livre apenas com visitas de *S. aff. depilis* e o tratamento livre com todos os visitantes (natural). Para as visitas controladas utilizou-se o segundo dia de antese, levou em consideração a coloração, a abertura e as visitas dos potenciais polinizadores.

Após a polinização, as flores permaneceram ensacadas até a formação dos frutos e colhidos na maturidade comercial (DUNG *et al.*, 2021). Depois dos frutos serem colhidos realizaram-se as análises quantitativas de peso (g) utilizando uma balança marca Bel M3102 com precisão de duas casas decimais, o comprimento longitudinal (cm) e diâmetro= largura equatorial maior e menor (cm) com um paquímetro marca RS Baty, e o teor de sólidos solúveis (°Brix) com um refratômetro óptico modelo RHB-32ATC. Além disso, também foram contabilizados o número de aquênios totais e o número de dias necessários para o amadurecimento dos frutos, o qual teve início desde o primeiro dia de florescimento até a colheita (KLATT *et al.*, 2014; THOMPSON, 1971).

Para as análises qualitativas os frutos estes foram classificados em bem formados, regulares, deformados e muito deformados. Os frutos bem formados e regulares são considerados de valor comercial para comércio *in natura*. Os deformados e muito deformados são considerados sem valor comercial, destinados para subprodutos industriais, conforme Malagodi-Braga; Kleinert, (2007). Para verificar onde ocorreram as deformações nos frutos analisaram-se as regiões da base, laterais e ápice, conforme Barbosa e Orth (2020). Também foram utilizadas as classificações do Mercado Comum do Sul-MERCOSUL (2021) e do Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango - PBMH e PIMO (2009) (Material suplementar 1).

Para o vingamento dos frutos foi adotado o conceito de que frutos abaixo de 1g são considerados como aqueles que o produtor retira da planta e joga fora sem uso comercial evitando, desta forma, desvio de nutrientes por parte da planta.

5.2.5 Análise de dados

Utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado-DIC, com diferentes números de repetições. Os dados foram submetidos à normalidade, aqueles com distribuição normal, procedeu-se à análise de variância, com nível de significância a 1% e 5% de probabilidade. Correlações e regressões foram realizadas para avaliar o comportamento das *S. aff. depilis* em função das variáveis meteorológicas e o efeito da sua presença sobre o comportamento de *Neopamera* sp., bem como, sobre as variáveis quantitativas entre os tratamentos da eficácia dos polinizadores. Os testes estatísticos foram realizados no programa ASSISTAT versão 7.7 (SILVA e AZEVEDO 2016) e Paleontological Statistics Software (PAST) (HAMMER *et al.*, 2001).

5.3 Resultados

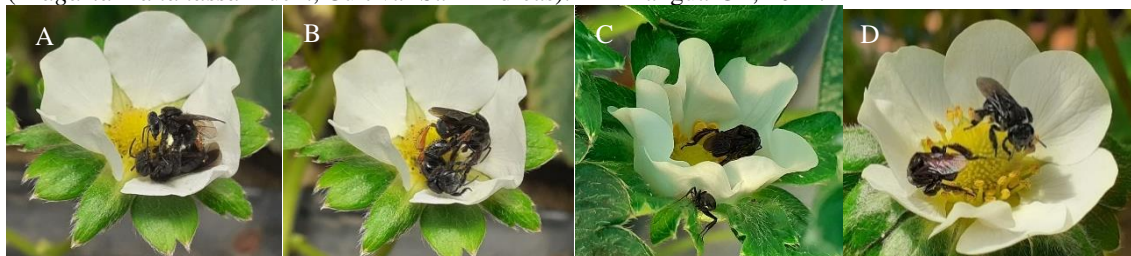
Após a introdução, as *Scaptotrigona* aff. *depilis* começaram a fazer voos de reconhecimento e visitar as primeiras flores no primeiro dia de abertura das colmeias, e a partir do segundo dia intensificaram as visitas. Eventualmente, devido as laterais da estufa estarem abertas, as campeiras saíam pra coletarem recursos de outras culturas e plantas nativas no entorno, fato que diminuiu a frequência delas dentro da estufa em vários períodos. Distintas espécies como a *Trigona recursa*, *Apis mellifera*, *Trigona spinipes*, *Nannotrigona* aff. *testaceicornis*, *Plebeia flavocincta* entre outras abelhas nativas da tribo Meliponini e solitárias também foram observadas nas flores de forma natural.

Com a introdução das *S. aff. depilis*, essas apresentaram dominância nas flores comportando-se como territorialistas, tanto em relação às outras espécies de abelhas quanto visitantes não-abelhas, e havendo confrontos com as diferentes espécies de abelhas (competição) (Figura 11). Houve uma correlação negativa da presença de *S. aff. depilis* com o *Neopamera* sp. (percevejo, principal praga de importância do morangueiro) ao longo do dia ($r = -0,389$) pois, no momento em que aumentava o número de abelhas nas flores, diminuía o número do percevejo ($p > 0,005$) (material suplementar 2).

As campeiras das *S. aff. depilis* iniciaram as visitas logo pela manhã a partir das 5:00h sem a presença de pólen nas corbículas, mas a partir das 6:00h já continham pólen coletado. Os maiores picos de coleta de pólen foram entre 8:00 e 9:00h com decréscimo ao longo do dia, padrão muito parecido para a coleta de néctar (Figura 12). Em relação ao tempo

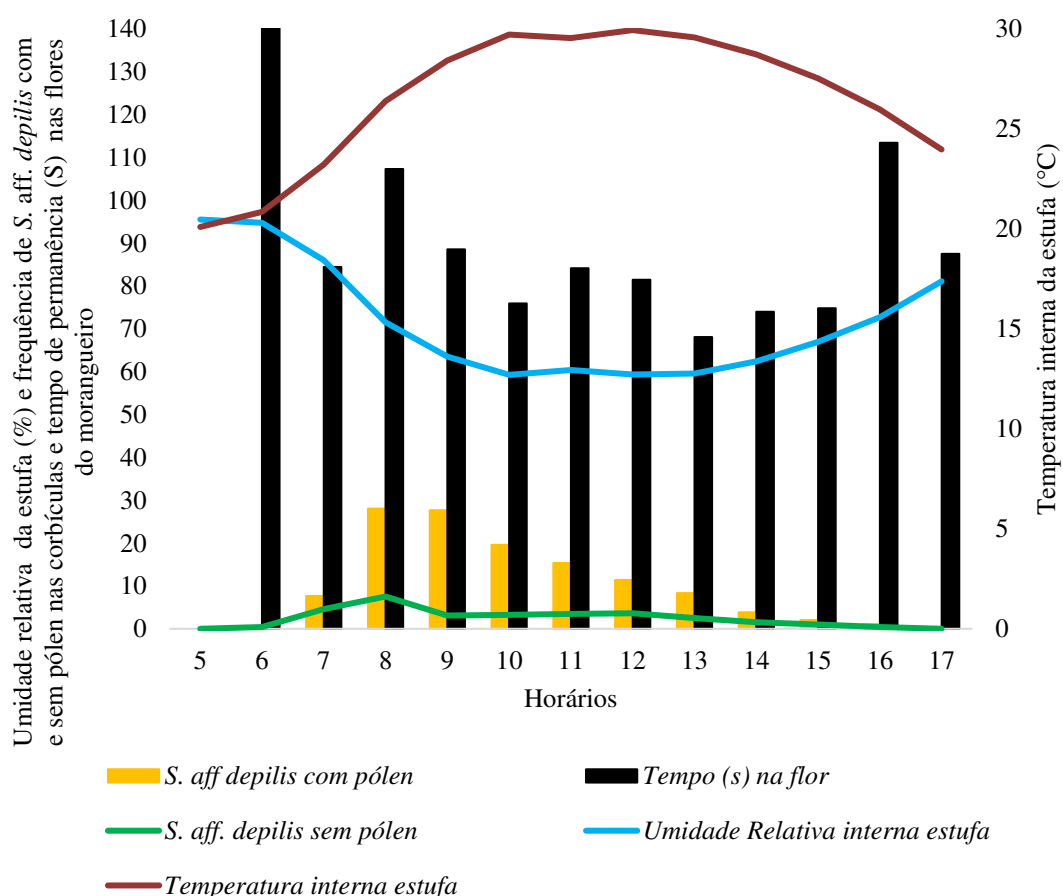
de permanência das abelhas nas flores ao longo do dia, percebe-se que com o aumento da temperatura dentro da estufa, o tempo de permanência das *S. aff. depilis* nas flores diminuiu.

Figura 11 - Disputa por recursos florais entre as abelhas *Scaptotrigona aff. depilis* e *Trigona spinipes*; abelha *Scaptotrigona aff. depilis* por cima da *T. spinipes* (A), abelha *T. spinipes* por cima da *S. aff. depilis* (B), formiga esperando *S. aff. depilis* sair da flor (C) e dominância de *S. aff. depilis* forrageando na mesma flor do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch., Cultivar San Andreas). Em Tianguá-CE, 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12- Número médio de campeiras de *Scaptotrigona aff. depilis* visitando as flores do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch., cultivar San Andreas) no período de antese em Tianguá-CE. 2021.

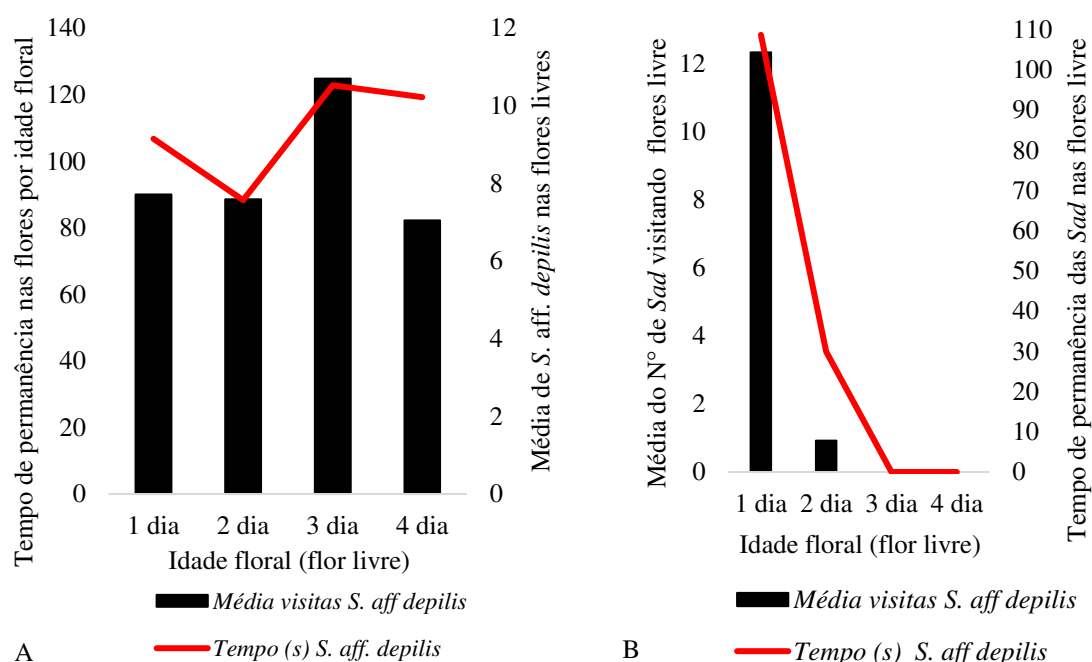


Fonte: Elaborado pelo autor.

O número de visitas da *S. aff. depilis* entre os dias de antese não diferiu

estatisticamente ($p = 0.3052$), diferentemente do tempo de permanência nas flores que diferiu ($H = 37.1956$ $p\text{-valor} < 0.01$), com uma maior mediana no primeiro e terceiro dia (material suplementar 3) e (figura 13A). Observando a flor livre durante todo o período de antese para as *S. aff. depilis*, as visitas se concentraram no primeiro e segundo dias de florescimento, com uma porcentagem de 78% e 22% respectivamente. No terceiro e quarto dia as flores não foram visitadas (Figura 13B).

Figura 13- Tempo de permanência das *Scaptotrigona aff. depilis* nas flores controlado por idade floral (A), e visitas das *Scaptotrigona aff. depilis* com as flores abertas naturalmente durante toda idade floral (B), em Tianguá-CE. 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante as visitas, o recurso mais coletado foi o pólen, mas algumas abelhas coletaram néctar (material suplementar 4). Para a coleta de néctar elas inserem a cabeça entre a corola e os estames, diferentemente da coleta de pólen na qual elas forçam a abertura das anteras e fazem a raspagem do conteúdo com as pernas anteriores. Durante esse comportamento mantêm contato da região ventral sobre o estigma (pistilos) das flores e giram no próprio eixo, em seguida fazem voos próximo às flores passando o pólen do corpo para as corbículas (Figura 14). De modo geral, todas as abelhas tocaram nas estruturas reprodutivas (masculina e feminina) das flores, com padrão de forrageamento tocando os pistilos pelas laterais, base e ápice (Figura 14 e material suplementar 4).

Figura 14- Comportamento de forrageio da *Scaptotrigona* aff. *depilis* na flor do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch., Cultivar San Andreas) coletando pólen: Abelha no ápice da flor (A e B); abelha nas laterais (C e D); e abelha em voo repassando o pólen do seu corpo para as corbículas (E). Em Tianguá-CE. 2021.



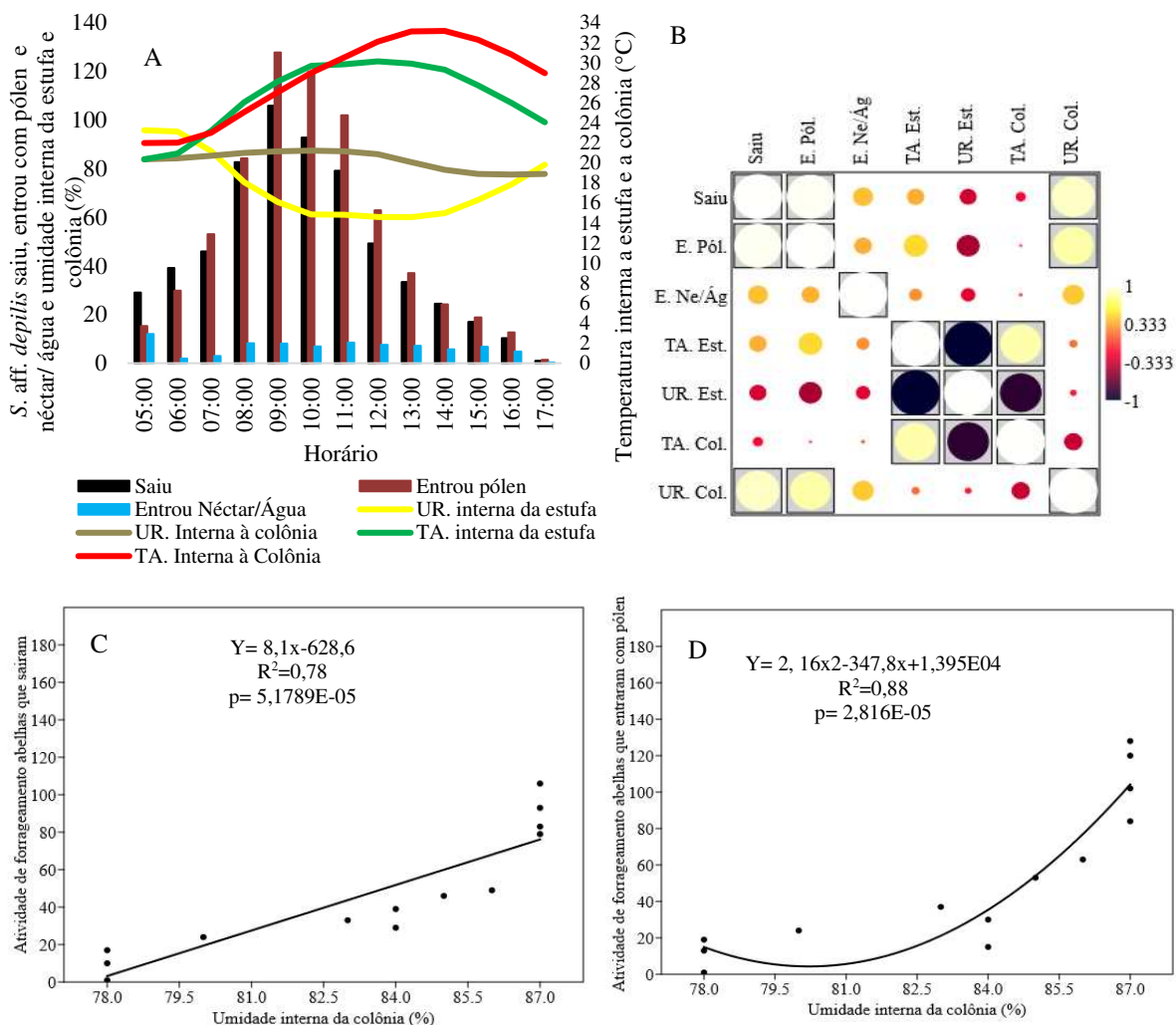
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto a atividade de forrageamento das colônias as abelhas iniciaram logo pela manhã às 5:00h, aumentando até às 9:00h e se mantendo em maiores números até às 11:00h, quando já se começava a observar uma redução na atividade até o final do dia. Essa atividade de forrageamento (abelhas que saíram, entrou com pólen e entrou com néctar ou água) estavam correlacionadas de forma inversa à umidade interna da estufa ($r=-0,3334$, $-0,4632$ e $-0,2517$ respectivamente) ($p>0,05$). A partir das 10:00h, a atividade de forrageamento diminuiu até às 17:00h. A coleta de néctar ou água não variou tanto ao longo do dia (Figura 15AB).

Correlações significativas ocorreram para a umidade relativa interna da colônia com a quantidade de abelhas que saíram e entraram com pólen nas corbículas ($P=0,0003$ e $p=0,006$ respectivamente) e o coeficiente de determinação da regressão $R^2= 78\%$ e 88% respectivamente (Figura 15CD). A temperatura interna da colônia foi fortemente correlacionada com a temperatura e umidade relativa interna da estufa ($p=0,0007$ e $p=0,0006$ concomitantemente). Revelando que a temperatura interna da colônia é aumentada a partir das 7:00h e superior à temperatura interna da estufa a partir das 11:00h, as abelhas mantêm a umidade e elevando a temperatura dentro da colônia para manter a homeostasia da colônia (figura 15AB).

Após a introdução das abelhas *S. aff. depilis* não houve efeito sobre o peso e diâmetro dos frutos de morangos, tendo em vista que, as médias anteriores à introdução foram maiores e significativamente diferentes quando comparadas com a introdução das *S. aff. depilis*. Entretanto, para o número de aquênios (frutos verdadeiros) observou-se efeito positivo ($P=0,0023$) com a introdução dessa espécie. Em relação a taxa de fecundação a porcentagem foi maior antes de introduzir as abelhas com $63,34\%$ e, com a introdução, essa taxa ficou com $43,87\%$ (tabela 15).

Figura 15- Atividade de forrageamento das *Scaptotrigona* aff. *depilis* (A) e correlação de Pearson entre as variáveis: Saiu, Entrou com pólen (E. Pól.), entrou com néctar/água (Ne/Ág), temperatura do ambiente interno a estufa (TA. Est.), umidade relativa da estufa (UR. Est.), temperatura interna da colônia (TA. Col.) e umidade relativa interna à colônia (UR. Col.) (B). Regressão para a atividade de forrageamento, abelhas que saíram e entraram com pólen na corbícula em função da umidade interna da colônia (CD).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15- Médias de peso (g), diâmetro equatorial maior (cm), número de aquênios totais e taxa de fecundação de frutos da cv. San Andreas, antes e após a introdução da abelha *Scaptotrigona* aff. *depilis* na cultura do morango. Tianguá, CE, 2021.

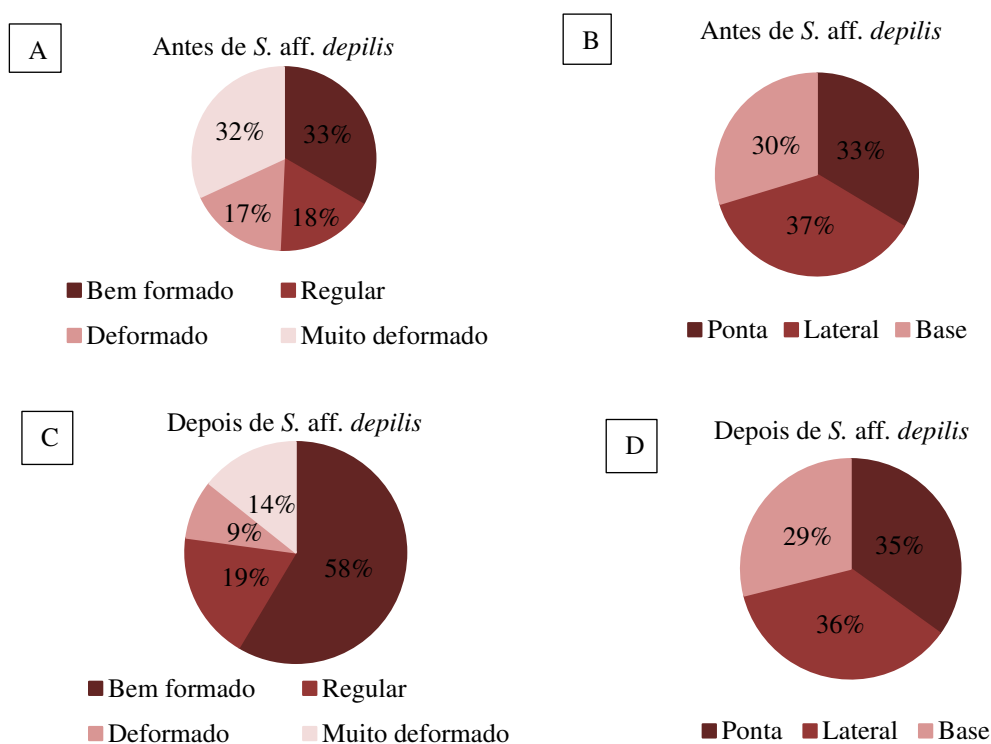
Variáveis	N	Peso (g)	Comprimento (mm)	Diâmetro maior (mm)	Nº de Aquênios (total)	Taxa de fecundação (%)
Antes de <i>S. aff. depilis</i>	68	17.49±5,92a	3.96±0,75a	3.10±0,66a	249.53±89,64b	63,34
Depois de <i>S. aff. depilis</i>	70	14.80±5,24b	3.75±0,52a	2.88±0,59b	287.90±96,08a	43,87
P-Valor		P=0,0053	P=0,0570	P= 0,0467	P= 0,0166	

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas não há diferença estatisticamente ao teste de Tukey $p = 0,05$

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da introdução das abelhas observou-se melhoria no percentual de frutos bem formados que passou de 33% para 58%, com incremento de 25% sobre a qualidade de frutos bem formados. Percebe-se que a introdução das abelhas não influenciou no peso e comprimento dos frutos, ao passo que melhorou a qualidade dos frutos e número de frutos verdadeiros (Nº de aquênios). Maiores deformações ocorreram nas laterais dos frutos para os dois tratamentos, haja vista que as abelhas *S. aff. depilis* focaram suas visitas no ápice dos pistilos em busca dos grãos de pólen presentes nas anteras (Figura 16).

Figura 16- Porcentagem dos frutos considerados: bem formados, regulares, deformados e muito deformados (A) e locais de deformações oriundos dos tratamentos: antes de *Scptotrigona aff. depilis* (AB) e depois de *S. aff. depilis* (CD), na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao avaliarmos a eficácia dos polinizadores para a taxa de vingamento, os tratamentos de uma e duas visitas mantiveram taxas iguais com 93% de frutos vingados. Acima de três visitas e no tratamento com visitas livre apenas com *S. aff. depilis* 100% dos frutos foram considerados vingados. As menores taxas de vingamento foram observadas na autopolinização espontânea (34%). O teste H de Kruskal-Wallis ($H = 108.4977$) identificou que em pelo menos um tratamento houve diferença significativa (valor-p < 0,01) e a partir da análise de comparações múltiplas foram verificadas que a autopolinização espontânea foi diferente em

relação aos demais tratamentos (Tabela 16).

Tabela 16- Taxa de vingamento para autopolinização espontânea, uma visita de *Scaptotrigona aff. depilis*, duas visitas de *S. aff. depilis*, acima de três visitas *S. aff. depilis*, livre com apenas *S. aff. depilis* e livre com todos os visitantes.

Tratamentos	n	Vingou	Não vingou	Taxa de vingamento (%)
Autopolinização espontânea	44	15	29	34 b
Uma visita de <i>S. aff. depilis</i>	30	28	2	93a
Duas visitas de <i>S. aff. depilis</i>	29	27	2	93a
Acima de três visitas <i>S. aff. depilis</i>	20	20	0	100a
Livre apenas <i>S. aff. depilis</i>	20	20	0	100a
Livre todos os visitantes	70	70	0	100a

H = 108.4977 p-valor < 0.01

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os frutos mais pesados foram produzidos em flores que estavam expostas a todos os visitantes e quando recebiam mais de três visitas de abelhas *S. aff. depilis* ($p < 0,01$). Entretanto, uma visita e duas visitas não foram diferentes do tratamento de autopolinização ($p < 0,01$). Para o número de aquênios total não houve diferença entre duas visitas, três ou mais visitas, livre apenas *S. aff. depilis* e livre para todos os visitantes em geral ($p < 0,01$), entretanto, a autopolinização foi diferente dos demais tratamento com uma média inferior (Tabela 17), de modo que quando aumenta as visitas aumenta o peso e número de aquênios totais em correlação e regressão significativas ($r = 0,88563$, $R^2 = 0,7843$, $p = 0,0189$) (material suplementar 5).

Tabela 17- Média e desvio padrão do peso (g) e número de aquênios totais: uma visita de *Scaptotrigona aff. depilis*, duas visitas de *S. aff. depilis*, acima de três visitas de *S. aff. depilis*, livre com visitas de *S. aff. depilis* e livre com os visitantes geral. Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.

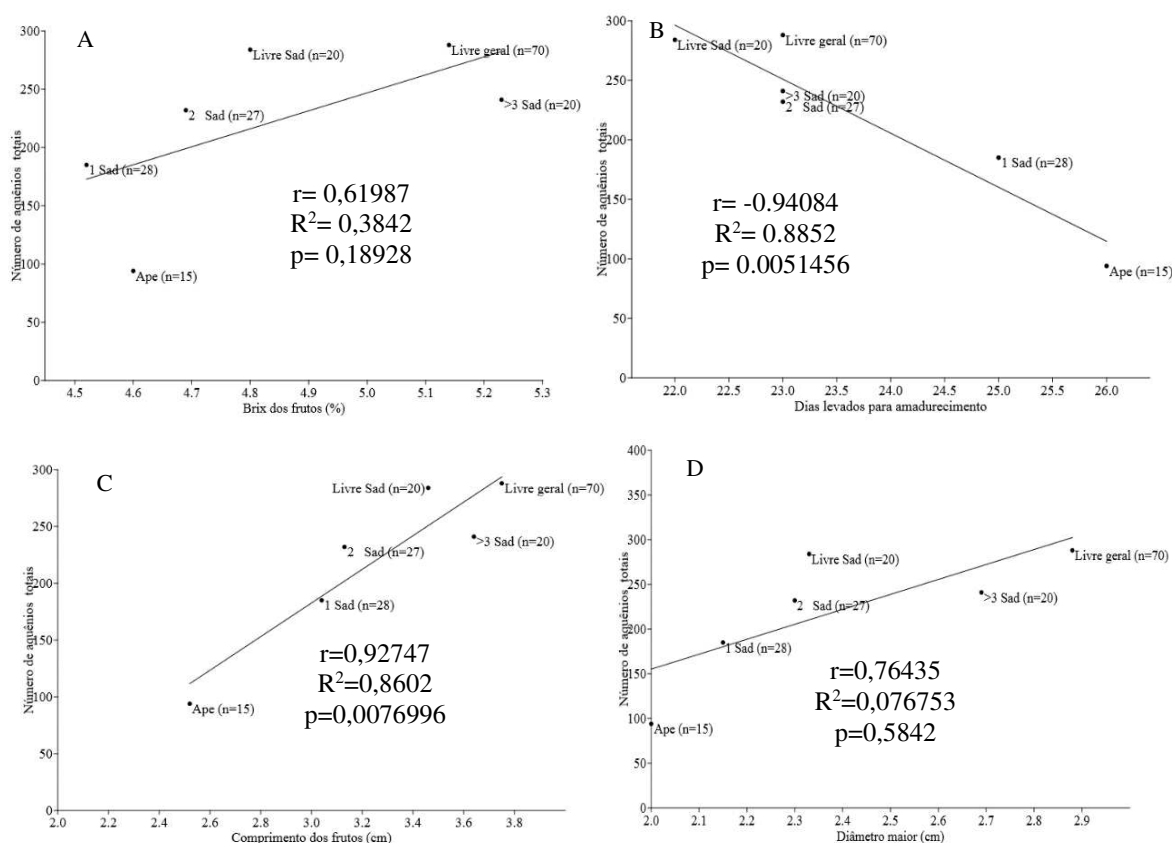
Variáveis	n	Peso (g)	Nº de Aquênios (total)
Autopolinização espontânea	15	6,36±4,82c	94,20±84,84c
Uma visita de <i>S. aff. depilis</i>	28	8,89±6,16bc	184,71±131,65b
Duas visitas de <i>S. aff. depilis</i>	27	9,87±3,97bc	231,56±69,81ab
Acima de três visitas <i>S. aff. depilis</i>	20	12,71±3,78ab	241,20±77,04ab
Livre apenas <i>S. aff. depilis</i>	20	11,17±2,40b	284,10±71,67a
Livre todos os visitantes	70	14,80±5,24a	287,90±96,08a

Fonte: Elaborado pelo autor.

Houve correlação positiva do número de aquênios totais com o SST ($r = 0,62$) com um fator de determinação de 38% para a regressão ($p > 0,05$). De forma geral, quando aumenta o número de visitas pelas abelhas, aumenta os aquênios e o brix. Destaque para o tratamento acima de três visitas de *S. aff. depilis* que mostrou uma média de brix acima de todos os tratamentos, apesar do número de aquênios totais ter sido menor do que o tratamento polinização livre com todos os visitantes (Figura 17A). Os dias levados para amadurecimento

em função do número de aquênios totais, houve correlação negativa (-0,94) com um fator de determinação da regressão de 89% ($p < 0,05$), o fato de ter vingado mais aquênios em função das visitas, faz com que o pseudofruto se desenvolva mais rápido, levando menos dias para amadurecer (Figura 17B). O mesmo comportamento é visto para o diâmetro e comprimento dos frutos, houve correlações positiva (0,93 e 0,76 respectivamente), o coeficiente de determinação da regressão revelou 86% e 77% concomitantemente (Figura 17CD).

Figura 17- Correlação e regressão entre o número de aquênios totais sobre as variáveis brix, dias levados para amadurecimento, comprimento e diâmetro de frutos de morango, entre os tratamentos: Auto polinização espontânea (Ape), uma visita de *Scaptotrigona aff. depilis* (1 Sad), duas visitas *S. aff. depilis* (2 Sad), acima de três visitas de *S. aff. depili*(> Sad), livre de apenas de *S. aff. depilis* (Livre Sad) e livre com os visitantes geral (Livre geral). Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Flores que estavam expostas à visitação livre de abelhas *S. aff. depilis* produziram frutos com melhor conformação (100%). Na medida em que a visitação dessa espécie é reduzida, o percentual de frutos bem formados reduz também, ou seja, aumenta a quantidade de frutos com deformações, ao ponto que quando nenhuma visita é realizada na flor (auto polinização espontânea) 73% dos frutos ficam muito deformados. Para o local de deformação,

uma e duas visitas foram mais frequentes nas laterais com 36% e 42% respectivamente, sendo que o ápice/ ponta foram mais frequentes no tratamento acima de três visitas e no tratamento livre apenas por *S. aff. depilis* com 36% e 75% simultaneamente. Os frutos com valor comercial variaram de 14% a 100%, com menor valor ficou a autopolinização espontânea (14%) e com o maior valor o tratamento livre apenas com *S. aff. depilis* (100%) (Tabela 18).

Tabela 18- Porcentagem da qualidade dos frutos: deformações, local de deformações e valor comercial oriundos dos tratamentos: Auto polinização espontânea (Ape), uma visita de *Scaptotrigona aff. depilis* (1 Sad), duas visitas *S. aff. depilis* (2 Sad), acima de três visitas de *S. aff. depilis* (> 3 Sad), livre de apenas de *S. aff. depilis* (Livre Sad) e livre com os visitantes geral (Livre geral). Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021. Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.

Classificações	Ape	1 Sad	2 Sad	>3 Sad	Livre Sad	Livre geral
Deformação						
Bem formado (%)	0	13	59	70	100	58
Regular (%)	14	20	19	5	0	19
Deformado (%)	13	13	7	10	0	9
Muito deformado (%)	73	54	15	15	0	14
Local de deformação						
Ápice (%)	29	31	30	36	75	35
Lateral (%)	37	36	42	32	12	36
Base (%)	34	33	28	32	13	29
Com valor comercial (%)	14	33	78	75	100	70
Nº de frutos (Nº)	15	28	27	20	20	70

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Discussão

As abelhas *Scaptotrigona aff. depilis* adaptaram-se rapidamente ao ambiente semiaberto, sugerindo que são promissoras para uso em ambiente fechado. Bomfim *et al.* (2014) avaliando o comportamento de *Scaptotrigona sp. nov.* em ambiente protegido, verificaram que as campeiras começaram a forragear nas flores de minimelancia (*Citrullus lanatus* T.) a partir do segundo dia após a introdução das colônias. O comportamento de saída para fora da estufa, foi devido a existência de plantas nativas em florescimento no entorno e de outros cultivos agrícolas com recursos abundantes próximo a estufa. Essa atividade externa pode ter sido para à busca de néctar ou água, tendo em vista que as visitas às flores do morangueiro são mais para coleta de pólen, sendo esse mesmo comportamento observado por Foulis e Goulson (2014) e Martin *et al.* (2019).

O comportamento de dominância e territorialista pode ser devido as espécies desse gênero se comportarem como guardas (de forma agressiva) para proteger determinados recursos florais. Devido à sua capacidade de recrutamento em grupo, através de trilhas de odor ou

vibrações como pontos referenciais (JARAU, 2003; NIEH, 2004). Desta forma, essa dominância pode ser tanto numericamente (dominando através de abundância no local) quanto comportamental (controlando as fontes de recursos localmente), tendo em vista que colônias mais fortes são dominantes (LICHTENBERG *et al.*, 2010). Para Heard (1999) algumas espécies apresentam-se como territorialistas e pode haver disputas ou lutas quando se confrontam. Impactando de forma indireta (repelem) na presença do percevejo às flores do morangueiro, o mesmo comportamento é citado por Belém *et al.* (2020) em formigas que interferem no comportamento de polinizadores.

O comportamento de forragear mais cedo, iniciando-se às 5:00h da manhã pode ser decorrente das temperaturas serem mais elevadas para os trópicos, a cor preta da abelha absorve a luz com maior facilidade e aquecer seu corpo durante o forrageamento, bem como o tamanho maior da *S. aff. depilis* em relação as outras abelhas de tamanho menor (*Nannotrigona aff. testaceicornis* e *Plebeia flavocincta*) refletindo na diminuição do tempo sobre as flores nos horários mais quentes (PEREBOOM; BIESMEIJER, 2003; DOREY *et al.*, 2020). Além do mais, o pico de forrageamento das *S. aff. depilis* (8:00 e 9:00h) ocorrem em horários durante a parte da manhã em comparação com regiões mais ao Sudeste do Brasil (clima subtropical) em que o pico ocorreu no período da tarde conforme Roselino *et al.* (2009).

A média de 12 abelhas por flor foi próximo daquelas observadas por Kakutani *et al.* (1993) e Rollin e Garibaldi (2019) que relatam que para ter uma taxa de fertilização de 87% e frutos com valor comercial, são necessárias uma média de 11 visitas de abelhas por flor. A concentração de forrageamento nas flores no primeiro dia é decorrente da maior quantidade de pólen disponível, quando elas forçam a abertura, estando essas flores já receptíveis. Cao *et al.* (2023), viram que as abelhas passaram mais tempo na primeira visita em uma flor, sendo que as demais visitas decresceram exponencialmente. Outra explicação para as visitas no primeiro e segundo dias de florescimento, seria as preferências das abelhas por certas características florais, como por exemplo os compostos voláteis, os quais podem levar a diferentes taxas de forrageamento (FERNANDES *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2023).

Quanto ao recurso coletado, percebe-se que as abelhas coletam pólen como recurso principal em cultivares de morangueiro já que o néctar é pouco atrativo (MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007). Roselino *et al.* (2009) verificaram coleta de ambos os recursos (néctar e pólen), e abelhas que coletam ambos os recursos podem ter maior importância ou eficiência na polinização (LAYEK *et al.*, 2022). Entretanto, ao coletarem o pólen aumentam as chances de a polinização cruzada ser mais efetiva (DIVIJA *et al.*, 2022).

Em relação a atividade de forrageamento, o fluxo de saída das abelhas da colmeia e entrando com pólen é mais conduzido em função da umidade relativa interna a colônia. Aleixo *et al.* (2017) avaliando o comportamento da mesma espécie em paisagem tropical constatou que o comportamento de forrageamento é adaptado em função da temperatura ambiente e sazonalidade. Já é de conhecimento que as abelhas aumentam a temperatura interna da colônia em relação a interna da estufa, tendo em vista que a temperatura ótima para a zona de conforto das crias é entre $30\pm 3^{\circ}\text{C}$ (ENGELS *et al.*, 1995; ZUCCHI; SAKAGAMI, 1972).

Figueiredo-Mecca *et al.* (2013) avaliando o padrão da atividade de voos de *S. depilis* verificaram que o pico de forrageamento de entrada e saída, ocorreu das 9:00h às 13:00h. No presente trabalho o pico de entrada e saída foi mais cedo, entre 8:00h às 11:00h, não sendo em temperaturas mais elevadas, igualmente ao observado por Figueiredo-Mecca *et al.* (2013).

A concentração das visitas (flores livres/naturalmente) em busca de recursos, principalmente pólen, no primeiro dia de florescimento associada a receptividade das flores que também ocorre no primeiro dia contribui para uma maior eficiência na polinização (capítulo 1). Cao *et al.* (2023), viram que a qualidade dos frutos varia em função da receptividade estigmática e que quanto mais cedo ocorram as visitas das abelhas nas flores melhor é a qualidade dos frutos. Apesar das flores da variedade San Andreas em condições Neotropicais estarem totalmente receptíveis 100% por completo, a partir do terceiro e quarto dia (capítulo 1) o comportamento de coletar pólen pelas *S. aff. depilis* praticamente é ausente, entretanto o maior número de visitas no primeiro dia e em menor quantidade no segundo, fazem com que os grãos de pólen fiquem depositados sobre todos os pistilos até mesmo na flor por completo, favorecendo desta forma uma polinização efetiva (DIVIJA *et al.*, 2022) (material suplementar 6).

O menor peso e diâmetro dos frutos após a introdução das abelhas *S. aff. depilis* pode ter sido devido ao efeito de saturação, conforme relatado por Cao *et al.* (2023) e Trillo *et al.* (2018). Entretanto, houve em nossos achados um aumento significativo do número de aquênios, ou seja, frutos verdadeiros. O maior peso e taxa de fertilização observados antes de introdução das abelhas podem estar associados ao efeito complementar de abelhas nativas (GARIBALDE *et al.*, 2013; MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007). É questionável a introdução de colmeias comerciais para os serviços de polinização onde existem altas densidades de abelhas locais ou circunvizinhas à estufa (ABROL *et al.*, 2017; CHAGNON *et al.*, 1993; MARTIN *et al.*, 2019). Tendo em vista que aumentando a densidade de abelhas, por

exemplo *Apis*, pode não surtir efeito sobre a produção ou produtividade (ROLLIN; GARIBALDI, 2019).

Por outro lado, após a introdução das *S. aff. depilis* houve um aumento de 25% sobre a qualidade dos frutos considerados bem formados, igualmente ao valor encontrado por Martin *et al.* (2019) no Reino Unido utilizando *Bombus terrestris* audax. Vários estudos mostram esse efeito sobre a qualidade dos frutos (ABROL *et al.*, 2019; KLATT *et al.*, 2014; MACINNIS; FORREST, 2019; MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007; WIETZKE *et al.*, 2018).

Em relação a taxa de vingamento, os frutos oriundos de todos os tratamentos com as abelhas *S. aff. depilis* apresentaram altas taxas de vingamentos. No entanto, há uma grande dificuldade em estabelecer essa taxa, tendo em vista que os frutos verdadeiros do morangueiro são os aquênios e o crescimento do receptáculo é o pseudofruto (MALAGODI-BRAGA, 2018).

O aumento no número de visitas aumenta o teor de brix, o comprimento dos frutos e, consequentemente, o número de aquênios. O número de aquênios fertilizados produz hormônios, estimulando o crescimento do receptáculo floral e consequentemente o brix (CSUKASI *et al.*, 2011; KLATT *et al.*, 2014), sendo essas variáveis influenciadas positivamente pela polinização cruzada (ABROL *et al.*, 2019; DUNG *et al.*, 2021; KLATT *et al.*, 2014; MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007).

A diminuição dos dias para amadurecimento dos frutos e aumento do número de aquênios apresentam melhores resultados quando as flores estão expostas à visita livre apenas das *S. aff. depilis*. Essa diminuição em dias para amadurecimento, mostra que a utilização de abelhas para a polinização do morangueiro nas condições tropicais pode diminuir a utilização de insumos, tais como produtos de controle de pragas e doenças, adubos, nutrição e gastos com mão de obra, bem como um efeito sobre a presença de pragas como o percevejo, principal praga em plantações de morangueiro no planalto da Ibiapaba.

A polinização cruzada envolvendo as *S. aff. depilis* e visitantes em geral resultam em frutos com menor deformação, contrariamente à polinização restrita. Destaque para a polinização apenas com as *S. aff. depilis* que atingiu cem por cento de frutos bem formados. Desta forma, as deformações nos frutos do morango são decorrentes da limitação de polinização (ARIZA *et al.*, 2011; KLATT *et al.*, 2014). Conforme Klatt *et al.* (2014), os aquênios não fertilizados fazem com que os pseudofrutos sejam de baixo valor comercial e com muita deformação.

5.5 Conclusão

Scaptotrigona aff. *depilis* tem comportamento de forrageio compatível para fornecer os serviços de polinização exigidos para o morangueiro.

Embora a introdução de *S. aff. depilis* não tenha efeito no número e peso dos frutos em relação à polinização realizada por diversos polinizadores, ela aumenta o número de aquênios por morango, melhorando significativamente a qualidade dos frutos. Essa introdução se torna tão mais importante quanto menor for a diversidade de polinizadores no ambiente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram que o planalto da Ibiapaba, localizado em ambiente tropical é favorável para cultivar morangos ao longo de todo o ano interruptamente, além do mais frutos mais precoce em relação a clima temperado. Atingindo em média 4 dias de antese. As flores primária necessitam de agentes para realizar a polinização cruzada, com base nos estudos de morfometria e requerimento de polinização, tendo em vista que as flores estão receptivas, a partir do primeiro dia de antese.

Os resultados mostraram alta eficiência na formação de frutos, no entanto as flores que receberam polinização cruzada seja por abelhas ou manual, apresentaram melhores desempenhos nas variáveis quantitativas e qualitativas quando comparadas com a polinização restrita ou autopolinização espontânea.

Os resultados mostraram que a polinização cruzada de forma manual é recomendável realizar no segundo dia de antese. Já para produtores de morango que tem suas estufas semiabertas. Com base no tratamento de polinização livre por dia de antese, para produtores que tem sistema de abertura e fechamento das laterais para a visita dos agentes polinizadores, recomenda-se a abertura todos os dias. Uma vez que essas flores livres apenas um dia não atinge a mesma taxa de frutos fecundados em relação a da polinização livre durante toda antese.

Entre as espécies avaliadas *Scaptotrigona* aff. *depilis*, *Apis mellifera*, *Trigona recursa*, *Plebeia flavocincta* e *Nannotrigona* aff. *testaceicornis* apresentam comportamentos de forrageio compatíveis para fornecerem os serviços de polinização exigidos para o morangueiro, refletindo positivamente nas variáveis quantitativas e qualitativas desejadas para a cultura. Além do efeito complementar por elas. Todas as abelhas sem ferrão avaliadas se equivaleram a *Apis mellifera*, polinização livre e manual cruzada. Mais estudos são importantes para avaliar as demais espécies visitantes que ocorreram no presente estudo. De outro modo devemos salientar a importância dos produtores em instalar colmeias próximas de plantios em estufas com laterais abertas ou céu aberto, bem como a preservação das vegetações nativas em áreas do entorno, garantindo assim uma maior diversidade e abundância das abelhas.

Embora a introdução de *S. aff. depilis* não tenha efeito no número e peso dos frutos em relação à polinização realizada por diversos polinizadores, ela aumenta o número de aquênios por morango, melhorando significativamente a qualidade dos frutos. Essa introdução se torna tão mais importante quanto menor for a diversidade de polinizadores no ambiente.

REFERÊNCIAS

- ABROL, D. P. *et al.* Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. **Saudi journal of biological sciences**, v. 26, n. 3, p. 524-530, 2019.
- ACKERMAN, J. D. Abiotic pollen and pollination: ecological, functional, and evolutionary perspectives. In: **Pollen and pollination**. Springer, Vienna, 2000. p. 167-185.
- ADHIKARI, R. D.; MIYANAGA, R. Utilization of Hairy Footed Flower Bee *Anthophora plumipes* (Hymenoptera: Apidae) for Pollination of Greenhouse Strawberry. **Advances in Entomology, Greece**, v.4, n.1, p.25-31, 2016.
- ALBANO S. *et al.* Pollination effectiveness of different strawberry floral visitors in Ribatejo, Portugal: Selection of potential pollinators. Part 2. **Advances in Horticultural Science** 23: 246–253. 2009.
- ALEIXO, K. P. *et al.* Seasonal availability of floral resources and ambient temperature shape stingless bee foraging behavior (*Scaptotrigona* aff. *depilis*), **Apidologie**, v, 48, n, 1, p, 117-127, 2017.
- ALMEIDA SANTOS, F. L. zoneamento ecológico-econômico do planalto da ibiapaba nos municípios de Tianguá e Ubajara - noroeste do Ceará. **Revista GeoUECE**, [S. l.], v. 4, n. 6, p. 233, 2021.
- ALMEIDA, M. L. B. *et al.* Physico-chemical and sensory properties of strawberries ('*Fragaria x ananassa*') grown in conventional and hydroponic systems. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 5, p. 671-677, 2019.
- ALMEIDA, M. L. B. *et al.* Postharvest shelf-life and fruit quality of strawberry grown in different cropping systems. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 43, p. 4053-4061, 2015.
- ALPIONITA, R.; ATMOWIDI, T.; KAHONO, S. Pollination services of *Apis cerana* and *Tetragonula laeviceps* (Hymenoptera: Apidae) on strawberry (*Fragaria x Ananassa*). **Asian Journal of Agriculture and Biology**, v. 3, 2021.
- ALVES, A. S. Revisão dos estudos dos polinizadores do morangueiro no Brasil. **Monografia de Agronomia**. Universidade Federal da Fronteira Sul: Cerro Largo. 2019.
- ANEES, M. *et al.* Impact of Bee and Fly Pollination on Physical and Biochemical Properties of Strawberry Fruit. **Horticulturae**, v. 8, n. 11, p. 1072, 2022.
- ANTUNES, L. E. C.; CARVALHO, G. L.; SANTOS, A. M. A cultura do morango. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128281/1/PLANTAR-Morango-ed02-2011.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2022.
- ANTUNES, L. E. C.; JÚNIOR, C. R.; SCHWENGBER, J. E. Morangueiro. editores técnicos.

– Brasília, DF: Embrapa, 589 p.: il. color.; 18,5 cm x 25,5 cm. ISBN 978-85-7035-594-2. 2016.

ANTUNES, L. E. C.; PERES, N. A. Strawberry production in brazil and south america. **International Journal of Fruit Science**, v. 13, n. 1-2, p. 156-161, 2013.

ANTUNES, M. C. *et al.* Postharvest quality of strawberry produced during two consecutive seasons. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 168-173, 2014.

ANTUNES, O. T. *et al.* Floração, frutificação e maturação de frutos de morangueiro cultivados em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 426-430, 2006.

ANTUNES, O. T. *et al.* Produção de cultivares de morangueiro polinizadas pela abelha jataí em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 94-99, 2007.

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA nº10/2020: Orientações para a classificação toxicológica quanto à toxicidade aguda de produtos de origem biológica. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2020/produtos-biologicos-orientacoes-para-classificacao>. Acesso em fevereiro de 2023.

ARCHER, C. R.; PIRK, C.W.W.; CARVALHEIRO, L.G.; NICOLSON, S.W. conomic and ecological implications of geographic bias in pollinator ecology in the light of pollinator declines. **Oikos**, 123, 401–407, 2014.

ARIZA, M. T. *et al.* Fruit misshapen in strawberry cultivars (*Fragaria*× *ananassa*) is related to achenes functionality. **Annals of Applied Biology**, v. 158, n. 1, p. 130-138, 2011.

ARIZA, M. T. *et al.* Fruit misshapen in strawberry cultivars (*Fragaria*× *ananassa*) is related to achenes functionality. **Annals of Applied Biology**, v. 158, n. 1, p. 130-138, 2011.

ARIZA, M. T. *et al.* Incidence of misshapen fruits in strawberry plants grown under tunnels is affected by cultivar, planting date, pollination, and low temperatures. **HortScience**, v. 47, n. 11, p. 1569-1573, 2012.

ARIZA, M. T.; SÓRIA, C.; MARTÍNEZ-FERRI, E. Developmental stages of cultivated strawberry flowers in relation to chilling sensitivity. **AoB Plants**, v. 7, 2015.

ASCHER, J. S.; PICKERING, J. Discover life: bee species guide and world checklist (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila), 2021, Disponível em: http://www.discoverlife.org/mp/20q?guide=Apoidea_species&flags=HAS, Acesso em: 17 abr. 2023.

ATMOWIDI, T. *et al.* Stingless Bees Pollination Increases Fruit Formation of Strawberry (*Fragaria x annanassa* Duch) and Melon (*Cucumis melo* L.). **Tropical Life Sciences Research**, 33(1), 43–54, 2022.

BAGNARA, D.; VINCENT, C. The role of insect pollination and plant genotype in strawberry fruit set and fertility. **Journal of Horticultural Science**, v.63, n.1, p.69-75, 1988.

BALFOUR, N. J.; GANDY, S.; RATNIEKS, F. L. W. Exploitative competition alters bee foraging and flower choice. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 69, p. 1731-1738, 2015.

BÄNSCH, S. *et al.* Crop pollination services: complementary resource use by social vs solitary bees facing crops with contrasting flower supply. **Journal of Applied Ecology**, v.58, n.3, p.476-485, 2021.

BARBOSA, J. F. **Ecologia da polinização de *Fragaria x ananassa* Duchesne cv 'Aromas' (Rosaceae) em sistemas de produção orgânico e convencional, sob proteção de túneis baixos, em Rancho Queimado, SC, Brasil.** 2009. 70 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BARBOSA, J. F.; ORTH, A. I. Importância da polinização biótica na produtividade de *Fragaria x ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier 'Aromas' e a diversidade e abundância de abelhas em áreas de cultivo convencional e orgânico. **Acta Biológica Paranaense**, v.49, n.1-4, 2020.

BARBOSA, J. F.; ORTH, A. I. Importância da polinização biótica na produtividade de *Fragaria x ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier 'Aromas' e a diversidade e abundância de abelhas em áreas de cultivo convencional e orgânico. **Acta Biológica Paranaense**, v.49, n.1-4, 2020.

BARRIOS, S.; LEMA, P.; LAREO, C. Modeling respiration rate of strawberry (cv. San Andreas) for modified atmosphere packaging design. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 9, p. 2039-2051, 2014.

BARTHOLOMEE, O. Pollinator presence in orchards depends on landscape-scale habitats more than in-field flower resources, **Agric Ecosyst Environ**, 293:106806, 2020.

BATISTA, C. D. *et al.* Percepção do uso do manejo integrado de pragas por produtores rurais da Região da Serra da Ibiapaba-Ceará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e65791110271-e65791110271, 2020.

BELÉM, S. O. *et al.* Effects of ants (Hymenoptera: Formicidae) on flying insect visitor behaviour and fruit production in açai palm (*Euterpe oleracea* Martius). **Austral Entomology**, v. 59, n. 3, p. 612-618, 2020.

BOMFIM, I. G. A. *et al.* Adaptive and foraging behavior of two stingless bee species in greenhouse mini watermelon pollination. **Sociobiology**, v. 61, n. 4, p. 502-509, 2014.

BRAZANTI E. C. 1989. **La Fresa**. Madri: Mundiprensa. 386 p.

BRITTAIN, C. Synergistic effects of non-Apis bees and honey bees for pollination services, **Proc, R, Soc, B** 280:20122767, 2013.

BUENO, F. G. B. *et al.* Stingless bee floral visitation in the global tropics and subtropics.

Global Ecology and Conservation, p. e02454, 2023.

CALVETE, E. O. *et al.* Polinização de morangueiro por *Apis mellifera* em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 181-188, 2010.

CAMARGO, J. M. F.; PEDRO, S. R. M. Meliponini, Lepeletier, 1836. *In*: Moure, J. S., Urban, D.; Melo, G. A. R. (Orgs). **Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region** - online version, 2013. Disponível em: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. Acesso em: 12 mai 2022.

CAO, Z. *et al.* Effects of Bee Density and Hive Distribution on Pollination Efficiency for Greenhouse Strawberries: A Simulation Study. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 731, 2023.

CASTLE, D.; GRASS, I.; WESTPHAL, C. Fruit quantity and quality of strawberries benefit from enhanced pollinator abundance at hedgerows in agricultural landscapes. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.275, p.14-22. 2019.

CAUICH, O. *et al.* Pollination of habanero pepper (*Capsicum chinense*) and production in enclosures using the stingless bee *Nannotrigona perilampoides*. **J. Apicult. Res.** 45: 125–130. 2006.

CHAGNON, M. G. J.; OLIVEIRA, D. Pollination rate of strawberries. **Journal of Economic Entomology**, v.82, p.1350-1353, 1989.

CHAGNON, M.; GINGRAS, J.; OLIVEIRA, D. Complementary aspects of strawberry pollination by honey and indigenous bees (Hymenoptera). **Journal of Economic Entomology**, v.86, p.416-420.1993.

CHAGNON, M.; GINGRAS, J.; OLIVEIRA, D. Effect of honey bee Hymenoptera: Apidae) visits on the pollination rate of strawberries **J, Econ, Entomol**, 82 (5) (1989), pp, 1350-1353.

CHAGNON, M; GINGRAS, J.; OLIVEIRA, D. Pollination rate of strawberries. **Journal of Economic Entomology**, v.82, p.1350-1353, 1989.

CHAVES, M. A. *et al.* Comportamento de abelhas sociais visitantes em cultura de morango (*Fragaria x ananassa* Duch, cv. Albion). **Rev. GEOMAE**. 2017, v. 8, p. 78–85.

COELHO-JUNIOR, J. M.; MOTA FILHO, F. O.; PEREIRA, E. C.; Nobrega, R. S.; Resende, J. T. V. R. Zoning of climate fitness of strawberry crops in Pernambuco state - **Brazil. Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, p. 101, 2017.

COELHO-JUNIOR, J. M.; MOTA FILHO, F. O.; PEREIRA, E. C.; Nobrega, R. S.; Resende, J. T. V. R. Zoning of climate fitness of strawberry crops in Pernambuco state - Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, p. 101, 2017.

CONNOR, L.J.; MARTIN, E. C. 1973 Components of pollination of commercial strawberries in Michigan. **HortScience**, v.8, n.4, p.304-306, 1973.

CORBET, S. A. *et al.* Temperature and the pollinating activity of social bees. **Ecological**

entomology, v. 18, n. 1, p. 17-30, 1993.

COSTA, R. C. *et al.* Vegetative stage of strawberry duration determined by the crop year. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, 2017.

CRANE, E.; WALKER, P. Pollination directory for world crops. **International Bee Research Association**, London, 183p, 1984.

CRUZ, D. O. *et al.* Adaptação e comportamento de pastejo da abelha jandaíra (*Melipona subnitida* Ducke) em ambiente protegido. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 3, p. 293-298, 2004.

CRUZ, D. O. *et al.* Pollination efficiency of the stingless bee *Melipona subnitida* on greenhouse sweet pepper. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1197-1201, 2005.

CRUZ, D. O.; CAMPOS, A. O. Polinização por abelhas em cultivos protegidos. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 15, n. 1-4, 2009.

CRUZ, D. O.; CAMPOS, L. A. O. Polinização por abelhas em cultivos protegidos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.15, p.5-10, 2009.

CRUZ, D. O.; CAMPOS, L. A. O. Polinização por abelhas em cultivos protegidos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.15, p.5-10, 2009.

CSUKASI F *et al.* Gibberellin biosynthesis and signalling during development of the strawberry receptacle. **New Phytol.** v.191, p.376–390. 2011.

CUI, M. *et al.* Ultrastructural characteristics of anther and pistil during floral development in ‘Machyang’strawberry. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 64, n. 1, p. 51-63, 2023.

DAFNI, A. **Pollination Ecology: a practical approach**. Oxford: Oxford University Press. 250 pp, 1992.

DAFNI, A.; MAUES, M. M. A rapid and simple procedure to determine stigma receptivity. **Sexual Plant Reproduction**, Berlin, 11 (3): 177-180. 1998.

DARSONO; WIDHIONO, I. Daily Activity of Wild Bee Pollinators on Strawberry in Highland Agriculture, Eastern Slope of Mount Slamet, Central Java. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012007.

DEL SARTO, M. C. L.; PERUQUETTI, R. C.; CAMPOS, L. A. O. Evaluation of the neotropical stingless bee *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) as pollinator of greenhouse tomatoes. **Journal of Economic Entomology**, v. 98, n. 2, p. 260-266, 2005.

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*. In V. Dietemann; J. D. Ellis; P. Neumann (Eds) **The COLOSS**

BEEBOOK, Volume I: standard methods for *Apis mellifera* research. **Journal of Apicultural Research** v. 52, n.4: <http://dx.doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.12>. 2013.

DELAPLANE, K. S.; MAYER, D. F. **Crop pollination by bees**. Cabi, 2000.

Departamento de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Campina Grande (DCA/UFCG). **Dados climatológicos do estado de Pernambuco**. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/dadospe.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

DIAS, C. N. *et al.* Produtividade e qualidade do morangueiro sob dois ambientes e doses de biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 961-966, 2015.

DIMOU, M. *et al.* Effect of bumble bee pollination on greenhouse strawberry production. **Journal of Apicultural Research**, v. 47, n. 2, p. 99-101, 2008.

DIVIJA, S. D.; KAMALA JAYANTHI, P. D. Pollination efficiency and foraging behaviour of honey bees and flies to onion *Allium cepa* L. **Journal of Apicultural Research**, v. 61, n. 5, p. 688-694, 2022.

DOREY, J. B. *et al.* Morphometric comparisons and novel observations of diurnal and low-light-foraging bees. **Journal of Hymenoptera Research**, v. 79, p. 117-144, 2020.

DUNG, C. D. *et al.* Cross-pollination affects fruit colour, acidity, firmness and shelf life of self-compatible strawberry. **Plos one**, v. 16, n. 9, p. e0256964, 2021.

ELEUTÉRIO, P.; ROCHA, E. E. M.; FREITAS, B. M. Production of new colonies of *Melipona subnitida* Ducke (Hymenoptera: Apidae) by reclamation of excess virgin queens. **Journal of Apicultural Research**, v. 61, n. 5, p. 695-705, 2022.

ENGELS, W.; ROSENKRANZ, P.; ENGELS, E. Thermoregulation in the nest of the Neotropical stingless bee *Scaptotrigona postica* and a hypothesis on the evolution of temperature homeostasis in highly eusocial bees, *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 30, n. 4, p. 193-205, 1995.

FAEGRI, K.; VAN DER PIJL. **The principles of pollination ecology**. 81. 1979.

FAGHERAZZI, A. F. *et al.* Strawberry production progress in Brazil. In: **VIII International Strawberry Symposium 1156**. 2017. p. 937-940. **Acta Hortic.** 1156. ISHS 2017. DOI 10.17660/ActaHortic.2017.1156.138.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database. Crops database, 2022. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acesso em: 10 abr. 2023.

FAO, Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response, In: Freitas, B. M.; Pereira, J. O. P. (eds,) *Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination*, Imprensa Universitária, Fortaleza, Brasil, p. 19-2, 2004.

FAO. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response. In: Freitas, B.M.; Pereira, J.O.P. (eds.) **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination**. Imprensa Universitária. Fortaleza, Brasil. p. 19-2. 2004.

FARIAS-SILVA, F. J.; FREITAS, B. M. Thermoregulation in the large carpenter bee *Xylocopa frontalis* in the face of climate change in the Neotropics. **Apidologie**, v. 52, n. 2, p. 341-357, 2021.

FELIX, J. A.; FREITAS, B. M. Richness and distribution of the meliponine fauna (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in the State of Ceará, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021.

FERNANDES, N. S. *et al.* Volatile organic compounds role in selective pollinator visits to commercial melon types. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.3, p.93-108, 2019.

FERNANDES, N.S. *et al.* Differences in the Chemical Composition of Melon (*Cucumis melo* L.) Nectar Explain Flower Gender Preference by Its Pollinator, *Apis mellifera*. **Journal of the Brazilian chemical society**, v. 34, p. 010, 2023.

Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO), <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>, accessed in march 2023.

FOULIS, E. S. J.; GOULSON, D. Commercial bumble bees on soft fruit farms collect pollen mainly from wildflowers rather than the target crops, **Journal of Apicultural Research**, v, 53, n, 3, p, 404-407, 2014.

FREE, J. B. 1993 **Insect pollination of crops**. London: Academi.

FREITAS, B. M. *et al.* Forest remnants enhance wild pollinator visits to cashew flowers and mitigate pollination deficit in NE Brazil. **Journal of Pollination Ecology** , v. 12, p. 22-30, 2014.

FREITAS, B. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. A importância econômica da polinização. **Mensagem Doce**, São Paulo, vol. 80, p. 44-46, 2005.

FREITAS, L. Concepts of pollinator performance: is a simple approach necessary to achieve a standardized terminology?. **Brazilian Journal of Botany**, v. 36, n. 1, p. 3-8, 2013.

GALLAI, N. *et al.* Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological economics**, v. 68, n. 3, p. 810-821, 2009.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Crop pollination management needs flower-visitor monitoring and target values. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 4, p. 664-670, 2020.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. **Science**, v. 351, n. 6271, p. 388-391, 2016.

- GARIBALDI, L. A. *et al.* Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance, **Science** 339:1608–11, 2013.
- GIANNINI, T. C. *et al.* The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal of economic entomology**, v. 108, n. 3, p. 849-857, 2015.
- GODOI, R. S. *et al.* Produção e qualidade do morangueiro em sistemas fechados de cultivo sem solo com emprego de substratos. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p. 1039-1044, 2009.
- GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). 2022.
- GRANDE, L. *et al.* O cultivo protegido de hortaliças em Uberlândia-MG. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v. 21, n. 2, p. 241-244, abril/junho 2003.
- GUTIÉRREZ, E. *et al.* Does larval food affect cuticular profiles and recognition in eusocial bees? A test on *Scaptotrigona gyges* (Hymenoptera: Meliponini), **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 70, n. 6, p. 871-879, 2016.
- HALDER, S. *et al.* Papel da polinização em fruteiras: Uma revisão. **The Pharma Innovation Journal**, 8 (5), 695-702. 2019.
- HALL, K. *et al.* Onset of morning activity in bumblebee foragers under natural low light conditions. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 11, p. 6536-6545, 2021.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis, **Palaeontologia Electronica** 4: 1–9. 2001.
- HANCOCK, J. F.; SJULIN, T. M.; LOBOS, G. A. **Strawberries**. In: Temperate Fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics. Netherlands: Springer, pp. 393– 437. 2008.
- HARANO, K.; HRNCIR, M. Big in the tropics—Are there thermal advantages of large body size for carpenter bees in hot climates?. **Ecological Entomology**, 2023.
- HEARD, T. A. The role of stingless bees in crop pollination, **Annual Review of Entomology**, v.44, n. 1, p. 183-206, 1999.
- HEIDE, O. M.; STAVANG, J. A.; SØNSTEBY, A. Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries—a review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 88, n. 1, p. 1-18, 2013.
- HERRMANN, J. D. *et al.* Positive effects of the pollinators *Osmia cornuta* (Megachilidae) and *Lucilia sericata* (Calliphoridae) on strawberry quality. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 13, n. 1, p. 71-77, 2019.
- HORTH, L.; CAMPBELL, L. A. Supplementing small farms with native mason bees increases strawberry size and growth rate. **Journal of applied ecology**, v. 55, n. 2, p. 591-599, 2018.
- IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; CANHOS, D. A. L.; SARAIVA, A. M. **Proposta de**

estratégia e ações para conservação e uso sustentável dos polinizadores no Brasil. Polinizadores no Brasil—contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais. São Paulo: EDUSP, p. 463-476, 2012.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M.; GONÇALVES, L. A Iniciativa Brasileira de Polinizadores e os avanços para a compreensão do papel dos polinizadores como produtores de serviços ambientais. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 1, p. 100-106, 2007.

INAGAKI, F. M. O. *et al.* Levantamento de abelhas polinizadoras em cultura de morango (*Fragaria x ananassa* Duch, cv. Albion). **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, v. 8, n. 3, p. 129-135, 2017.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. INPE. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata>. Acesso em: 03 de maio de 2023.

IPBES (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo, (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 pages.

IPBES. 2016. “Relatório do Plenário da Plataforma Intergovernamental de Política Científica sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos sobre o Trabalho de sua Quarta Sessão; Documento IPBES/4/19.”

JARAU, S. Effectiveness of recruitment behavior in stingless bees (Apidae, Meliponini), **Insectes Sociaux**, 50, 365-374, 2003.

JONES, R. **Stingless bees: a historical perspective. Pot-Honey: A legacy of stingless bees**, p. 219-227, 2013.

KAJOBE, R. Pollen foraging by *Apis mellifera* and stingless bees *Meliponula bocandei* and *Meliponula nebulata* in Bwindi Impenetrable National Park, Uganda. **African Journal of Ecology**, v. 45, n. 3, p. 265, 2007.

KAKUTANI, T. *et al.* Pollination of strawberry by the stingless bee, *Trigona minangkabau*, and the honey bee, *Apis mellifera*: an experimental study of fertilization efficiency. **Rev. Popul. Ecol.**, v.35, p. 95-111, 1993.

KEARNS, C. A.; INOUE, D. W.; WASER, N. M. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. **Annual review of ecology and systematics**, v. 29, n. 1, p. 83-112, 1998.

KHALIFA, S. A. M. *et al.* Overview of bee pollination and its economic value for crop production. **Insects**, v. 12, n. 8, p. 688, 2021.

KING, M. J.; BUCHMANN, S. L. "Floral sonication by bees: mesosomal vibration by *Bombus* and *Xylocopa*, but not *Apis* (Hymenoptera: Apidae), ejects pollen from poricidal anthers." **Journal of the Kansas Entomological Society**, p. 295-305, 2003.

KLATT, B. K. *et al.* Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1775, p. 20132440, 2014.

KLATT, B. K. *et al.* Enhancing crop shelf life with pollination. *Agriculture & Food Security*, v. 3, p. 1-7, 2014.

KLEIJN, D. *et al.* Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation, **Nat. Commun**, 6:7414. 2015.

KLEIJN, D. *et al.* Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation, **Nat. Commun**, 6:7414. 2015.

KLEIN, A. M. *et al.* **A polinização agrícola por insetos no Brasil: Um Guia para Fazendeiros, Agricultores, Extensionistas, Políticos e Conservacionistas**. Nature Conservation and Landscape Ecology, 2020.

KLEIN, A. M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, **Proceedings of the royal society B: biological sciences**, v, 274, n, 1608, p, 303-313, 2007.

KLEIN, A. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 270, n. 1518, p. 955-961, 2003.

KLEIN, A. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 270, n. 1518, p. 955-961, 2003.

KRÜGER, E. *et al.* Flowering Phenology of Six Seasonal-Flowering Strawberry Cultivars in a Coordinated European Study. **Horticulturae**, v. 8, n. 10, p. 933, 2022.

KUROKURA, T. *et al.* The regulation of seasonal flowering in the Rosaceae. **Journal of experimental botany**, v. 64, n. 14, p. 4131-4141, 2013.

LARSON, K. D. Strawberry. In: *CRC Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops*. (Schaffer, B. and Anderson, P. C., Eds.). Volume I. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA. 271–297.1994.

LATA, S. *et al.* Pollen viability, germination and stigma receptivity studies in different strawberry cultivars. **Agric Res J**, v. 55, p. 627-632, 2018.

LAYEK, U.; DAS, U.; KARMAKAR, P. The pollination efficiency of a pollinator depends on its foraging strategy, flowering phenology, and the flower characteristics of a plant species, **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v, 25, n, 2, p, 101882, 2022.

LEÃO, K. L. *et al.* Colony development and management of the stingless bee *Scaptotrigona aff. postica* (Apidae, Meliponini) in different hive models, **Sociobiology**, v, 63, n, 4, p, 1038-1045, 2016.

LICHTENBERG, E. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; NIEH, J. C. Behavioral suites mediate group-level foraging dynamics in communities of tropical stingless bees, **Insectes sociaux**, v. 57, n. 1, p. 105-113, 2010.

LIMA-VERDE LW, PACHECO FILHO AJS & FREITAS BM. 2020. Stingless bee (Apidae, Meliponini) guilds occurring in the immediate edges of forest fragments of the Baturité Massif, State of Ceará, Brazil. **An Acad Bras Cienc** 92: e20181303.

LIU, J. *et al.* Composition of Strawberry Flower Volatiles and Their Effects on Behavior of Strawberry Pollinators, *Bombus terrestris* and *Apis mellifera*, **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 339, 2023.

LUZ, C. F. P. *et al.* Comparative floral preferences in nectar and pollen foraging by *Scaptotrigona postica* (Latreille 1807) in two different biomes in São Paulo (Brazil), **Grana**, v. 58, n. 3, p. 200-226, 2019.

MACINNIS, G.; FORREST, J. R. K. Pollination by wild bees yields larger strawberries than pollination by honey bees. **Journal of Applied Ecology**, v. 56, n. 4, p. 824-832, 2019.

MAGALHÃES, C. B.; FREITAS, B. M. Introducing nests of the oil-collecting bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini) for pollination of acerola (*Malpighia emarginata*) increases yield. **Apidologie**, v. 44, p. 234-239, 2013.

MALAGODI-BRAGA, K. S. **A polinização como fator de produção na cultura do morango**. Embrapa Meio Ambiente-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2018.

MALAGODI-BRAGA, K. S. **A polinização do morangueiro (*Fragaria x ananassa*)**. In: SEMANA DOS POLINIZADORES, 2., 2010, Petrolina. Palestras... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 36-48. 85p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 229).

MALAGODI-BRAGA, K. S. **Estudo de agentes polinizadores em cultura de morango (*Fragaria x ananassa* Duchesne – Rosaceae)**. 2002. 104f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MALAGODI-BRAGA, K. S.; KLEINERT, A. M. P. Como o comportamento das abelhas na flor do morangueiro (*Fragaria ananassa* Duchesne) influencia a formação dos frutos? **Bioscience Journal**, v. 23, p. 76-81, 2007. Supplement 1.

MALERBO-SOUZA, D. T.; NOGUEIRA-COUTO, R. H.; C.; L. A. Polinização em cultura de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck, var. Pera-rio). **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 40, p. 237-242, 2003.

MALLINGER, R. E.; GAINES-DAY, H. R.; GRATTON, C. Do managed bees have negative effects on wild bees?: A systematic review of the literature. **PLoS ONE**, 12, e0189268. 2017.

MALLINGER, R. E.; GRATTON, C. Species richness of wild bees, but not the use of managed honeybees, increases fruit set of a pollinator-dependent crop. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 2, p. 323-330, 2015.

- MARTIN, C. D.; FOUNTAIN, M. T.; BROWN, M. J. F. Varietal and seasonal differences in the effects of commercial bumblebees on fruit quality in strawberry crops, **Agriculture, ecosystems & environment**, v, 281, p, 124-133, 2019.
- MCGREGOR, S. E. **Insect pollination of cultivated crop plants**, Agriculture Handbook no.496, Washington, DC: US Dep. Agric. 1976.
- MENEZES, C. A. produção de rainhas e a multiplicação de colônias em *Scaptotrigona* aff. *depilis* (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). Tese de Doutorado. University de São Paulo, Brasil, 2010.
- MENEZES, C.; VOLLET-NETO, A.; IMPERATRIZ- FONSECA, V. L. An advance in the in vitro rearing of stingless bee queens. **Apidologie**, v. 44, n. 5, p. 491-500, 2013.
- MERCOSUL. Dispõe sobre o regulamento técnico do Mercosul de identidade de qualidade do morango. Montevideo, 2021.
- MIRANDA, F. R. *et al.* Production of strawberry cultivars in closed hydroponic systems and coconut fibre substrate. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 833-841, 2014.
- MONTEIRO, V. M. *et al.* Floral biology and implications for apple pollination in semiarid ortheastern Brazil. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences**, v. 4, n. 1, p. 42-50, 2015.
- MUNIZ, J. P. O. *et al.* Biologia floral, requerimentos de polinização e comportamento dos visitantes florais em duas espécies de pitaia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, p. 640-649, 2019.
- MUTO, N. A. *et al.* Impact of the introduction of stingless bee colonies (*Scaptotrigona* aff. *postica*) on the productivity of acai (*Euterpe oleracea*). **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. v. 15, n.3, jul.-set., p. 265-273, 2020. doi: 10.18378/rvads.v15i3.8404.
- NABHAN, G. P.; BUCHMANN, S. L. Services provided by pollinators. **Nature's Services: societal dependence on natural ecosystems**, p. 133-150, 1997.
- NASCIMENTO, M. S. *et al.* O birdwatching na Caatinga: o potencial ecoturístico do Parque Nacional de Ubajara (CE). *Revista Brasileira de Ecoturismo*, São Paulo, v 15, n.3, jun2022, pp. 539-554.
- NEGI, S.; SHARMA, G.; SHARMA, R. Introgression and confirmation of everbearing trait in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 26, p. 2407-2416, 2020.
- NICHOLS, E.; HEMPEL DE IBARRA, Natália. Avaliação de recompensas de pólen por abelhas forrageadoras. **Ecologia Funcional**, v. 31, n. 1, pág. 76-87, 2017.
- NICOMEDO, D. *et al.* Enhanced production of parthenocarpic cucumbers pollinated with stingless bees and Africanized honey bees in greenhouses. **Semina. Cienc. Agrar.** 34: 3625

3634. 2013.

NICOMEDO, D. *et al.* Enhanced production of parthenocarpic cucumbers pollinated with stingless bees and Africanized honey bees in greenhouses. **Semina. Cienc. Agrar.** 34: 3625–3634. 2013.

NIEH, J. C.; CONTRERA, F. A. L.; NOGUEIRA-NETO, P. Pulsed mass-recruitment by a stingless bee, *Trigona hyalinata*, **Proc. R. Soc. B**, 270: 2191-2196, 2003.

NOGUEIRA-NETO P. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**, Editora Nogueirapis, São Paulo. 1997.

NUNES-SILVA, P. *et al.* The behavior of *Bombus impatiens* (Apidae, Bombini) on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. Solanaceae) flowers: pollination and reward perception. **J. Pollinat. Ecol.** 11: 33–40, 2013.

OLIVEIRA, M. A. C. Um método para avaliação das atividades de vôo em *Plebeia saiqui* (Friese) (Hymenoptera, Meliponinae). **Boletim de Zoologia e Biologia**, 30: 625-631. 1973.

OLIVEIRA, F. F. D. *et al.* **Guia ilustrado das abelhas" sem ferrão" das Reservas Amanã e Mamirauá, Amazonas, Brasil (Hymenoptera, Apidae, Meliponini)**. 2013.

OLIVEIRA, M. O.; CAVALCANTE, M. C.; FREITAS, B. M. Nesting behavior and colony description of the neotropical *Bombus* (Thoracobombus) *brevivillus* in northeastern Brazil. **Journal of Insect Behavior**, v. 28, n. 3, p. 297-302, 2015.

OLLERTON, J. E. F. F.; WINFREE, R.; TARRANT, S. A. M. How many flowering plants are pollinated by animals?, **Oikos**, v, 120, n, 3, p, 321-326, 2011.

ORTEGA, E. *et al.* Pollen tube dynamics following half-and fully-compatible pollinations in self-compatible almond cultivars. **Sexual Plant Reproduction**, v. 15, n. 1, p. 47-51, 2002.

PALMA, G. *et al.* Production of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) using *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* and mechanical vibration (Hym.: Apoidea). **Journal of Applied Entomology**, v. 132, n. 1, p. 79-85, 2008.

PAYDAS, S. *et al.* effects of pollination of strawberries grown in plastic greenhouses by honeybees and bumblebees on the yield and quality of the fruits. **Acta Hort.** 513, 443-452.1998.

PEDRO, S. R. M. The stingless bee fauna in Brazil (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology**, v. 61, n. 4, p. 348-354, 2014.

PEREBOOM, J. J. M.; BIESMEIJER, J. C. Thermal constraints for stingless bee foragers: the importance of body size and coloration. **Oecologia**, v. 137, p. 42-50, 2003.

PEREIRA, W. R.; SOUZA, R. J.; YURI, J. E.; FERREIRA, S. Produtividade de culti-vares de morangueiro, submetidas a diferentes épocas de plantio. **Horticultura Brasileira** 31: 500-503, 2013.

PIOVESAN, B.; PADILHA, A. C.; BOTTON, M.; ZOTTI, M. J. Entomofauna and potential pollinators of strawberry crop under semi-hydroponic conditions. **Horticultura Brasileira** 37: 324-330. 2019.

PISANTY G, A. O; WAJNBERG E.; MANDELIK Y. Watermelon pollinators exhibit complementarity in both visitation rate and single-visit pollination efficiency. *J Appl Ecol* 53:360–370. 2016.

Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos- BPBES. **1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. Sumário para tomadores de decisão.** 2019. Disponível em: <https://www.bpb.es.net.br/wp-content/uploads/2018/11/Sum%C3%A1rio-para-Tomadores-de-Decis%C3%A3o-BPBES-1.pdf>.»<https://www.bpb.es.net.br/wp-content/uploads/2018/11/Sum%C3%A1rio-para-Tomadores-de-Decis%C3%A3o-BPBES-1.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2023.

PORTMAN, Z. M.; ORR, M. C.; GRISWOLD, T. A review and updated classification of pollen gathering behavior in bees (Hymenoptera, Apoidea). **Journal of Hymenoptera Research**, v. 71, p. 171-208, 2019.

POTTS, S. G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, 25, 345–353. 2010.

POTTS, S. G. *et al.* Linking bees and flowers: how do floral communities structure pollinator communities?. **Ecology**, v. 84, n. 10, p. 2628-2642, 2003a.

POTTS, S. G. *et al.* Response of plant-pollinator communities to fire: changes in diversity, abundance and floral reward structure. **Oikos**, v. 101, n. 1, p. 103-112, 2003b.

POTTS, S. G. *et al.* Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, v. 540, n. 7632, p. 220-229, 2016.

POVEDA CORONEL, C. A. *et al.* Eficiencia de polinización de colonias huérfanas de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) en fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo cubierta. **Acta Biológica Colombiana**, v. 23, n. 1, p. 73-79, 2018.

Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango - PBMHePIMo. 2009. Normas de Classificação de Morango. São Paulo, SP, CEAGESP.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; JUNG-MENDAÇOLLI, S. L.; PASSOS, F. A.; SANTOS, R. R. Caracterização botânica de cultivares de morangueiro. **Bragantia**. 1996. vol.55(1): p.29-44.

R Core Team. (2018). A language and environment for statistical computing. The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RADAESKI, J. N.; BAUERMANN, S. G. Contributions to melissopalynology studies in southern Brazil: pollen analysis in the honeys from *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula*, *Melipona quadrifasciata quadrifasciata*, *Scaptotrigona bipunctata*, *Plebeia remota* and *Plebeia droryana*, **Palynology**, v. 45, n. 3, p. 477-486, 2021.

RADER, R. *et al.* Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 1, p. 146-151, 2016.

RADER, R. *et al.* Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 1, p. 146-151, 2016.

RADER, R. *et al.* Non-bee insects as visitors and pollinators of crops: Biology, ecology, and management. **Annual review of entomology**, v. 65, p. 391-407, 2020.

RADMANN, E. B. *et al.* Caracterização e diversidade genética de cultivares de morangueiro. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 84-87, 2006.

RAMALHO, M. Foraging by stingless bees of the genus, *Scaptotrigona* (Apidae, Meliponinae), **Journal of Apicultural Research**, v. 29, n. 2, p. 61-67, 1990.

RAMÍREZ, F.; KALLARACKAL, J. Ecophysiology of temperate fruit trees in the tropics. *Advances in environmental research*, v. 31, p. 1-13, 2014.

RECH, A. R. *et al.* (Ed.). **Biologia da polinização**. Rio de Janeiro: Projecto Cultural, 2014.

REN, M. X.; ZHONG, Y. F.; SONG, X. Q. Mirror-image flowers without buzz pollination in the Asian endemic *Hiptage benghalensis* (Malpighiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 173, n. 4, p. 764-774, 2013.

REZENDE, A. C. C.; ABSY, M. L.; FERREIRA, M. G. Pollen niche of *Melipona dubia*, *Melipona seminigra* and *Scaptotrigona* sp. (Apidae: Meliponini) kept in indigenous communities of the Sateré Mawé Tribe, Amazonas, Brazil, **Journal of Apicultural Research**, p. 1-17, 2020.

RICHTER, A. F. *et al.* Produtividade e qualidade do morango sob cultivo de solo e semi-hidropônico. **Revista Científica Rural**, v. 20, n. 1, p. 193-203, 2018.

RICKETTS, T. H. *et al.* Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?. **Ecology letters**, v. 11, n. 5, p. 499-515, 2008.

ROEL, A. R. *et al.* Diversidade de Meliponini e demais Apiformes (Apidae sensu lato) em fragmento de Cerrado e entorno, Campo Grande, MS. **Biota Neotropica**, v. 19, 2019.

ROLLIN, O.; GARIBALDI, L. A. Impacts of honeybee density on crop yield: A meta-analysis. **Journal of Applied Ecology**, 56, 1152–1163. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13355>. (2019).

RONQUE, E. R. V. **A cultura do morangueiro**. Curitiba: Emater-Paraná, 1998. 206 p.

ROSELINO, A. C. *et al.* Differences between the quality of strawberries (*Fragaria x ananassa*) pollinated by the stingless bees *Scaptotrigona* aff. *depilis* and *Nannotrigona testaceicornis*. **Genetics and Molecular Biology**. 2009. v. 8, n. 2, p. 539–545.

SANTOS, S. A. B.; ROSELINO, A. N. A. C.; BEGO, L. R. Pollination of cucumber, *Cucumis sativus* L. (Cucurbitales: Cucurbitaceae) Cucurbitaceae), by the stingless bees *Scaptotrigona* aff. *depilis* moure and *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier (Hym enoptera: Meliponini) in greenhouses. **Neotropical Entomology** , v. 37, p. 506 512, 2008.

SARAIVA, A. M. *et al.* *Bombus terrestris* na América do Sul: Possíveis rotas de invasão deste polinizador exótico até o Brasil. Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais. IMPERATRIZ-FONSECA, V. L, p. 203-212, 2012.

SARIDAŞ, M. A. *et al.* Boron Applications and Bee Pollinators Increase Strawberry Yields. **International Journal of Fruit Science**, v. 21, n. 1, p. 481-491, 2021.

SAUNDERS, M. E. Insect pollinators collect pollen from wind-pollinated plants: implications for pollination ecology and sustainable agriculture, **Insect Conserv Divers** 11:13–31, 2018.

SCHEID, L. *et al.* Eficácia de abelhas na polinização de cultivares de morango no sul do Brasil. **LUMINÁRIA**, v. 22, n. 02, 2020.

SCILIGO, A. R.; M'GONIGLE, L. K.; KREMEN, C. Local diversification enhances pollinator visitation to strawberry and may improve pollination and marketability. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, p. 353, 2022.

SENAPATHI, D. *et al.* Wild insect diversity increases inter-annual stability in global crop pollinator communities. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 288, n. 1947, p. 20210212, 2021.

SHARMA, G.; YADAV, A.; THAKUR, M. Studies on growth and flowering attributes of different strawberry cultivars (*Fragaria x ananassa* Duch.) in Himachal Pradesh. **Asian J Adv Basic Sci**, v. 3, n. 1, p. 1-4, 2014.

SHARMA, H. K. *et al.* Insect pollination and relative value of honey bee pollination in strawberry, *Fragaria ananassa* Duch. **International Journal of Farm Sciences**, v. 4, n. 2, p. 177-184, 2014.

SILVA, A. F. *et al.* Comportamento defensivo de abelhas africanizadas na Fazenda Experimental, UFERSA, Mossoró, RN, Brazil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 22, 2012.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, G. R. *et al.* Pollination service of *Nannotrigona testaceicornis* stingless bees in strawberry. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, 2020.

SILVA, J. G. *et al.* Foraging behavior of the small-sized stingless bee *Plebeia* aff. *flavocincta*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 3, p. 484-492, 2019

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R; ALMEIDA, E. A. B. **Abelhas brasileiras, Sistemática e Identificação**, Fundação Araucária, Belo Horizonte, v, 253, 2002.

SLAA, E. J. *et al.* Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. **Apidologie**, v. 37, n. 2, p. 293-315, 2006.

SMITH-RAMÍREZ, C. *et al.* Las razones de por qué Chile debe detener la importación del abejorro comercial *Bombus terrestris* (Linnaeus) y comenzar a controlarlo. **Gayana (Concepción)**, v. 82, n. 2, p. 118-127, 2018.

SPIGLER, R. B.; LEWERS, K. S.; JOHNSON, A. L.; ASHMAN, T. Comparative mapping reveals autosomal origin of sex chromosome in octoploid *Fragaria virginiana*. **Journal of Heredity**, v. 101, p. 107-117, 2010.

SPIGLER, R. B.; LEWERS, K. S.; MAIN D. S.; ASHMAN, T. Genetic mapping of sex determination in a wild strawberry, *Fragaria virginiana*, reveals earliest form of sex chromosome. **Heredity**, v. 101, n. 6, p. 507-517, 2008.

STANLEY, D. A.; MSWELI, S. M.; JOHNSON, S. D. Native honeybees as flower visitors and pollinators in wild plant communities in a biodiversity hotspot, **Ecosphere**, v, 11, n, 2, p, e02957, 2020.

STREINZER, M.; HUBER, W.; SPAETHE, J. Body size limits dim-light foraging activity in stingless bees (Apidae: Meliponini). **Journal of Comparative Physiology A**, v. 202, p. 643-655, 2016.

TAZZO, I. F.; FAGHERAZZI, A. F.; LERIN, S. K.; AIKE, A.; RUFATO, L. 2015. Exigência térmica de duas seleções e quatro cultivares de morangueiro cultivado no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Fruticultura** 37: 550- 558.

THOMPSON, P. A. Environmental effects on pollination and receptacle development in strawberry. **J. Hortic. Sci.**, v.46, p.1-12, 1971.

TRILLO, A. *et al.* Montserrat. Managed bumble bees increase flower visitation but not fruit weight in polytunnel strawberry crops. **Basic and Applied Ecology**, v. 30, p. 32-40, 2018.

TRILLO, A.; HERRERA, J. M.; VILÀ, M. Managed bumble bees increase flower visitation but not fruit weight in polytunnel strawberry crops. **Basic and Applied Ecology**, v. 30, p. 32-40, 2018.

TUELL, J. K.; ISAACS, R. Weather during bloom affects pollination and yield of highbush blueberry. **Journal of economic entomology**, v. 103, n. 3, p. 557-562, 2010.

TUOHIMETSÄ, S. *et al.* Fruit development in artificially self-and cross-pollinated strawberries (*Fragaria* × *ananassa*) and raspberries (*Rubus idaeus*). **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B Soil & Plant Science**, v. 64, n. 5, p. 408-415, 2014.

VAUGHAN, J.; GEISSLER, C. **The new Oxford book of food plants**. OUP Oxford, 1997.

- VALE, K. A. G. *et al.* Evidences of high genetic differentiation among populations of the stingless bee *Scaptotrigona depilis* (Moure, 1942) in Piauí, Brazil. **Bee World**, v. 98, n. 3, p. 83-88, 2021.
- VANBERGEN, A. J. The Insect Pollinators Initiative. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 11, 251–259, 2013.
- VAUGHAN, J.; GEISSLER, C. **The new Oxford book of food plants**. OUP Oxford, 1997.
- VELTHUIS, H. H.W.; VAN DOORN, A. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. **Apidologie**, v. 37, n. 4, p. 421-451, 2006.
- VENTURIERI, G. C. *et al.* Meliponicultura no Brasil: situação atual e perspectivas futuras para o uso na polinização agrícola. **Polinizadores no Brasil-contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. EDUSP, São Paulo, p. 213-236, 2012.
- VERGARA, C. H.; FONSECA-BUENDÍA, P. Pollination of greenhouse tomatoes by the Mexican bumblebee *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Pollination Ecology**, v. 7, 2012.
- WIETZKE, A. *et al.* Insect pollination as a key factor for strawberry physiology and marketable fruit quality. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 258, p. 197-204, 2018.
- WILLMER, P. A. T. Pollination and floral ecology. In: **Pollination and floral ecology**. Princeton University Press, 2011.
- WINFREE, R. *et al.* Abundance of common species, not species richness, drives delivery of a real-world ecosystem service. **Ecology letters**, 18(7), 626-635, 2015.
- WINFREE, R. W. *et al.* Abundance of common species, not species richness, drives delivery of a real-world ecosystem service. **Ecology letters**, 18(7), 626-635. 2015.
- WITTER, S. *et al.* **As abelhas e a agricultura**. Porto Alegre: Edipucrs, 2014. 141 p.
- WITTER, S. *et al.* Desempenho de cultivares de morango submetidas a diferentes tipos de polinização em cultivo protegido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p.58-65, jan. 2012.
- WOITOWICZ, F. C. G. **Comunidade e redes de interações de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) visitantes florais do morango (*Fragaria x ananassa* Duchene) no norte catarinense e sul paranaense**. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste e Universidade Estadual de Ponta Grossa, Guarapuava.
- ZAITOUN, S.T. *et al.* Comparative study on the pollination of strawberry by bumble bees and honeybees under plastic house conditions in Jordan valley. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 4, n. 2, p. 237, 2006.

ZAPATA, I. I. *et al.* Efecto de la polinización de la fresa por *Apis mellifera* L. y *Chrysoperla carnea* S. sobre la calidad de los frutos. **Nova scientia**, v. 7, n. 13, p. 85-100, 2014.

ZEBROWSKA, J. Influence of pollination medes on yield components in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Plant Breeding**, v.17, p.255-260, 1998.

ZEIST, A. R.; RESENDE, J.T.V. Strawberry breeding in Brazil: current momentum and perspectives. **Horticultura Brasileira** 37: 007-016. 2019.

ZINI, L. M.; GALATI, B. G.; CARRERA, C. S. High temperatures during late floral bud stages decrease fertilization in strawberry (*Fragaria x ananassa*): pollen-pistil interaction and anatomical evidences. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, n. just-accepted, p. 1-20, 2023.

ZUCCHI, R.; SAKAGAMI, S.; CRUZ-LANDIM, C. Capacidade termoreguladora em *Trigona spinipes* e em algumas outras espécies de abelhas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae), Homenagem à WE Kerr, p, 301-309, 1972.

ЗҮЙ, С. А. *et al.* Таримал гүзээлзгэнэ (*Fragaria*× *Ananassa*)-ний бүтээгдэхүүнт чанарт балт зөгий (*Apis mellifera* L.)-н тоос хүртээлтийн нөлөө.

		$Pmc \times Pr = 0,00594$	Sim
Período de maturação (Dias)	$H_{k-w} = 26,773$ $P = 1,536e-06$	$Pl \times Pmc = 0,15$	Não
		$Pl \times Pr = 1,3e-05$	Sim
		$Pmc \times Pr = 7,6e-05$	Sim
Taxa de fecundação (%)	$H_{k-w} = 39,362$ $P = 2,836e-09$	$Pl \times Pmc = 2,4e-06$	Sim
		$Pl \times Pr = 6,3e-08$	Sim
		$Pmc \times Pr = 0,04$	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor.

Material suplementar 3

Tabela 2- Dados qualitativos pelo teste de Kruskal-Wallis e Comparação de medianas de Wilcoxon dos tratamentos, Polinização Livre (*Pl*), Polinização Restrita (*Pr*) e Polinização Manual Cruzada (*Pmc*) e suas respectivas diferenças, em flores do morangueiro (*Fragaria x ananassa*). Em Tianguá-CE, 2021.

Kruskall-Wallis	Variáveis Qualitativas/ Deformação	Comparação (Wilcoxon)	Diferentes
H _{k-w} = 23,893 P=6,482e-06	Bem formado	Pl X Pmc = 0,18102	Não
		Pl X Pr = 1,3e-06	Sim
		Pmc X Pr = 0,00058	Sim
H _{k-w} = 12 P=0,002479	Regular	Pl X Pmc = 0,220	Não
		Pl X Pr = 0,186	Não
		PmcX Pr = 0,004	Sim
H _{k-w} = 1,5 P=0,4724	Deformado	Pl X Pmc = ---	Não
		Pl X Pr = ---	Não
		Pmc X Pr = ---	Não
H _{k-w} = 17,108 P=0,0001928	Muito deformado	Pl X Pmc= 1,0000	Não
		Pl X Pr = 0,0022	Sim
		Pmc X Pr = 0,0037	Sim
Local de deformação			
H _{k-w} = 3,9474 P=0,1389	Ápice	Pl X Pmc= ---	Não
		Pl X Pr = ---	Não
		PmcX Pr = ---	Não
H _{k-w} = 6 P=0,04979	Lateral	Pl X Pmc= 0,285	Não
		Pl X Pr = 0,076	Não
		PmcX Pr = 0,562	Não
H _{k-w} = 7,98 P=0,0185	Base	Pl X Pmc= 0,495	Não
		Pl X Pr = 0,034	Sim
		PmcX Pr = 0,201	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

Material suplementar 4

Tabela 9- Dados quantitativos pelo teste de Kruskal-Wallis e Comparação de medianas de Wilcoxon na polinização manual cruzado por dia de antese no morango (*Fragaria x ananassa*), em Tianguá-CE-2021.

Variáveis Quantitativas	Kruskall-Wallis	Testes	
		Comparação (Wilcoxon)	Diferentes
Peso fresco (g)	$H_{k-w} = 26,106$ $P=9,06e-06$	D1 x D2= 6,6e-06	Sim
		D1 x D3= 0,0697	Não
		D1 x D4= 0,0856	Não
		D2 x D3= 0,0085	Sim
		D2 x D4= 0,0085	Sim
		D3 x D4= 0,9234	Não
Comprimento do fruto (cm)	$H_{k-w} = 29,33$ $P=1,909e-06$	D1 x D2= 3,6e-06	Sim
		D1 x D3= 0,0137	Sim
		D1 x D4= 0,0339	Sim
		D2 x D3= 0,0044	Sim
		D2 x D4= 0,0137	Sim
		D3 x D4= 0,8302	Não
Diâmetro equatorial maior (cm)	$H_{k-w} = 15,876$ P= 0,001202	D1 x D2= 0,00052	Sim
		D1 x D3= 0,38325	Não
		D1 x D4= 0,38325	Não
		D2 x D3= 0,05261	Não
		D2 x D4= 0,08268	Não
		D3 x D4= 0,88245	Não
Diâmetro equatorial menor (cm)	$H_{k-w} = 18,126$ $P=0,0004142$	D1 x D2= 0,0005	Sim
		D1 x D3= 0,4935	Não
		D1 x D4= 0,8237	Não
		D2 x D3= 0,0291	Sim
		D2 x D4= 0,0076	Sim
		D3 x D4= 0,8237	Não
Aquênios total (N°)	$H_{k-w} = 23,518$ $P=3,149e-05$	D1 x D2= 3,9e-05	Sim
		D1 x D3= 0,022	Sim
		D1 x D4= 0,248	Não
		D2 x D3= 0,055	Não
		D2 x D4= 0,012	Sim
		D3 x D4= 0,252	Não
Aquênios flutuantes (N°)	$H_{k-w} = 19,672$ $P=0,0001985$	D1 x D2= 0,00041	Sim
		D1 x D3= 0,10217	Não
		D1 x D4= 0,30755	Não
		D2 x D3= 0,14775	Não
		D2 x D4= 0,00439	Sim
		D3 x D4= 0,30725	Não

Açúcares totais (Brix°)	$H_{k-w} = 20,253$ $P=0,0001504$	D1 x D2= 0,0002	Sim
		D1 x D3= 0,3773	Não
		D1 x D4= 0,2972	Não
		D2 x D3= 0,0028	Sim
		D2 x D4= 0,0494	Sim
		D3 x D4= 0,6306	Não
Dias P/amadurecimento (Dias)	$H_{k-w} = 6,2703$ $P=0,09917$	D1 x D2= -----	Não
		D1 x D3= -----	Não
		D1 x D4= -----	Não
		D2 x D3= -----	Não
		D2 x D4= -----	Não
		D3 x D4= -----	Não
Taxa de fecundação (%)	$H_{k-w} = 9,7711$ $P=0,02062$	D1 x D2= 0,014	Sim
		D1 x D3= 0,375	Não
		D1 x D4= 0,868	Não
		D2 x D3= 0,695	Não
		D2 x D4= 0,137	Não
		D3 x D4= 0,686	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

Material suplementar 5

Tabela 9- Dados quantitativos pelo teste de Kruskal-Wallis e Comparação de medianas de Wilcoxon na polinização livre por dia de antese no morango (*Fragaria x ananassa*), em Tianguá-CE-2021.

Variáveis		Testes	
Quantitativas	Kruskall-Wallis	Comparação (Wilcoxon)	Diferentes
Peso fresco (g)	$H_{k-w} = 8,0356$ $P=0,04528$	D1 x D2= 0,824	Não
		D1 x D3= 0,733	Não
		D1 x D4= 0,733	Não
		D2 x D3= 0,824	Não
		D2 x D4= 0,214	Não
		D3 x D4= 0,042	Sim
Comprimento do fruto (cm)	$H_{k-w} = 8,5918$ $P= 0,03524$	D1 x D2= 0,702	Não
		D1 x D3= 0, 278	Não
		D1 x D4= 0,758	Não
		D2 x D3= 0,758	Não
		D2 x D4= 0,278	Não
		D3 x D4= 0,047	Sim
Diâmetro equatorial maior (cm)	$H_{k-w}=4,8500$ $P= 0,1831$	D1 x D2= -----	Não
		D1 x D3= -----	Não
		D1 x D4= -----	Não
		D2 x D3= -----	Não
		D2 x D4= -----	Não
		D3 x D4= -----	Não

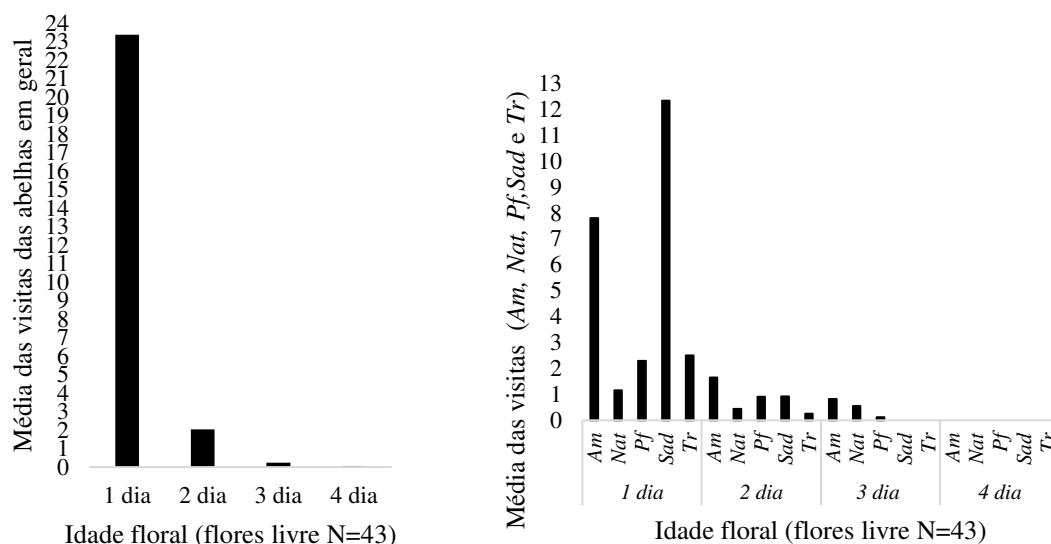
		D3 x D4= -----	Não
		D1 x D2= -----	Não
		D1 x D3= -----	Não
		D1 x D4= -----	Não
		D2 x D3= -----	Não
		D2 x D4= -----	Não
		D3 x D4= -----	Não
		D1 x D2= 0,703	Não
		D1 x D3= 0,634	Não
		D1 x D4= 0,589	Não
		D2 x D3= 0,703	Não
		D2 x D4= 0,708	Não
		D3 x D4= 0,031	Sim
		D1 x D2= 0,37	Não
		D1 x D3= 0,28	Não
		D1 x D4= 1,00	Não
		D2 x D3= 1,00	Não
		D2 x D4= 0,14	Não
		D3 x D4= 0,13	Não
		D1 x D2= -----	Não
		D1 x D3= -----	Não
		D1 x D4= -----	Não
		D2 x D3= -----	Não
		D2 x D4= -----	Não
		D3 x D4= -----	Não
		D1 x D2= -----	Não
		D1 x D3= -----	Não
		D1 x D4= -----	Não
		D2 x D3= -----	Não
		D2 x D4= -----	Não
		D3 x D4= -----	Não
		D1 x D2= -----	Não
		D1 x D3= -----	Não
		D1 x D4= -----	Não
		D2 x D3= -----	Não
		D2 x D4= -----	Não
		D3 x D4= -----	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE B - MATERIAL SUPLEMENTAR (CAPÍTULO II)

Material suplementar 1

Figura 1: Visitações das abelhas de forma geral (A) e as abelhas: *S. aff. depilis* (Sad), *T. recursa*, (Tr) *P. flavocincta* (Pf), *A. mellifera* (Am), *N. aff. testaceicornis* (Nat) (B) durante o florescimento. Em Tianguá-CE. 2021.



Material suplementar 2

Tabela 1 - Teste de receptividade estigmática por idade floral da cultivar San Andreas. Em Tianguá-CE. 2021.

Receptividade estigmática	Tratamento (Idade floral)			
	1 dia	2 dia	3 dia	4 dia
Completa (base, laterais e ápice) (%)	43	90	100	100
Base e laterais (%)	57	10	0	0
Total por coluna (%)	100	100	100	100
Nº de flores avaliadas	20	20	20	20

Fonte: Elaborado pelo autor.

Material suplementar 3

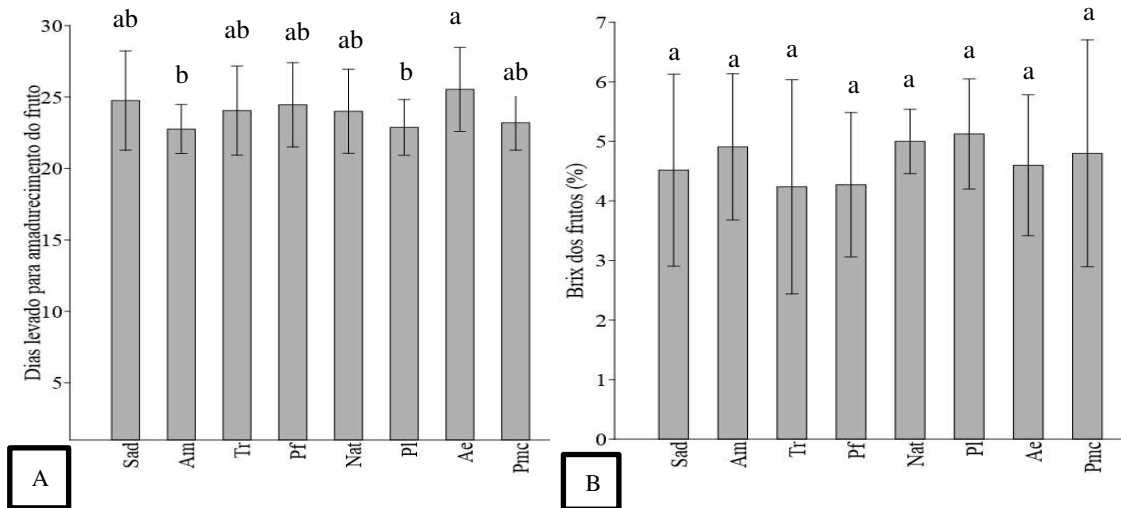
Tabela 2- Taxa de vingamento dos frutos para os tratamentos de polinização, no município de Tianguá-CE, 2021.

Espécies	Nº de Repetições	Nº de Frutos vingados e não vingados		Taxa de vingamento (%)
<i>Tratamentos</i>		Vingados	Não vingados	H = 101.6832 p-valor < 0.01
<i>Scaptotrigona</i> aff. <i>depilis</i>	30	28	2	93 b
<i>Apis mellifera</i>	33	33	0	100 b
<i>Trigona recursa</i>	24	19	5	79 b
<i>Plebeia flavocincta</i>	13	11	2	85 b
<i>Nannotrigona</i> aff. <i>testaceicornis</i>	13	13	0	100 b
Polinização Livre	40	40	0	100 b
Auto polinização espontânea	44	15	29	34 a
Polinização manual cruzado	30	30	0	100 b

H = 101.6832
p-valor < 0.01

Material suplementar 4

Figura 2- Média e desvio padrão das variáveis dias levados para amadurecimento (A) e brix dos frutos nos tratamentos (B): *Scaptotrigona* aff. *depilis* (Sad), *Apis mellifera* (Am), *Trigona recursa* (Tr), *Plebeia flavocincta* (Pf), *Nannotrigona* aff. *testaceicornis* (Nat), Polinização livre (Pl), Autopolinização espontânea (Ape/Ae) e Polinização manual cruzado (Pmc) Tianguá, CE, 2021.



APÊNDICE C - MATERIAL SUPLEMENTAR (CAPÍTULO III)

Material suplementar 1

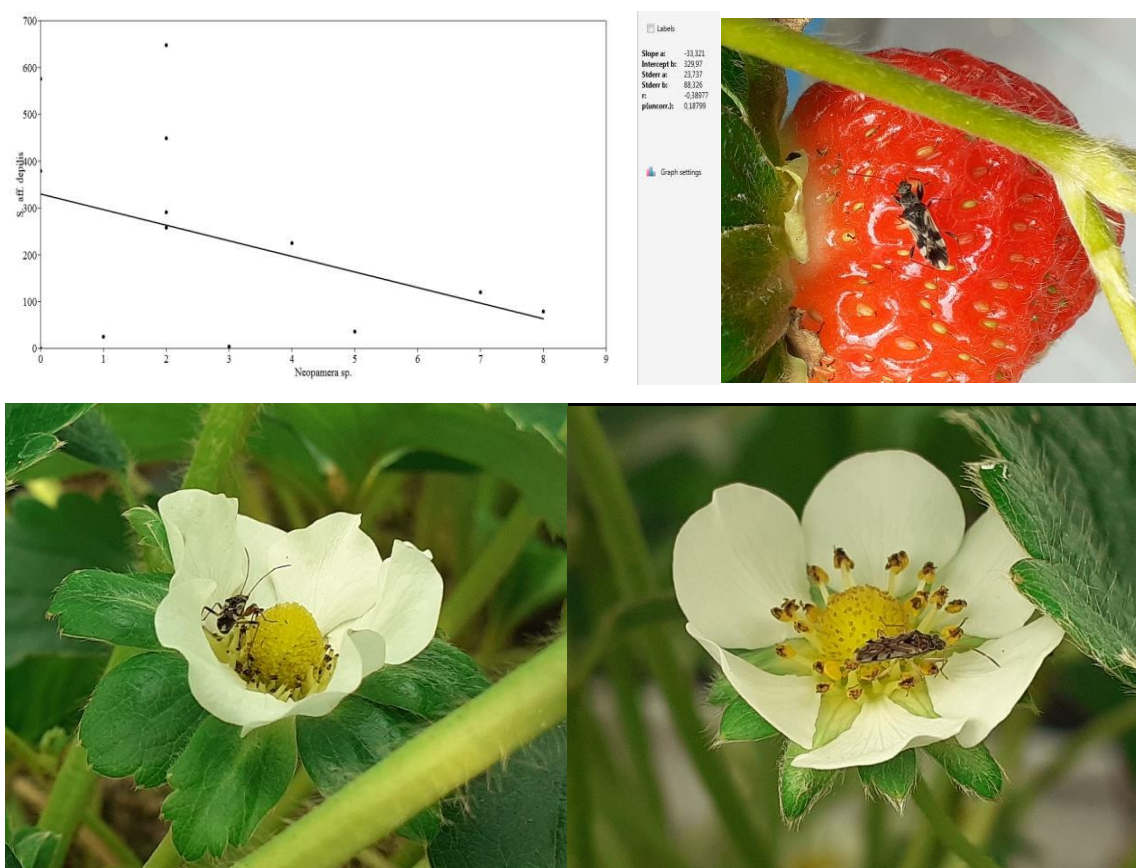
Tabela 1 – Classificação do Mercado Comum do Sul- MERCOSUL (2021) e Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango- PBMH e PIMO (2009).

Classificação MERCOSUL (2021)		Classificação PBMH e PIMO (2009)	
Calibres	Diâmetro equatorial maior (mm)	Classes	Diâmetro equatorial maior (mm)
1	Menor que 20	Sem classe	< ou =15
2	Entre 20 e 30	15	de 15 até 35
3	Maior que 30	35	Maior que 35

Fonte: Elaborado pelo autor com base no Mercosul e PBMH e PIMO.

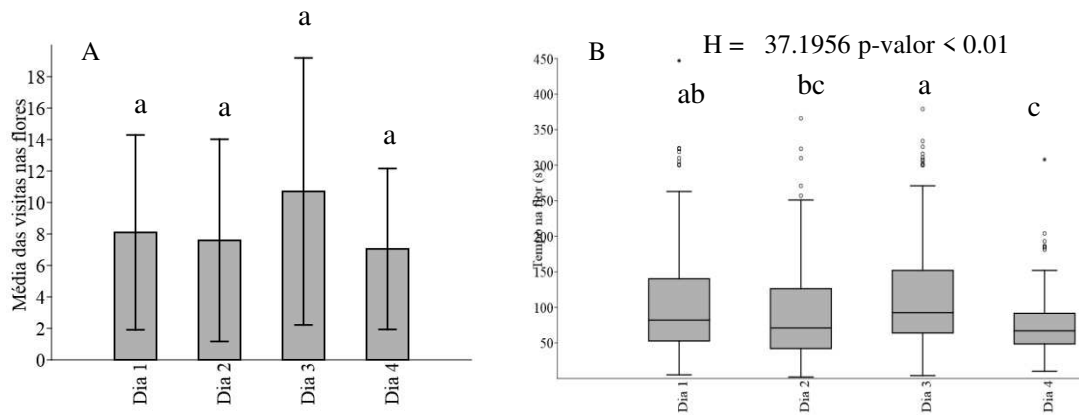
Material suplementar 2

Figura 1- Correlação de Pearson para frequência das *Scaptotrigona* aff. *depilis* sobre a principal praga de importância do morangueiro *Neopamera* sp. (percevejo) em flores do morangueiro (A), percevejo visitando e sugando o fruto (B) a flor do morangueiro para coletar néctar (CD), em Tianguá-CE, 2021.



Material suplementar 3

Figura 2- Médias e desvio padrão das visitas das *S. aff. depilis* nas flores (A) e mediana, primeiro e terceiro quartil do tempo (s) de permanência por idade floral (B).

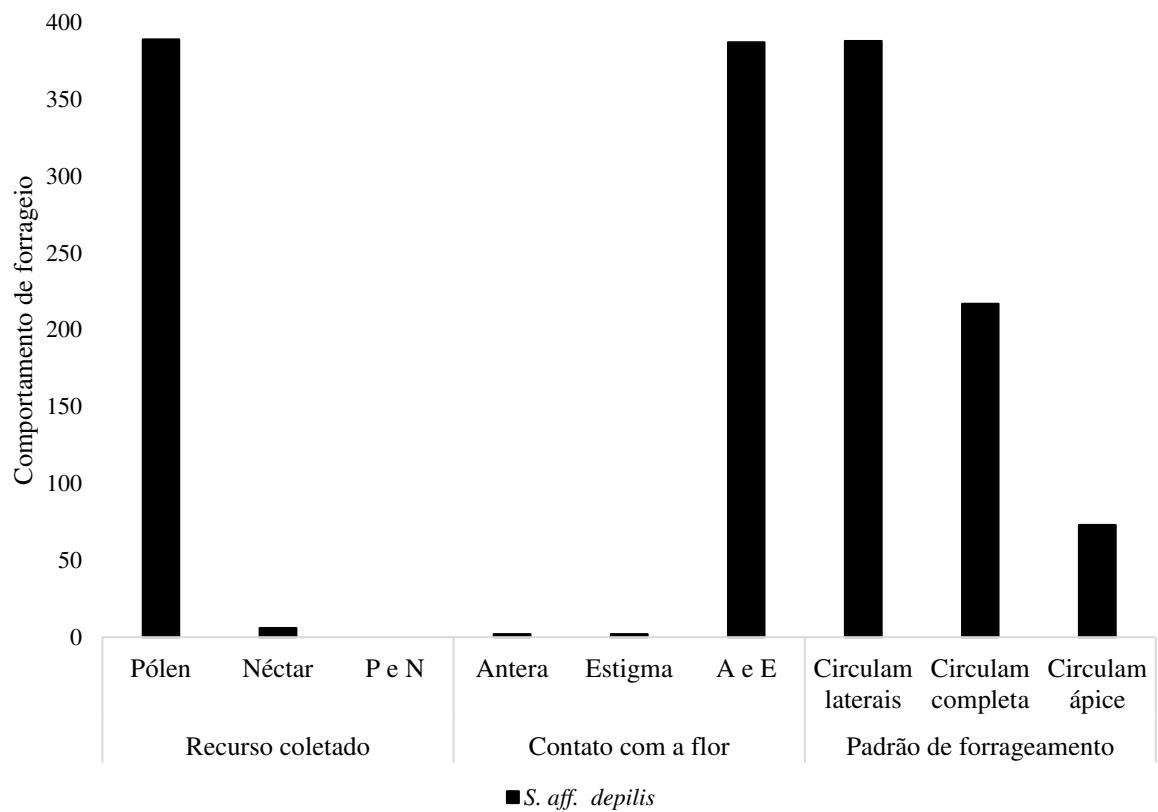


A= Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas barras não há diferença estatisticamente ao teste de tukey $p=0,05$.

B= Teste de Kruskal-Wallis e teste de comparações múltiplas entre os dias

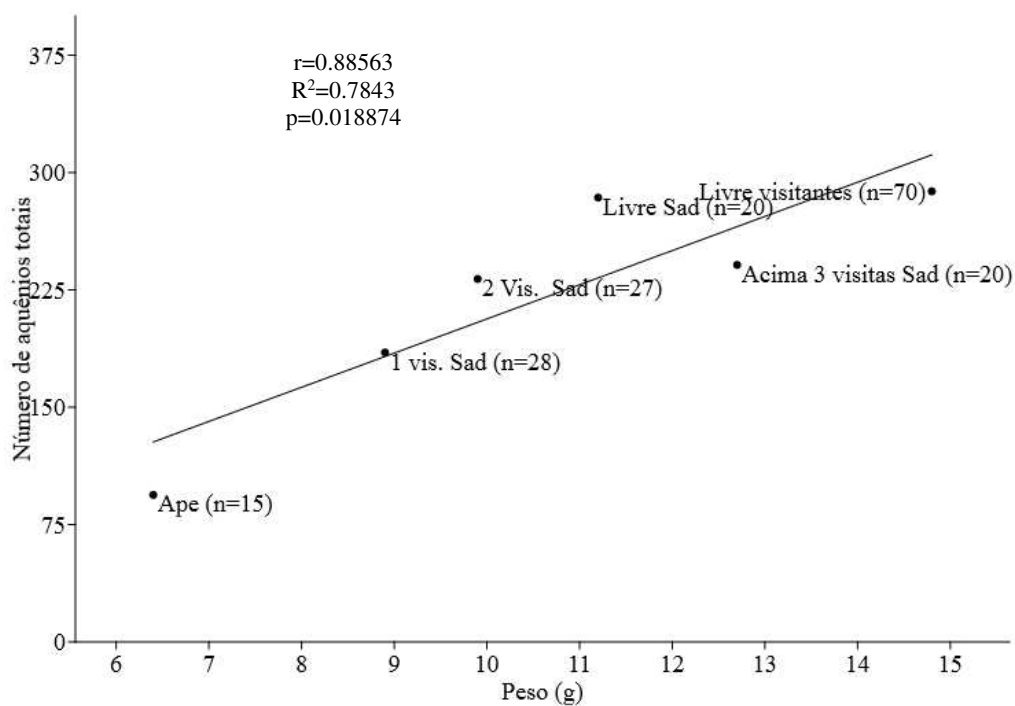
Material suplementar 4

Figura 3- Comportamento de forrageio para as abelhas *S. aff. depilis*: Recurso coletado (pólen, néctar e P e N= Pólen e Néctar) Contato com os órgãos reprodutivos da flor (antera, estigma e A e E= Antera e Estigma) e padrão de deslocamento no plantio de morangueiro da cultivar San Andreas. Em Tianguá-CE. 2021.



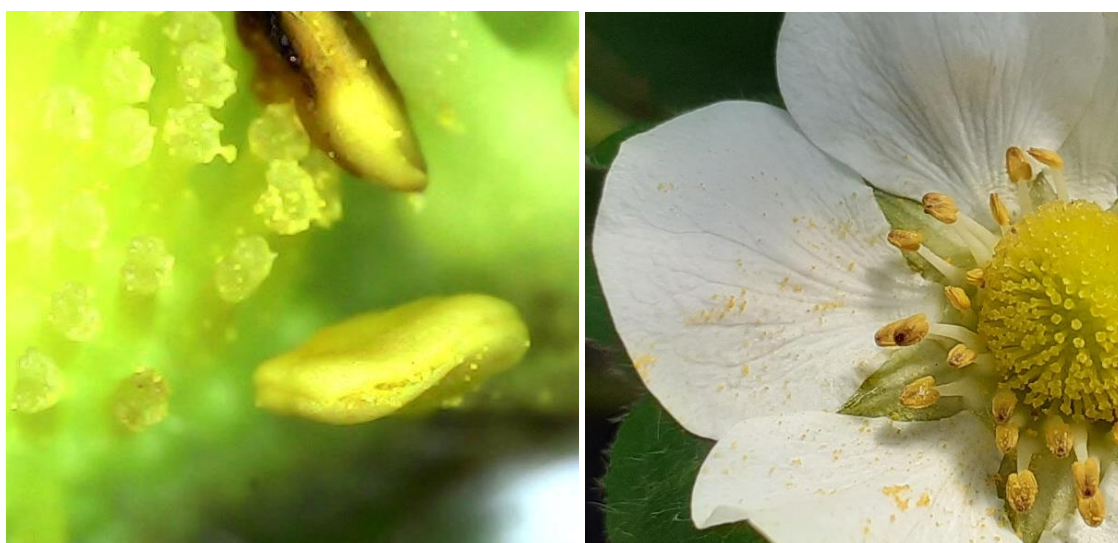
Material suplementar 5

Figura 4- Correlação e regressão entre o número de aquênios totais sobre o peso de morango, entre os tratamentos: Auto polinização espontânea (Ape), uma visita de *Scaptotrigona* aff. *depilis* (1 Sad), duas visitas *S. aff. depilis* (2 Sad), acima de três visitas de *S. aff. depilis* (> Sad), livre apenas de *S. aff. depilis* (Livre Sad) e livre com os visitantes geral (Livre geral). Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.



Material suplementar 6

Figura 5- Deiscência das anteras e quantidades de grãos de pólen sobre os pistilos (A), flor de segundo para terceiro dia de florescimento e pólen sobre as pétalas e pistilos (B).



Material suplementar 7

Figura 6- Correlação e regressão entre o número de aquênios totais sobre frutos com valor comercial, entre os tratamentos: Auto polinização espontânea (Ape), uma visita de *S. aff. depilis* (1 Sad), duas visitas *S. aff. depilis* (2 Sad), acima de três visitas de *S. aff. depilis* (> Sad), livre de apenas de *S. aff. depilis* (Livre Sad) e livre com os visitantes geral (Livre geral). Na variedade San Andreas, em Tianguá-CE, 2021.

