



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERBAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA



Fernanda Fernandes da Silva

**PANORAMA SOBRE A INFLUÊNCIA DA POLINIZAÇÃO E ASPECTOS DA
VEGETAÇÃO NATIVA NA PRODUÇÃO DO TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.
Solanaceae)**

Recife-PE

Fevereiro de 2020

FERNANDA FERNANDES DA SILVA

**PANORAMA SOBRE A INFLUÊNCIA DA POLINIZAÇÃO E ASPECTOS DA VEGETAÇÃO
NATIVA NA PRODUÇÃO DO TOMATE (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae)**

Dissertação apresentada para a obtenção do título de mestre do Programa de Pós-Graduação em Botânica (UFRPE) como um dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Botânica.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Cibele Cardoso de Castro

CO-ORIENTADORES: Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza
e Prof. Dr. Natan Messias de Almeida

Recife-PE

Fevereiro de 2020

FERNANDA FERNANDES DA SILVA

Panorama sobre a influência da polinização e aspectos da vegetação nativa na produção do tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae)

Dissertação defendida em: __/__/__

Presidente da Banca/Orientadora:

Dra. Cibele Cardoso de Castro

Examinadores:

Titulares:

Dra. Ana Virgínia de Lima Leite (UFRPE)

Dr. Reinaldo Rodrigo Novo (INPE)

Suplente:

Dr. Marcelo Oliveira Milfont (UFAPE)

Recife-PE

Fevereiro de 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586p

Silva , Fernanda Fernandes da
Panorama sobre a influência da polinização e aspectos da vegetação nativa na produção do tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) / Fernanda Fernandes da Silva . - 2021.
55 f.

Orientadora: Cibele Cardoso de .
Coorientador: Natan Messias de Almeida.
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Recife, 2022.

1. Abelhas. 2. Polinização por vibração. 3. Polinização de culturas . 4. Rendimento de culturas . 5. Vegetais . I. , Cibele Cardoso de, orient. II. Almeida, Natan Messias de, coorient. III. Título

CDD 581

Dedico aos meus pais, que me apoiaram desde o início e confiaram na minha vontade de fazer ciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e essa força divina que sempre me mantém determinada para realizar meus objetivos.

Aos meus pais por todo apoio durante esses dois anos.

À minha orientadora maravilhosa Cibele Cardoso de Castro pela paciência, orientação e ensinamentos compartilhados comigo durante esse percurso, e aos meus co-orientadores Jefferson Thiago Souza e Natan Messias de Almeida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo apoio institucional e disponibilidade em auxiliar neste processo.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por conceder a bolsa de mestrado para a realização desse trabalho.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro concedido fornecido a CCC (auxílio à pesquisa: 428303/2018-8; bolsa de produtividade: 309668/2018-2).

Aos meus colegas de mestrado, companheiros de vida acadêmica e companheiros também fora dela: Bruna, Carol e Marlos.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO GERAL	10
2.1 Polinização na agricultura	12
2.2 Paisagens naturais e produção	14
2.3 Aspectos gerais da cultura do tomate e relação entre polinização e produção	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
Resumo	31
Introduction	32
Results.....	34
Discussion.....	36
References	40
APÊNDICE 1	54

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Percentual de estudos sobre a polinização do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) e sua influência na produção conduzida ao longo das décadas e em diferentes ambientes. Fechado: estufas; Aberto: plantações abertas; Ambos: ambas as situações. Os números nas barras indicam o número de estudos.....53
- Figura 2.** Locais de estudo amostrados em estudos de polinização de tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) e sua influência na produção.....53
- Figura 3.** Porcentagens de famílias e gêneros de abelhas, seus tamanhos e capacidade de vibração durante visitas florais (polinização por vibração) registradas em estudos de polinização de tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae). L: grande; M: médio; S: pequeno; Sim: tem a capacidade de vibrar durante uma visita; Não: não tem a capacidade de vibrar durante as visitas. Os números nas barras indicam o número de estudos.....54
- Figura 4.** Regressões lineares para número de gêneros de visitantes florais (AB), número de espécies de visitantes florais (CD) e produção de frutos após polinização natural (EF) em lavouras de tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) em função dos tamanhos (ha) e distâncias de fragmentos (m) de vegetação nativa localizados em um raio de 500m das plantações.....55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Espécies de abelhas citadas em estudos de polinização de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L., Solanaceae), classificadas em grande (L), médio (M) ou pequeno (S) e seu comportamento vibratório (V: vibrar durante as visitas; NV: não vibra)	56
--	----

RESUMO

Introdução: A polinização por tomate é melhorada pelas abelhas, mesmo sendo uma planta que se autopoliniza e essa polinização pode ainda ser favorecida pela vegetação nativa em paisagens agrícolas. Sintetizamos dados globais sobre a polinização do tomate e sua influência na produção a fim de identificar o foco dos estudos, seus principais resultados e lacunas de conhecimento. Além disso, testamos se a vegetação nativa em torno das plantações abertas explica a polinização e a produção.

Resultados: A maioria dos estudos foi realizada na década de 2000 e em regiões tropicais. Os tópicos incluíram a influência de um polinizador específico na produção, comparação da produção entre a polinização natural e vários experimentos reprodutivos e estimativas de déficit de polinização. Foram citadas 50 espécies de abelhas distribuídas em 22 gêneros e três famílias, das quais 82% realizam polinização por vibração. *Melipona* e *Bombus* foram as abelhas mais usadas no manejo de polinizadores. Em geral, a polinização por abelhas melhorou a produção em comparação com os outros experimentos. A vegetação nativa não explica a riqueza de espécies e gêneros, nem a frutificação.

Conclusões: O melhor desempenho das abelhas zumbidoras em relação aos demais polinizadores confirma a tendência observada nas lavouras de Solanaceae. A alta diversidade de polinizadores e o melhor desempenho da polinização natural destacam a importância da diversidade funcional para o rendimento das culturas. A não correlação entre vegetação nativa com polinização e produção parece ser resultado do pequeno tamanho da amostra. Algumas lacunas importantes de conhecimento identificadas foram a eficiência da polinização de abelhas nativas em plantações abertas, a influência dos polinizadores nas propriedades químicas dos frutos e avaliar aspectos da qualidade da vegetação nativa e sua influência na polinização e produção.

Palavras-chave: abelhas, polinização por vibração, polinização de culturas, rendimento de culturas, vegetais.

ABSTRACT

Background: Tomato pollination is improved by bees, even though it is a self-pollinating plant and this pollination can still be favored by native vegetation in agricultural landscapes. We synthesize global data on tomato pollination and its influence on production in order to identify the focus of the studies, their main results and knowledge gaps. In addition, we tested whether the native vegetation around open plantations explains pollination and production.

Results: Most studies were carried out in the 2000s and in tropical regions. Topics included the influence of a specific pollinator on production, comparison of production between natural pollination and various reproductive experiments and pollination deficit estimates. Fifty bee species distributed in 22 genera and three families were cited, 82% of which pollinate by vibration pollination. *Melipona* and *Bombus* were the most used bees in the management of pollinators. In general, bee pollination has improved production compared to other experiments. Native vegetation does not explain the richness of species and genera, nor does it bear fruit.

Conclusions: The better performance of the buzzing bees in relation to the other pollinators confirms the trend observed in the Solanaceae crops. The high diversity of pollinators and the best performance of natural pollination highlight the importance of functional diversity for crop yields. The non-correlation between native vegetation with pollination and production seems to be a result of the small sample size. Some important knowledge gaps identified were the efficiency of pollination of native bees in open plantations, the influence of pollinators on the chemical properties of fruits and to evaluate aspects of the quality of native vegetation and their influence on pollination and production.

Key words: bees, buzz pollination, crop pollination, crop yield, vegetables.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A polinização por animais proporciona a reprodução da maioria das plantas com flores, permitindo a produção de frutos e sementes (OLLERTON et al, 2011). As abelhas são os principais polinizadores, e tem igual importância na polinização agrícola (RECH et al., 2014). A maioria dos cultivos apresenta algum grau de dependência pelos polinizadores, e a polinização influencia positivamente aspectos quantitativos e qualitativos da produção, tais como número, tamanho, peso e composição química de frutos e sementes, dentre outros (BARTELLI; NOGUEIRA, 2014; KLATT et al., 2014; RAFIQUE et al., 2016). A deficiência de polinização pode gerar grande perda econômica, estimada em 43 bilhões de dólares anuais para o mundo (LAUTENBACH, 2019) e 12 bilhões de dólares por ano para o Brasil (GIANINNI et al., 2015; WOLOWSKI et al., 2019). Considerando que cada cultura possui requerimentos reprodutivos que interagem com as condições de campo (FREITAS et al., 2016), é necessário investigar a relação entre polinização e produção em diferentes escalas e condições edafoclimáticas, incluindo nas análises fatores ambientais, como as paisagens naturais, que sabidamente afetam a disponibilidade de polinizadores (MOREIRA; BOLOSCO; VIANA, 2015; NEMÉSIO et al., 2016).

Apesar de tão importantes, os polinizadores estão ameaçados mundialmente, colocando também em risco a produção agrícola e a segurança alimentar global (ELLIS; MYERS; RICKETTS, 2015). Dentre as ameaças aos polinizadores destacam-se a redução e a alteração de habitats, que causam aquecimento global e diversos desequilíbrios ecológicos, como o aumento de espécies invasoras e de patógenos; o uso indiscriminado de pesticidas também afetam suas populações (POTTS et al. 2010). A redução de habitats constitui um problema porque áreas de vegetação possuem maior diversidade de habitats do que os plantios agrícolas, constituindo importantes sítios de alimentação, abrigo e nidificação, garantindo a sobrevivência dos mesmos, especialmente em épocas em que as culturas agrícolas da paisagem não estão florescendo (GARIBALDI et al., 2016; FIJEN et al., 2019). Por estas razões, as áreas de vegetação nativas em paisagens agrícolas tendem a melhorar a produção em quantidade e qualidade (FRANCESCHINELLI et al., 2017; HIPÓLITO; BOSCOLO; VIANA, 2018).

As hortaliças são exemplos de culturas agrícolas amplamente comercializadas que são beneficiadas pela polinização por insetos (DEPRÁ et al., 2014; OLIVEIRA; NICODEMO; DE OLIVEIRA, 2015). Dentre as hortaliças destaca-se o tomate, consumido mundialmente, cuja produção anual no mundo atinge quase 180 milhões de toneladas e movimenta cerca de 14 bilhões de dólares por ano (FAO, 2017). O Brasil é o nono produtor mundial de tomate, sendo

o primeiro da América Latina (CONAB, 2019). Possui uma produção anual de 4,2 milhões de toneladas, o que movimenta anualmente quase um bilhão de dólares por ano sendo, dentre as culturas brasileiras, a que apresenta o maior valor de produção (GIANNINI et al., 2015). Um estudo recente estimou que, com as mudanças climáticas em curso, poderá haver uma perda de 25% na ocorrência de polinizadores no cultivo de tomate para o Brasil em 2050 (GIANNINI et al, 2017), o que certamente impactará sua produção econômica que movimenta o valor de quase 1 bilhão de dólares (GIANNINI ET AL., 2015).

O tomate possui flores com características que demandam comportamento específico de polinização, porém consegue se autopolinizar o que o torna dependente moderado pelos polinizadores (WOLOWSKI et al., 2019), mas sua produção é beneficiada com a ação deste grupo específico de polinizadores que realizam essa polinização por vibração (BUCHMANN; HURLEY 1978; FONTES; SILVA, 2002).

Diante disso estudos mostram que os polinizadores proporcionam maior número de frutos e sementes para a cultura do tomate (JUNQUEIRA; AUGUSTO, 2017), e melhores propriedades físico-químicas do fruto quando comparados com a polinização pelo vento, ou seja, a vibração realizada pelas abelhas é mais eficiente que a vibração realizada pelo vento (BASHIR et al. 2018). Segundo YANKIT et al. (2016), cultivos protegidos sem a presença de polinizadores tem uma baixa qualidade quando comparado com cultivos que possuem polinizadores que vibram durante a visita, o que demonstra novamente a eficiência dessa vibração pelas abelhas. Tais polinizadores são, especialmente, abelhas dos gêneros *Bombus*, *Xylocopa* e *Melipona* (SILVA-NETO et al., 2017).

Apesar da grande importância econômica do tomate no mundo e dos benefícios que polinizadores trazem para a produção, não há estudos que sintetizem o conhecimento da relação entre polinização e produção, nem estudos que tenham abordado a influência da vegetação nativa sobre a produção do tomate. Nesta dissertação, por meio de um levantamento sistemático, reunimos e analisamos o conhecimento que se tem sobre a polinização do tomate e sua influência na produção. Os resultados aqui apresentados são essencialmente descritivos, e buscou-se analisar estatisticamente por meio de uma meta análise. A partir dos estudos retornados investigamos também a relação entre cobertura e distância de fragmentos de vegetação nativa no entorno dos cultivos com a riqueza de espécies e de gêneros de polinizadores, bem como com a produção.

Entendemos que este estudo é de grande relevância para a identificação de grupos de polinizadores mais importantes, direcionando ações de manejo e conservação destes animais. Adicionalmente, os dados relacionados à vegetação agrícola no entorno dos cultivos podem

nortear o planejamento da ocupação das paisagens agrícolas pela cultura do tomate e de outras Solanaceae cultivadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Polinização na agricultura

Os polinizadores são componentes-chave para a biodiversidade, sendo inúmeros os benefícios que a polinização por animais traz para as culturas agrícolas. As visitas às flores contribuem para uma eficiente reprodução da flor e fertilização dos óvulos, melhorando a quantidade e a qualidade da produção de frutos e sementes, aumentando o rendimento das culturas (GARIBALDI et al., 2020). Dentre aspectos relacionados à qualidade, podemos citar quantidade de açúcares, pH, biomassa do fruto, formato, sabor e durabilidade (GARIBALDI et al, 2013; GARRATT et al., 2014; KLATT et al., 2014; JUNQUEIRA; AUGUSTO, 2017), bem como sincronia no amadurecimento, características estas buscadas pelos consumidores, como já comprovado em outros estudos mais antigos (KEVAN; IMPERATRIZ-FONSECA, 2002). O valor estimado do serviço de polinização para a produção agrícola é de, aproximadamente 1 bilhão de dólares no Brasil com produção anual estimada em 4,5 milhões de toneladas (FAO, 2013) e entre 14 bilhões de dólares com uma produção de 177 milhões de toneladas por ano no mundo (GIANNINI et al., 2015; NOVAIS et al., 2016; IPBES, 2016). A maior parte dessa produção está concentrada nos estados de Goiás, em São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Bahia (BRITO; MELO, 2010).

Contudo, os polinizadores estão em declínio por diversos fatores (POTTS et al., 2010), afetando assim as culturas dependentes da polinização (GIBBS et al, 2016). A integridade das abelhas está totalmente comprometida (CANE; TEPEDINO, 2001), assim como a produção de tomate (GIANNINI et al., 2015). Esse déficit de polinizadores afetaria a produção também dos pequenos produtores, tornando urgentemente necessário dialogar sobre a conservação e utilização de medidas sustentáveis para todos os âmbitos de produção (SEDIYAMA, 2015). Produtores de setores não agrícolas seriam indiretamente afetados, além de todos os setores responsáveis pela economia, atingindo direta e indiretamente a todos em um efeito cascata (BAUER; WING, 2016). Outra área afetada pela redução das populações de polinizadores é a alimentar (POTTS et al, 2010), composta de micro e macro nutrientes essenciais que em sua maioria são obtidos de produtos dependentes da ação de polinizadores (SMITH et al, 2015).

As causas da atual redução de polinizadores são várias perturbações ecológicas, como utilização de agroquímicos que intoxica os polinizadores que visitam o cultivo, fragmentação de habitats com a retirada de vegetação nativa para intensificação de paisagens agrícolas

(GRAB et al., 2019; SGROI et al., 2018) e a introdução de espécies exóticas e de patógenos, essas causas podem atingir rumos imprevisíveis, causando o desequilíbrio nos ecossistemas (ROSA et al., 2019). Uma consequência desses fatores anteriormente citados acomete as mudanças climáticas, que estão afetando a distribuição geográfica das espécies de abelhas (ELIAS et al., 2017). Desta forma, no caso específico do tomate, cinco espécies de abelhas nativas teriam suas distribuições alteradas, modificando assim os serviços de polinização para este cultivo no Brasil (ELIAS et al., 2017). Com essa real perda, estudos complementares são essenciais para soluções técnicas urgentes, pois, embora ocorram esforços para a conservação dos polinizadores, faz-se importante salientar que estes dados ainda são limitados (MELATHOPOULOS et al., 2015). Observar essas lacunas de conhecimento a respeito da importância da polinização que ainda não foram preenchidas é urgente (HANLEY et al., 2015). O manejo de polinizadores nativos pode ser uma alternativa, mas não suficiente para diminuir o déficit (JUNQUEIRA; AUGUSTO, 2017).

Várias estratégias estão sendo buscadas para mitigar a crise de polinizadores, como a implementação de ninhos para abelhas sem ferrão (JUNQUEIRA; HOGENDOORN; AUGUSTO, 2012; JUNQUEIRA et al., 2017), conservação de vegetação com maior diversidade de habitats do que os cultivos em paisagens agrícolas, pois servem como uma fonte de polinizadores para o cultivo (MOREIRA; BOSCOLO; VIANA 2015) uso de atrativos com essências para atrair os polinizadores e o manejo adequado de espécies de abelhas são as alternativas buscadas para incrementar a produção agrícola afim de suprimir a falta nos cultivos (WOLOWSKI et al., 2019).

Em se tratando do manejo, a abelha *Apis mellifera* é uma espécie exótica e muito agressiva mesmo assim é usada e manejada em muitas culturas (CORREIA-OLIVEIRA et al., 2012) que também consegue ter bons resultados na melhoria da produção (CARVALHO, 2017). Estas abelhas deslocam os polinizadores nativos, comprometendo a permanência na paisagem, possibilitando ainda a contaminação por pragas e patógenos (POTTS et al., 2010; VALIDO et al., 2019), além disso, colônias de *A. mellifera* são acometidos por doenças como o ácaro do gênero *Varroa* que é a pior praga das colônias de *A. mellifera* na América do Norte e uma das principais causas de declínio das abelhas naquele continente (DE MATTOS; CHAUD-NETTO, 2011). Existe ainda um fenômeno CCD (Colony Collapse Disorder ou Desordem do Colapso das Colônias) acomete as colônias de *A. mellifera* e é causado por múltiplos fatores (PIRES et al. 2016). Até o momento, contudo, não se confirmou caso algum de CCD no Brasil (PIRES et al. 2016). O uso de espécies de abelhas sem ferrão é bastante investigado principalmente em experimentos para verificar sua eficiência (WOLOWSKI et al., 2019). As espécies de abelhas sem ferrão do gênero *Melipona* e *Bombus* são bastante utilizadas produzindo resultados

satisfatórios no aumento da produção (MAGALHÃES; FREITAS, 2013; BARTELLI; NOGUEIRA, 2014; STRANGE et al., 2015; SILVA-NETO et al., 2019).

O manejo do cultivo é um dos fatores que também podem influenciar na produção. Estão incluídos no manejo o tipo de irrigação, histórico de uso da terra, uso de defensivos agrícolas, entre outras (ELIAS et al., 2017; GRAB et al., 2019). Irrigação por gotejamento, por exemplo, além de proporcionar um menor consumo de água, não afeta as visitas dos polinizadores, uma vez que não atrapalha o forrageamento das abelhas nas plantas do cultivo quando comparado com a aspersão (BARBOSA et al., 2019). Além disso, a irrigação por gotejamento não afeta a comunidade de abelhas selvagens que constroem ninhos no solo, dessa forma a presença de abelhas nativas no cultivo está assegurada (SARDIÑAS; YEE; KREMEN, 2016).

O uso de pesticidas constitui um outro aspecto de manejo agrícola que influencia a polinização. De fato, o aumento do uso de defensivos agrícolas, em função do aumento da produção agrícola, promoveu o atual declínio de polinizadores (RAINE, 2018).

Diante do que foi comentado neste tópico, conclui-se que a abundância de polinizadores nos cultivos é considerada uma aliada indispensável para a produção na agricultura (GARRATT et al., 2018). Sua introdução vem se tornando uma alternativa para aumentar a produção dos cultivos, mostrando-se mais eficiente do que os métodos manuais para culturas que necessitam de polinização especializada como as Solanaceae (DOS SANTOS et al., 2009). Neste sentido, a polinização por abelhas beneficia a produção, eleva a lucratividade e ainda contribui para o ecossistema (VELTHUIS; VAN DOORN, 2006).

2.2 Paisagens naturais e produção

As paisagens naturais são diretamente ligadas a diversidade de visitantes nos cultivos (ROLLIN; GARIBALDI, 2019). Dentro dessas paisagens existem as plantas exóticas ou invasoras de culturas que influenciam no movimento das abelhas e modificam o serviço de polinização do cultivo, podendo atrair mais polinizadores para a área, essa composição regula a diversidade de polinizadores que visitam o cultivo, assim o habitat natural exibe claramente essa riqueza de polinizadores e podem ser incluídos como uma alternativa para o aumento da produção e para a manutenção de polinizadores (EERAERTS; SMAGGHE; MEEUS, 2019). Como acontece no café e em várias outras culturas importantes, florestas ao redor de terras agrícolas contribui para a manutenção desses polinizadores, uma vez que estas oferecem recursos suficientes para sua sobrevivência, se tornando fonte principal para potenciais polinizadores de várias culturas, essa diversidade de polinizadores pode aumentar a estabilidade temporal da produção (ACOSTA et al., 2016; FRANCESCHINELLI et al., 2017; GEERAERT et al., 2020).

A ausência de paisagem natural compromete a polinização, desta forma, é necessário a existência de ambientes naturais para manter a comunidade de abelhas na cultura, e assim contribuir por mais tempo com a qualidade da produção e fornecendo também fonte de recursos para a reprodução e sobrevivência dos polinizadores, uma vez que esta paisagem mantém a estabilidade do serviço de polinização (MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015).

Essa composição da paisagem pode modificar os padrões espaciais de forrageamento das abelhas e influenciar os serviços de polinização prestados às culturas, existindo variação entre diferentes grupos taxonômicos (CAMPBELL et al., 2017; XIE et al., 2019). A integridade de abelhas em ambientes naturais responde à quantidade de recursos oferecidos pelo ambiente em escala temporal, portanto manter a heterogeneidade das paisagens naturais é necessário para garantir a diversidade e conservação das abelhas e também a produtividade (COLE et al., 2017), uma vez que os serviços de polinização diminuem à medida que a área ocupada por vegetação natural também diminui (CHATTERJEE et al., 2020).

É amplamente reconhecido que a perda da biodiversidade ocorre em processos maiores, em escalas de paisagens, essas investigações começaram fortemente a se expandir devido à perda destes polinizadores, sendo notável a importância de heterogeneidade da paisagem, efeitos de matriz, bem como os efeitos da perda nessa fragmentação do habitat (BETTS; HADLEY; KORMANN, 2020).

O histórico de queimadas e uso da terra podem explicar essa perda e consequentes irregularidades na produção devida à falta de polinizadores (GEMMIL-HERREN, 2019). Paisagens naturais fornecem não só a fonte de polinizadores como também mantêm uma temperatura, umidade e vento adequados para os cultivos. Em estudos recentes, observou-se que a temperatura, umidade relativa e vento apresentam correlação com a queda em flores principalmente do tomate, interferindo assim na produção de frutos (ARTHANARI; DHANAPALAN, 2019). Altas temperaturas na produção do tomate em especial, podem causar deformações nos frutos, diminuição da viabilidade de pólen, não formação de hormônios essenciais para a abertura dos estames, entre demais aspectos fisiológicos da planta (RUDICH; ZAMSKI; REGEV, 1977). Esta temperatura elevada também afeta negativamente várias características relacionadas à atração e recompensa dos polinizadores (menor produção volátil e maior concentração de açúcar no néctar) em todas as variedades, o que pode diminuir a atratividade da coleta de recursos pelos polinizadores (BROUSSARD et al., 2017; SHRESTHA et al., 2018).

Assim, a conservação de habitats naturais próximos a cultivos agrícolas é importante para a manutenção dos polinizadores selvagens e de variáveis climáticas diretamente relacionadas com o ambiente (GARIBALDI et al., 2014; SRITONGCHUAY et al., 2019). É essencial a

conservação da vegetação nativa como uma fonte natural de polinizadores, pois esta composição de polinizadores e respostas das culturas para cada região varia (GIANNINI et al., 2015).

2.3 Aspectos gerais da cultura do tomate e relação entre polinização e produção

O tomate pertence ao gênero *Solanum* (Solanaceae), é originário das regiões andinas, porém foi amplamente cultivado pelo mundo e adaptado como diversas variedades (SPOONER et al., 1993; OLMSTEAD; PALMER, 1997; CHETELAT et al., 2009). O tomateiro apresenta hábito herbáceo-arbustivo, podendo apresentar até 2 m de comprimento da haste principal, flores bissexuais, actinomorfas, com diâmetro de 1,5 a 2 cm e são inclinadas para baixo, as inflorescências são em forma de cimeira, mas ocorrem modificações entre variedades (SILVA NETO, 2013). Estas podem ser autopolinizadas e seus estigmas são mais curtos que os estames e estão localizados dentro do tubo formado pelas anteras, possibilitando a chegada dos grãos de pólen no estigma da própria flor (KAUL, 1991). A sua antese inicia por volta das 6h30 da manhã, permanecendo abertas até 18h da noite; A duração completa dura 73 horas (três dias) (SILVA NETO, 2013). O ciclo de vida da espécie é curto, podendo produzir frutos maduros de 90 a 120 dias após a germinação da semente, ou 45 a 55 dias após o florescimento (SILVA-NETO, 2013).

Em tomates e outras Solanaceae, as anteras das flores possuem deiscência poricida, sendo necessário que os polinizadores as vibrem para a liberação dos grãos de pólen (FONTES; SILVA, 2002). O pólen é armazenado nas anteras que possuem uma abertura de poros localizada na parte distal, por isso chamado de flores com anteras poricida, para a liberação do pólen é necessário que o vento ou polinizadores vibrem essas anteras. Apenas o vento e as abelhas são capazes de realizar a polinização por vibração (*buzz pollination*), sendo as abelhas as mais eficientes nessa polinização das flores do tomate (FONTES; SILVA, 2002). O tomate, beringela e pimentão são beneficiadas com a polinização por abelhas melhorando a produção de frutos (AMIN et al., 2019). Este comportamento aumenta a carga de pólen sobre o estigma, elevando a produção de frutos e sementes (MORANDIN; LAVERTY; KEVAN, 2001; GREENLEAF; KREMEN, 2006; MELO SILVA et al., 2013). No entanto, em alguns casos, abelhas que não exercem a vibração podem atuar como polinizadores ocasionais, como Silva-Neto et al (2017) constataram.

As abelhas que realizam a polinização por vibração depositando mais pólen no estigma (BARTELLI; NOGUEIRA, 2014; AMALA; SHIVALINGASWAMY, 2017; BARBOSA, 2018), aumentando significativamente a produção do cultivo (BERGAMINI et al., 2013; SANTOS et al., 2014; YANKIT, 2016; KAMUNYU, 2017; VINICIUS-SILVA et al., 2017;

DABAK; ÖZENIRLER, 2018; GUIMARÃES, 2018). Os principais grupos de abelhas vibratórias são as do gênero *Bombus*, *Centris*, *Exomalopsis*, *Euglossa*, *Melipona* e *Xylocopa* (SILVA-NETO et al., 2017). A utilização dessas abelhas vibradoras como a *Bombus terrestris* já eram testadas para aprimorar a produção dos frutos de tomate, e já registrado aumento na quantidade e qualidade da produção (VAN RAVESTIJN; VAN DER SANDE, 1990), introdução de uma espécie de *Bombus* elevou a produção em 40% (ASADA; ONO, 1996; CURE; RODRIGUEZ, 2007; ALDANA et al., 2007), aumento de 41,1% no número de sementes (SILVA-NETO et al., 2019), e conseguem ser significativamente maiores, podendo chegar até 410 gramas (GRACE et al., 2017).

Abelhas do gênero *Xylocopa* na área de cultivo acentua a quantidade de açúcar do fruto (BARTELLI; NOGUEIRA, 2014). Analisando essa contribuição na Austrália a introdução de abelhas também do gênero *Xylocopa* apresentou o aumento no peso dos frutos (HOGENDOORN; STEEN; SCHWARZ, 2000). Abelhas como a *A. melífera* também melhora a qualidade das sementes com suas visitas, mesmo não apresentando comportamento vibratório, atende à demanda do mercado principalmente de cultivos que necessitam de uma grande produção (PERUZOLLO; CRUZ; RONQUI, 2019). esse uso de abelhas é necessário sendo que os polinizadores não conseguem visitar as flores em ambientes protegidos (PALMA et al., 2008; STRANGE, 2015), e em campo aberto seu uso também é fundamental uma vez que existe um declínio de polinizadores (DEPRÁ et al., 2014; CARVALHO, 2017). Os gêneros *Apis*, *Bombus*, *Melipona* e *Xylocopa*, foram usadas tanto em ambiente aberto como fechado (ALDANA et al., 2007; PALMA, 2008; BARTELLI; NOGUEIRA, 2014; NO, 2014; GUIMARÃES, 2018). O manejo dessas espécies de polinizadores de abelhas se tornou uma importante estratégia aumentar a quantidade e qualidade da produção (KLAPWIJK, 2019), assim estudos com espécies de abelhas são essenciais para a identificação de polinizadores comercialmente viáveis para culturas agrícolas (SILVA; HRNCIR; FONSECA, 2010).

Atrelado ao uso de abelhas ainda existem as técnicas de polinização manual e mecânica que fornecem a polinização na ausência do polinizador, são utilizadas escovas elétricas, ventiladores para vibrar as flores (BARTELLI; NOGUEIRA, 2014), também vibrações emitidas manualmente (SILVA, 2015), tais técnicas conseguem efetuar a polinização, mas não com a mesma eficiência da polinização natural, além de não suprir a polinização natural, o custo de produção e tempo para realização desses métodos são bem maiores (SILVA, 2015; MARTIN-CLOSAS et al., 2009).

Se tratando de cultivos de tomate, diretamente atrela-se o uso de defensivos agrícolas, pois o tomate é uma planta muito propensa às pragas, o que faz o uso de agrotóxicos ser comumente utilizado. O Brasil é o maior consumidor de inseticidas do mundo (DOS SANTOS;

OTESBELGUE; BLOCHTEIN, 2018), indo na direção oposta na conservação dos polinizadores (FREITAS; PINHEIRO, 2010), seu uso acomete a contaminação do solo, ambiente, plantas e principalmente polinizadores no mundo (LIMA et al., 2016) e também no Brasil (FREITAS; PINHEIRO, 2010). Desses, os polinizadores são os mais sensíveis ao uso de agroquímicos, não conseguindo sobreviver a toxicidade, comprometendo sua capacidade motora (CATAE et al., 2014; ARAÚJO, 2019). Uma das substâncias que compõe os inseticidas consegue interferir no sistema nervoso dos animais, causando tremores, paralisia e morte (DUARTE, 2018).

Esse alto uso de agrotóxicos se dá devido à alta taxa de incidência de doenças e pragas em tomate (DEL SANTO; PATINO, 2019). O controle biológico de pragas combinada com o manejo de abelhas podem melhorar a produção e a qualidade do tomate reduzindo até a ocorrência de doenças no cultivo, sem precisar a se render a insumos químicos, podendo assim amenizar estes impactos atuais (SHI et al., 2019). A avaliação avançada destes pesticidas pode melhorar a eficiência das pesquisas e a sustentabilidade da agricultura moderna, a partir de resultados que possam contribuir para a diminuição destas substâncias e na conservação dos polinizadores e do ambiente saudável para plantio (LÓPEZ-OSORIO; WURM, 2020). Modificações no tempo e horários de aplicação e dosagem dos compostos, realizar rotação de culturas e, principalmente, utilizar inseticidas orgânicos podem reduzir os danos causados pelos defensivos agrícolas na produção, uma vez que o uso atual prejudica não só os polinizadores, mas também o solo (WALKER; WU, 2017; KUMAR et al., 2018). A aplicação de fertilizantes também prejudica a qualidade do tomate, pois apresenta efeitos no teor de sólidos solúveis no fruto, mesmo este não sendo muito significativo (GUAN et al., 2017).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABROL, D. P., GORKA, A. K., ANSARI, M. J., AL-GHAMDI, A., & AL-KAHTANI, S. Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. *Saudi journal of biological sciences*, 26(3), 524-530. 2019.

ACOSTA, A. L., GIANNINI, T. C., IMPERATRIZ-FONSECA, V. L., & SARAIVA, A. M. Worldwide alien invasion: A methodological approach to forecast the potential spread of a highly invasive pollinator. *PLoS one*, 11(2), e0148295. 2016.

ALDANA, J., CURE, J. R., ALMANZA, M. T., VECIL, D., RODRÍGUEZ, D. Effect of *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) on tomato production (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse in Bogotá plateau, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 62-72. 2007.

AMALA, U & SHIVALINGASWAMY, T. M. Role of native buzz pollinator bees in enhancing fruit and seed set in tomatoes under open field conditions. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3), 1742-1744. 2017.

AMIN, M. R., MIAH, M. S., RAHMAN, H., NANCY, N. P., BHUIYAN, M. K. A. Role of insect pollinators and pests on the yield and seed quality of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 44(1), 103-113. 2019.

ARAÚJO, W. L. D. Toxicidade de inseticidas sobre abelhas sem ferrão. (Tese de doutorado, Universidade Federal da Paraíba. 2019.

ARTHANARI, M & DHANAPALAN, S. A survey of tomato blossom and flower drop to the influence of environmental phenomena (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 3(1), 12-15. 2019.

ASADA, S & ONO, M. Tomato pollination with japanese native bumblebees (*Bombus* spp.). In VII International Symposium on Pollination 437 (pp. 289-292). 1996.

BARBOSA, F. M. Bees increase tomato crop production and are impacted by both landscape context and farm management (Tese de doutorado Universidade Federal de Viçosa). 2018.

BARBOSA, F. M., LIMA, J. T., SANTOS, M. A., DE OLIVEIRA, CAMPOS, L. A. Effects of irrigation method on pollination and pollinators (Hymenoptera: Apoidea) in an open-field tomato crop. *Florida Entomologist*, 102(1), 130-133. 2019.

BARTELLI, B. F & NOGUEIRA-FERREIRA, F. H. Pollination services provided by *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in greenhouses with *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae). *Sociobiology*, 61(4), 510-516. 2014.

BAUER, D. M., WING, I. S. The macroeconomic cost of catastrophic pollinator declines. *Ecological Economics*, 126, 1-13. 2016.

BERGAMINI, B. A. R., DA SILVA ELIAS, M. A., & FRANCESCHINELLI, E. V. Native bees pollinate tomato flowers and increase fruit production. *Journal of Pollination Ecology*, 11(6), 41-45. 2013.

BETTS, M.G., HADLEY, A.S. & KORMANN, U. The landscape ecology of pollination. *Landscape Ecol* 34, 961–966. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00845-4>.

BLITZER, E. J., GIBBS, J., PARK, M. G., DANFORTH, B. N. Pollination services for apple are dependent on diverse wild bee communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 1-7. 2016.

BRITO, L & MELO, L. A produção mundial e brasileira de tomate. DIEESE- Goiânia: DIEESE–Departamento Intersindical de Estatística e Estudos

Socioeconômicos. <http://www.dieese.org.br/projetos/informalidade/estudoSobreAproducaoDeTomateIndustrialNoBrasil.pdf>. (Acessado 27, junho 2019). 2010.

BROUSSARD, M. A., MAS, F., HOWLETT, B., PATTEMORE, D., TYLIANAKIS, J. M. Possible mechanisms of pollination failure in hybrid carrot seed and implications for industry in a changing climate. *PloS one*, 12(6). 2017.

BUCHMANN, S. L., & HURLEY, J. P. A biophysical model for buzz pollination in angiosperms. *Journal of Theoretical Biology*, 72(4), 639-657. 1978.

BUCHORI, D., RIZALI, A., LARASATI, A., HIDAYAT, P., NGO, H., GEMMILHERREN, B. Natural habitat fragments obscured the distance effect on maintaining the diversity of insect pollinators and crop productivity in tropical agricultural landscapes. *Heliyon*, 5(3), e01425. 2019.

CAMPBELL, A. J., WILBY, A., SUTTON, P., WÄCKERS, F. L. Do sown flower strips boost wild pollinator abundance and pollination services in a spring-flowering crop? A case study from UK cider apple orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 20-29. 2017.

CANE, J. H & TEPEDINO, V. J. Causes and extent of declines among native North American invertebrate pollinators: detection, evidence, and consequences. *Conservation Ecology*, 5(1). 2001.

CARVALHO, R. S. T. B. D. A polinização por *Apis mellifera* e a qualidade de frutos em *Solanum lycopersicum* (Solanaceae). (Trabalho de conclusão de curso, Universidade federal de Uberlândia). 2017.

CATAE, A. F., ROAT, T. C., DE OLIVEIRA, R. A., FERREIRA NOCELLI, R. C., & MALASPINA, O. Cytotoxic effects of thiamethoxam in the midgut and malpighian tubules of Africanized *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Microscopy research and technique*, 77(4), 274-281. 2014.

CHATTERJEE, A., CHATTERJEE, S., SMITH, B., CRESSWELL, J. E., BASU, P. Predicted thresholds for natural vegetation cover to safeguard pollinator services in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 290, 106785. 2020.

CHETELAT, R. T., PERTUZÉ, R. A., FAÚNDEZ, L., GRAHAM, E. B., JONES, C. M. Distribution, ecology and reproductive biology of wild tomatoes and related nightshades from the Atacama Desert region of northern Chile. *Euphytica*, 167: 77-93. 2009.

COLE, L. J., BROCKLEHURST, S., ROBERTSON, D., HARRISON, W., MCCRACKEN, D. I. Exploring the interactions between resource availability and the utilisation of semi-natural habitats by insect pollinators in an intensive agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246, 157-167. 2017.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Tomate: análises dos indicadores da produção e comercialização do mercado mundial, brasileiro e catarinense. Compêndio de estudos tomate, v, 21. ISSN: 2448-3710. 2019.

CORREIA-OLIVEIRA, M. E., NUNES, L. A., SILVEIRA, T. D., MARCHINI, L. C., & SILVA, J. D. Manejo da agressividade de abelhas africanizadas. *Série Produtor Rural*, 1(53), 4-46. 2012.

CUNNINGHAM-MINNICK, M. J., PETERS, V. E., CRIST, T. O. Bee communities and pollination services in adjacent crop fields following flower removal in an invasive forest shrub. *Ecological Applications*, e02078. 2020.

CURE, J. R & RODRÍGUEZ, D. Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Agronomía colombiana*, 25(1), 62-72. 2007.

DA ROSA, J. M., ARIOLI, C. J., NUNES-SILVA, P., GARCIA, F. R. M. Disappearance of pollinating bees in natural and agricultural systems: Is there an explanation? *Journal of Agricultural Sciences*, 18(1), 154-162. 2019.

DABAK, T., ÖZENIRLER, Ç. Using commercial bumblebees in the pollination of field grown tomatoes a case study: “caged tomatoes in open fields”. *Mellifera*, 18(1), 15-21. 2018.

DE MATTOS, I. M., & CHAUD-NETTO, J. Effects of natural infestations of the mite varroa destructor on the development of africanized honeybee workers *Apis mellifera*. *Sociobiology*, 58(1), 85. 2011.

DEL SANTO, R., & PATINO, M. Avanços e desafios na tecnologia de produção de tomate de mesa. *Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP*, (27), 1-1. 2019.

DEPRÁ, M. S., GIRONDI DELAQUA, G. C., FREITAS, L., & GAGLIANONE, M. C. Pollination deficit in open-field tomato crops (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) in Rio de Janeiro state, southeast Brazil. *Journal of Pollination Ecology*, 12 (1), 1-8. 2014.

DOS SANTOS, C. F., OTESBELGUE, A., & BLOCHTEIN, B. The dilemma of agricultural pollination in Brazil: Beekeeping growth and insecticide use. *PloS one*, 13(7), e0200286. 2018.

DOS SANTOS, S. B., ROSELINO, A. C., HRNCIR, M., BEGO, L. R. Pollination of tomatoes by the stingless bee *Melipona quadrifasciata* and the honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *Genetics and Molecular Research*, 8(2), 751-757. 2009.

DUARTE, D. S. O. Impacte da aplicação do inseticida EPIK na abelha do mel *Apis mellifera* L. a médio e a longo prazo (Tese de doutorado, Instituto Politécnico de Coimbra). 2018.

EERAERTS, M., SMAGGHE, G., MEEUS, I. Pollinator diversity, floral resources and semi-natural habitat, instead of honey bees and intensive agriculture, enhance pollination service to sweet cherry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 284, 106586. 2019.

ELIAS, M. A., BORGES, F. J., BERGAMINI, L. L., FRANCESCHINELLI, E. V., SUJII, E. R. Climate change threatens pollination services in tomato crops in Brazil. *Agriculture, ecosystems & environment*, 239, 257-264. 2017.

ELLIS, A. M., MYERS, S. S., & RICKETTS, T. H. Do pollinators contribute to nutritional health?. *PLoS One*, 10(1), e114805. 2015.

FAO (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA). O estado da Segurança Alimentar e Nutricional no Brasil: Um retrato multidimensional. Relatório. 2017. Disponível em http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_tomato.html <acesso em 10 de dezembro de 2020>. 2020.

FIJEN, T. P., SCHEPER, J. A., BOEKELO, B., RAEMAKERS, I., & KLEIJN, D. Effects of landscape complexity on pollinators are moderated by pollinators' association with mass-flowering crops. *Proceedings of the Royal Society B*, 286(1900), 20190387. 2019.

FONTES, P., SILVA, D. Produção de tomate de mesa. *Aprenda Fácil Editora*, Viçosa MG Brazil. 2002.

FRANCESCHINELLI, E. V., ELIAS, M. A., BERGAMINI, L. L., SILVA-NETO, C. M., & SUJII, E. R. Influence of landscape context on the abundance of native bee pollinators in tomato crops in Central Brazil. *Journal of Insect Conservation*, 21(4), 715-726. 2017.

FREITAS, B. M., PINHEIRO, J. N. Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. *Oecologia Australis* 14:282–298. 2010. doi: 10.4257/oeco.2010.1401.17.

GARIBALDI, L. A., CARVALHEIRO, L. G., VAISSIERE, B. E., GEMMILL-HERREN, B., HIPOLITO, J., FREITAS, B. M., ZHANG, H. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351, 388–391. <https://doi.org/10.1126/science.aac7287>. 2016.

GARIBALDI, L. A., SÁEZ, A., AIZEN, M. A., FIJEN, T., & BARTOMEUS, I. Crop pollination management needs flower-visitor monitoring and target values. *Journal of Applied Ecology*, 57(4), 664-670. 2020.

GARIBALDI, L. A.; CARVALHEIRO, L. G.; LEONHARDT, S. D.; AIZEN, M. A.; BLAAUW, B. R.; ISAACS, R.; MORANDIN, L. From research to action: enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(8), 439-447. 2014.

GARRATT, M. P., BREEZE, T. D., JENNER, N., POLCE, C., BIESMEIJER, J. C., & POTTS, S. G. Avoiding a bad apple: Insect pollination enhances fruit quality and economic value. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 184, 34-40. 2014.

GARRATT, M. P.; BISHOP, J.; DEGANI, E.; POTTS, S. G.; SHAW, R. F.; SHI, A.; ROY, S. Insect pollination as an agronomic input: Strategies for oilseed rape production. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), 2834-2842. 2018.

GEERAERT, L., AERTS, R., BERECHA, G., DABA, G., DE FRUYT, N., D'HOLLANDER, J., ... & HONNAY, O. Effects of landscape composition on bee communities and coffee pollination in *Coffea arabica* production forests in southwestern Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* (288). 106706. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106706>. 2020.

GIANNINI, T. C., COSTA, W. F., CORDEIRO, G. D., IMPERATRIZ-FONSECA, V. L., SARAIVA, A. M., BIESMEIJER, J., GARIBALDI, L. A. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. *PloS one*, 12(8), e0182274. 2017.

GIANNINI, T. C.; CORDEIRO, G. D.; FREITAS, B. M.; SARAIVA, A. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology* 108: 849-857. 2015.

GIBBS, J.; ELLE, E.; BOBIWASH, K.; HAAPALAINEN, T.; ISAACS, R. Contrasting pollinators and pollination in native and non-native regions of highbush blueberry production. *PloS one*, 11(7), e0158937. 2016.

GRAB, H.; BRANSTETTER, M. G.; AMON, N.; URBAN-MEAD, K. R.; PARK, M. G.; GIBBS, J.; DANFORTH, B. N. Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. *Science*, 363(6424), 282-284. 2019.

GRACE, A.; JANE, O.; JARED, M.; CHRISTINE, K.; DINAH, M.; PATRICIA, N.; KAMUNYU, K. Productivity of tomato in the greenhouse using bee pollination. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 3(6), 161. 2017.

GREENLEAF, S. S.; KREMEN, C. Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biol. Conserv.* 133, 81-87. 2006.

GUAN, A.; FENG, W.; LU, Y.; CHEN, G.; HAN, Q. Pesquisa sobre fatores relacionados que influenciam o teor de sólidos solúveis em tomate. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 29 (9), 27-31. 2017.

GUIMARÃES, B. M. D. C. Polinização por abelhas em cultivo convencional e agroflorestal. (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia). 2018.

HANLEY, N.; BREEZE, T. D.; ELLIS, C.; GOULSON, D. Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps. *Ecosystem Services*, 14, 124-132. 2015.

HIPÓLITO, J., BOSCOLO, D., & VIANA, B. F. Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256, 218-225. 2018.

HOGENDOORN, K.; STEEN, Z.; SCHWARZ, M. P. Native Australian carpenter bees as a potential alternative to introducing bumble bees for tomato pollination in greenhouses. *Journal of Apicultural Research*, 39(1-2), 67-74. 2000.

JUNQUEIRA, C. N., HOGENDOORN, K., & AUGUSTO, S. C. The use of trap-nests to manage carpenter bees (Hymenoptera: Apidae: Xylocopini), pollinators of passion fruit (Passifloraceae: *Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Annals of the Entomological Society of America*, 105(6), 884-889. 2012.

JUNQUEIRA, C. N., RABELO, L. S., BASTOS, E. M. A. F., & AUGUSTO, S. C. Do flexible pollen foraging habits of *Xylocopa frontalis* (Apidae, Xylocopini) contribute to nest management in passion fruit crops? *Journal of Apicultural Research*, 56(5), 646-652. 2017.

JUNQUEIRA, C. N.; AUGUSTO, S. C. Bigger and sweeter passion fruits: effect of pollinator enhancement on fruit production and quality. *Apidologie*, 48(2), 131-140. 2017.

KAUL, M. L. H. Reproductive biology in tomato. In G. Kalloo (Ed.), *Genetic improvement of tomato* (pp. 39–50). Berlin, Germany: *Springer*. 1991.

KEVAN, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Pollinating Bees - The conservation link between agriculture and nature pollinating bees. Peter Kevan e Vera Lucia Imperatriz Fonseca (eds) - *Ministry of Environment / Brasília*. 2002.

KLAPWIJK, J. Managed bumblebees: A safe tool for the production of safe food. *Berliner und munchener tierarztliche wochenschrift*, 132(1-2), 79-81. 2019.

KLATT, B. K.; HOLZSCHUH, A.; WESTPHAL, C.; CLOUGH, Y.; SMIT, I.; PAWELZIK, E.; TSCHARNTKE, T. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *proceedings of the royal society B: Biological Sciences*, 281(1775), 20132440. 2014.

KUMAR, S.; JOSHI, P. C.; NATH, P.; SINGH, V. K. Impacts of insecticides on pollinators of different food plants. *Entomol Ornithol Herpetol*, 7(2), 7. 2018.

LAUTENBACH, S. Provisioning ecosystem services at risk: pollination benefits and pollination dependency of cropping systems at the global scale. *In Atlas of Ecosystem Services* (pp. 97-104). 2019.

LÓPEZ-OSORIO, F.; WURM, Y. Healthy pollinators: evaluating pesticides with molecular medicine approaches. *Trends in Ecology & Evolution*. 35 (5), 380-383. 2020.

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*, 44(2), 234-239. 2013.

MARTÍN-CLOSAS, L., PUIGDOMÈNECH, P., SANFELIU, J. L., & PELACHO, A. M. Crop cycle influences the effectiveness of pollination techniques in greenhouse tomato. *European Journal of Horticultural Science*, 74(6), 241. 2009.

MELATHOPOULOS, A. P.; CUTLER, G. C.; TYEDMERS, P. Where is the value in valuing pollination ecosystem services to agriculture? *Ecological Economics*, 109, 59-70. 2015.

MELO-SILVA, C.; GOMES, F. L.; GONÇALVES, B. B.; BERGAMINI, L. L.; BERGAMINI, B. A. R.; ELIAS, M. A. S.; FRANCESCHINELLI, E. V. Native bees pollination tomato flowers and increase fruit production. *J. Pollinat. Ecol.* 11, 41–45. 2013.

MORANDIN, L. A.; LAVERTY, T. M.; KEVAN, P. G. Effect of bumble bee (Hymenoptera: Apidae) pollination intensity on the quality of greenhouse tomatoes. *Journal of Economic Entomology*, 94, 172–179. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-94.1.172>. 2001.

MOREIRA, E. F., BOSCOLO, D., & VIANA, B. F. Spatial heterogeneity regulates plant-pollinator networks across multiple landscape scales. *PloS one*, 10(4), e0123628. 2015.

NEMÉSIO, A., SILVA, DP, NABOUT, JC, & VARELA, S. Efeitos das mudanças climáticas e perda de habitat em uma espécie de abelha dependente da floresta em uma paisagem tropical fragmentada. *Insect Conservation and Diversity*, 9 (2), 149-160. 2016.

NO, J. G. Efficiency of local Indonesia honey bees (*Apis cerana* L.) and stingless bee (*Trigona iridipennis*) on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pollination. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 17(1), 86-91. 2014.

NOVAIS, S. M.; NUNES, C. A.; SANTOS, N. B.; DAMICO, A. R.; FERNANDES, G. W.; QUESADA, M.; NEVES, A. C. O. Effects of a possible pollinator crisis on food crop production in Brazil. *PloS one*, 11(11), e0167292. 2016.

OLIVEIRA, J. E. M. D., NICODEMO, D., & OLIVEIRA, F. F. D. Contribution of entomophilous pollination to fruit production of West Indian cherry plants. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45(1), 56-65. 2015.

OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, Viçosa, MG., v. 120, n.3, p.321–326, 2011.

OLMSTEAD, R. G.; PALMER, J. D. Implications for the phylogeny, classification and biogeography of *Solanum* from cpDNA restriction site variation. *Systematic Botany*, 22: 19–29. 1997.

ORFORD, K. A.; MURRAY, P. J.; VAUGHAN, I. P.; MEMMOTT, J. Modest enhancements to conventional grassland diversity improve the provision of pollination services. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), 906-915. 2016.

PALMA, G., QUEZADA-EUÁN, J. J. G., REYES-OREGEL, V., MELÉNDEZ, V., & MOO-VALLE, H. Production of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) using *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* and mechanical vibration (Hym.: Apoidea). *Journal of Applied Entomology*, 132(1), 79-85. 2008.

PERUZZOLO, M. C.; DA CRUZ, B. C. F.; RONQUI, L. Polinização e produtividade do café no Brasil. *PUBVET*, 13, 152. 2019.

PIRES, C. S. S., PEREIRA, F. D. M., LOPES, M. T. D. R., NOCELLI, R. C. F., MALASPINA, O., PETTIS, J. S., & TEIXEIRA, É. W. Enfraquecimento e perda de colônias de abelhas no Brasil: há casos de CCD? *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(5), 422-442. 2016.

POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W.E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25(6), 345-353. 2010.

RABELO, L. S.; BASTOS, E. M. A. F.; AUGUSTO, S. C. Food niche of *Exomalopsis* (*Exomalopsis*) *fulvofasciata* Smith (Hymenoptera: Apidae) in Brazilian savannah: the importance of oil-producing plant species as pollen sources. *Journal of Natural History*, 50(29-30), 1859-1873. 2016.

RECH, A. R., AGOSTINI, K., OLIVEIRA, P. E., & MACHADO, I. C. (Eds.). *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro. Projeto Cultural. 2014.

ROLLIN, O.; GARIBALDI, L. A. 2019. Impactos da densidade de abelhas no rendimento das culturas: uma metanálise. *Journal of Applied Ecology*, 56, 1152 - 1163. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13355>. 2019.

RUDICH, J.; ZAMSKI, E.; REGEV, Y. Genotypic variation for sensitivity to high temperature in the tomato: pollination and fruit set. *Botanical Gazette*, 138(4), 448-452. 1977.

SÁEZ, A.; NEGRI, P.; VIEL, M.; AIZEN, M. A. Pollination efficiency of artificial and bee pollination practices in kiwifruit. *Scientia horticultrae*, 246, 1017-1021. 2019.

SALVARREY, S., SANTOS, E., ARBULO, N., GIMENÉZ, G., & INVERNIZZI, C. Características del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum*) utilizando abejorros nativos (*Bombus atratus*) como polinizadores en invernáculo. *Agrociencia Uruguay*, 24(1), 1-10. 2020.

SANTOS, A. O. R.; BARTELLI, B. F.; NOGUEIRA-FERREIRA, F. H. Potential pollinators of tomato, *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae), in open crops and the effect of a solitary bee in fruit set and quality. *Journal of Economic Entomology*, 107.3: 987-994. 2014.

SARDIÑAS, H.; YEE, C.; KREMEN, C. Irrigation method does not affect wild bee pollinators of hybrid sunflower. *California Agriculture*, 71(1), 35-40. 2016.

SATURNI, F. T., JAFFÉ, R., METZGER, J. P. Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235, 1-12. 2016.

SEDIYAMA, M. A. N.; DOS SANTOS, I. C.; DE LIMA, P. C. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. *Ceres*, 61(7). 2015.

SGROI, F.; PILATI, L.; COLUMBA, P.; FONTANA, P. Ecosystem services for farms: a methodological evaluation proposal of the pollination ecosystem service. In 55. Complesso monumentale di San Pietro. *Dipartimento di Scienze agrarie, alimentari e ambientali*. PERUGIA, 13-15 settembre, 2018.

SHI, J.; QI, L.; WANG, D.; LI, Y.; ZHANG, Q.; GE, X.; TIAN, D. Effects of different control measures on tomato quality, yield and disease incidence in greenhouse. *Journal of Agricultural Science and Technology (Beijing)*, 21(4), 88-95. 2019.

SHRESTHA, M., GARCIA, J. E., BUKOVAC, Z., DORIN, A., & DYER, A. G. Pollination in a new climate: assessing the potential influence of flower temperature variation on insect pollinator behaviour. *PLoS One*, 13(8), e0200549. 2018.

SILVA NETO, C. D. M. Biologia reprodutiva do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) e influência das abelhas nativas na produção dos frutos. (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás). 2013.

SILVA, M. A. D. Efeito de diferentes tratamentos de polinização em tomate cereja *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* e berinjela *Solanum melongena* em casa de vegetação. (Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Semiárido). 2015.

SILVA, P. N.; HRNCIR, M.; FONSECA, V. L. I. A polinização por vibração. *Oecologia Australis*, 14(1), 140-151. 2010.

SILVA-NETO, C. D. M. E.; RIBEIRO, A. C. C.; GOMES, F. L.; MELO, A. P. C. D.; OLIVEIRA, G. M. D.; FAQUINELLO, P.; NASCIMENTO, A. D. R.; The stingless bee mandaçaia (*Melipona quadrifasciata* Lepeletier) increases the quality of greenhouse tomatoes. *Journal of Apicultural Research*, 58(1), 9-15. 2019.

SILVA-NETO, C. M.; BERGAMINI, L. L.; ELIAS, M. A. S.; MOREIRA, G. L.; MORAIS, J. M.; BERGAMINI, B. A. R.; FRANCESCHINELLI, E. V. High species richness of native pollinators in Brazilian tomato crops. *Brazilian Journal of Biology*, 77(3), 506-513. 2017.

SMITH, M. R.; SINGH, G. M.; MOZAFFARIAN, D.; MYERS, S.S. Effects of decreases of animal pollinators on human nutrition and global health: a modelling analysis. *The Lancet*, 386(10007), 1964-1972. 2015.

SPOONER, D. M.; ANDERSON, G. J.; JANSEN, R. K. Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes and pepinos (Solanaceae). *American Journal of Botany*, 80: 676– 688. 1993.

SRITONGCHUAY, T.; HUGHES, A. C.; MEMMOTT, J.; BUMRUNGSRI, S. Forest proximity and lowland mosaic increase robustness of tropical pollination networks in mixed fruit orchards. *Landscape and Urban Planning*, 192, 103646. 2019.

STEFFAN-DEWENTER, I.; WESTPHAL, C.; The interplay of pollinator diversity, pollination services and landscape change. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 737-741. 2008.

STRANGE, J. P. *Bombus huntii*, *Bombus impatiens*, and *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae) pollinate greenhouse-grown tomatoes in western North America. *Journal of economic entomology*, 108(3), 873-879. 2015.

VALIDO, A. MC.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, P. JORDANO. Honeybees disrupt the structure and functionality of plant–pollinator networks. *Scientific Reports*, v. 9, p. 4711, 2019.

VAN RAVESTIJN, W.; VAN DER SANDE, J. Use of bumblebees for the pollination of glasshouse tomatoes. In VI International Symposium on Pollination 288 (pp. 204-212). 1990.

VELTHUIS, H. H.; VAN.; DOORN, A. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie*, 37(4), 421-451. 2006.

VINÍCIUS-SILVA, R.; PARMA, D. D. F.; TOSTES, R. B.; ARRUDA, V. M.; WERNECK, M. D. V. Importance of bees in pollination of *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) in open-field of the Southeast of Minas Gerais State, Brazil. *Hoehnea*, 44(3), 349-360. 2017.

WALKER, L.; WU, S. Pollinators and pesticides. In International Farm Animal, Wildlife and Food Safety Law. *Springer, Cham*, (pp. 495-513). Suíça. 2017.

WOLOWSKI, M., AGOSTINI, K., RECH, A. R., VARASSIN, I. G., MAUÉS, M., FREITAS, L., ... & SARAIVA, A. M. Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil. Espírito Santo: REBIPP. 2019.

XIE, Z.; WANG, J.; PAN, D.; NA, J. Landscape-modified concentration effect and waylaying effect of bees and their consequences on pollination of mass-flowering plants in agricultural ecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 280, 24-34. 2019.

YANKIT, P. Studies on bumble bee pollination in tomato (*Solanum lycopersicum mill.*) under protected condition (Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul). 2016.

**Pollination overview of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and aspects of native
vegetation in pollination and production**

Fernanda Fernandes da Silva¹; Jefferson Thiago Souza²; Natan Messias de Almeida^{1,3}.

Kleber Regis Santoro⁴; Cibele Cardoso de Castro^{1,4*}

¹ Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, 52171-900. Brasil; E-mail: fernandafernandesabelha@gmail.com.

² Universidade Estadual do Ceará, Faculdade De Educação, Ciências e Letras de Iguatu, Av. Dário Rabelo, s/n - Vila Santo Antônio, Iguatu - CE, 63502-253. Brasil. E-mail: jefferson.thiago@uece.br.

³ Universidade Estadual de Alagoas, Rodovia Eduardo Alves da Silva, Km 3, Bairro Graciliano Ramos, Palmeira dos índios, Alagoas, 57604-595. Brasil. E-mail: natan.almeida@uneal.br.

⁴ Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor, s/n - Boa Vista, Garanhuns- PE, 55292272. Brasil. Email: krsantoro01@gmail.com, cibele.castro@ufape.edu.br.

*Corresponding author

Running title: Pollination overview of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and aspects of native
vegetation in pollination and production

Resumo

Introdução: A polinização por tomate é melhorada pelas abelhas, mesmo sendo uma planta que se autopoliniza e essa polinização pode ainda ser favorecida pela vegetação nativa em paisagens agrícolas. Sintetizamos dados globais sobre a polinização do tomate e sua influência na produção a fim de identificar o foco dos estudos, seus principais resultados e lacunas de conhecimento. Além disso, testamos se a vegetação nativa em torno das plantações abertas explica a polinização e a produção.

Resultados: A maioria dos estudos foi realizada na década de 2000 e em regiões tropicais. Os tópicos incluíram a influência de um polinizador específico na produção, comparação da produção entre a polinização natural e vários experimentos reprodutivos e estimativas de déficit de polinização. Foram citadas 50 espécies de abelhas distribuídas em 22 gêneros e três famílias, das quais 82% realizam polinização por vibração. *Melipona* e *Bombus* foram as abelhas mais usadas no manejo de polinizadores. Em geral, a polinização por abelhas melhorou a produção em comparação com os outros experimentos. A vegetação nativa não explica a riqueza de espécies e gêneros, nem a frutificação.

Conclusões: O melhor desempenho das abelhas zumbidoras em relação aos demais polinizadores confirma a tendência observada nas lavouras de Solanaceae. A alta diversidade de polinizadores e o melhor desempenho da polinização natural destacam a importância da diversidade funcional para o rendimento das culturas. A não correlação entre vegetação nativa com polinização e produção parece ser resultado do pequeno tamanho da amostra. Algumas lacunas importantes de conhecimento identificadas foram a eficiência da polinização de abelhas nativas em plantações abertas, a influência dos polinizadores nas propriedades químicas dos frutos e avaliar aspectos da qualidade da vegetação nativa e sua influência na polinização e produção.

Palavras-chave: abelhas, polinização por vibração, polinização de culturas, rendimento de culturas, vegetais.

Introduction

Investigations on crop pollination contribute for estimates of levels of pollinator dependence and efficiency of agricultural crops, providing the bases for actions and policies regarding pollinator management and conservation (Gallai & Vaissière 2009; Garibaldi et al. 2014; Lautenbach 2019). In the past two decades, the number of studies on crop pollination has grown virtually in response to the pollinator crisis, which directly affected agricultural production and global food security (Potts et al. 2010; Smith et al. 2015; Ellis et al. 2015). Although this area of knowledge had been making important advances, few studies so far integrate global data on the influence of pollination on particular crops. This kind of study helps the identification of important pollinators, the components of production most influenced by them and points out gaps of knowledge.

An example of crop from which data is not yet summarized is the tomato (*Solanum lycopersicum* L.; Solanaceae), one of the most cultivated vegetables globally (FAO 2020) and whose world production is estimated at about 177 tons per year (FAO 2017), moving 14 million dollars annually (FAO 2017). Despite forming fruits after self-pollination, tomato production is enhanced by bee pollination (Elias et al. 2017). The value of pollination services in tomato is estimated in annual one billion dollars only for Brazil (Wolowski et al. 2019), the ninth global producer (FAO 2020). Because of its moderate dependence on pollinators, modeling studies suggest that climate change can reduce by up to 25% the occurrence of pollinators in tomato plantations in some regions, affecting production (Elias et al. 2017, Giannini et al. 2017).

Like other species of Solanaceae, tomato flowers have poricidal anthers and depend especially on bees that vibrate during the visit (buzz pollination) to have their flowers fertilized (Fontes & Silva 2002). In addition to the visiting behavior, the bee size also seems to influence the efficiency of pollination. Large bees (i.e., between 20 e 26 mm, Rosi-Denadai et al. 2020), for example, can vibrate the anthers more easily and transport a greater number of pollen grains when compared to smaller ones (Tavares et al. 2017, but see Nunes-Silva et al. 2010), increasing the pollen load on stigma, improving fruit and seed production in quantity and fruit quality (Melo Silva et al. 2013). Such improvement in production as a result of pollination by animals is observed in most agricultural crops (IBPES 2016). Pollinators are known to enhance yield, commercially and nutritionally important components of fruits and seeds, synchrony in fruit ripening and other commercially important aspects (Garibaldi et al. 2013; Rafique et al. 2016).

The magnitude of the benefits provided by pollinators on crop production is influenced by many factors, but especially by pollinator rate of visits, richness and diversity (Garratt et al. 2016; Garibaldi et al. 2020). In open plantations, such elements are closely related to the

composition of the landscape, mainly the native vegetation cover and distance to the plantings (Rollin & Garibaldi 2019). Areas of native vegetation have a greater diversity of habitats for pollinators when compared to plantations, thus constitute important source of food, shelter and nesting sites, ensuring their survival and reproduction, especially when crops are not flowering (Garibaldi et al. 2016; Eeraerts et al. 2019, Fijen et al. 2019). Thus, it is widely accepted that the amount and distribution of native vegetation in agricultural landscapes influence pollinators' foraging and, consequently, pollination services provided to crops (Campbell et al. 2017), with variation between different pollinator groups (Xie et al. 2019).

In view of the economic importance of tomato for agriculture, the positive impact of pollinators on its production, and considering that areas of native vegetation influence the pollination and production of agricultural crops, the objective of this study was to integrate the global knowledge on the influence of pollination and of areas of native vegetation on tomato production through a literature review. We aimed to answer the following questions: 1) How are studies on the influence of pollination on tomato production distributed along time and space? 2) Who are the main groups of pollinators, their morphological and behavioral characteristics in the flower (vibrate x not vibrate)? 3) What are the topics covered in the studies and what are the tendencies of the results? 4) Does the native vegetation (i.e., covering and distance in relation to open plantations) explain the richness of pollinators genera and species, as well as fruit set?

Materials and methods

Literature review

Data were obtained through a systematic bibliographic survey without year restriction (the last search was conducted in September 2019) in three scholarly data bases: Web of Science™ (<https://www.webofknowledge.com>), Google Scholar® (www.scholar.google.com) and Scopus (www.scopus.com) scholar databases. We used the following keywords combinations: pollinat and Solanaceae and landscape; pollination and *Solanum lycopersicum* and tomato and production; pollination and *solanum lycopersicum*; *Solanum lycopersicum* and breeding system; *Solanum lycopersicum* and reproductive requirements; *Solanum lycopersicum* and floral visitors; *Solanum lycopersicum* and floral biology; pollination and tomato (modified from Wolowski et al. 2019).

From each study we extracted the coordinates of the study site, the year of data collection, the study environment (closed/open), reproductive experiments conducted and the results related to the quantity (fruits, seeds) and quality (dimensions, chemical characteristics)

of the production. We also recorded the names of all floral visitors, which were classified as small, medium or large-sized (Nunes-Silva et al. 2010) and as vibrating or not vibrating (Buchmann & Hurley 1978; this information was also gathered in several studies related to bee biology and pollination). For the studies conducted in open cultivation, all fragments within a radius of 500m from the plantation had their area and distances in relation to the plantations measured using Google Earth Pro maps (satellite function) from the month and year of the data collection. The influence of fragment areas (ha) and distance (m) upon the richness of genera and species of floral visitors and upon crop production (fruit set after natural pollination) was evaluated by means of a simple linear regression analysis, using the SAS 9.4 Software.

Results

The search returned 178,839 studies and, of these, only 32 contained data of interest. The number of studies increased over the decades, with a higher number from the 2000s (Fig. 1). The vast majority (93,75%; Fig. 2) were conducted in tropical regions, mostly in greenhouses, followed by open plantations and in both situations (Fig. 1).

The studies may be classified in three categories: evaluation of the influence of a specific pollinator on production (25 studies or 78.12%), comparison of production between natural pollination and various reproductive experiments, including mechanical pollination (5 studies or 15.62%) and estimative of pollination deficit in open plantations (2 studies or 6.25%). The reproductive experiments conducted in the studies included natural pollination, spontaneous self-pollination, natural cross-pollination, manual cross-pollination, mechanical cross-pollination and efficiency of a specific pollinator. The vast majority of studies (29 or 90.6%) showed improvement in production quantity (number of fruits and seeds) and quality (weight, height and diameter of fruits and seeds, pulp consistency, sugar concentration and soluble solids content) after pollination by bees when compared to other experiments, regardless of the cultivation environment (open or closed) and mode of pollination (natural, manual or mechanical).

Only eight studies (25%) tested fruit production using mechanical pollination, and all were conducted in greenhouses. Half of them used mechanical vibrator (three electric and one electronic), three used manual vibration of plants and one used a fan. Only two studies (25% of the total that used mechanical pollination) showed better results of mechanical pollination when compared with bee pollination. One of them compared pollination by electric toothbrush with *Melipona subnitida* pollination, and mechanical pollination produced more fruits, with greater diameter, weight and number of seeds. The second study compared electronic pollination (pollinator II of HGI worldwide Inc., Colorado Springs, CO, USA) with pollination by *Bombus*

impatiens and *Nannotrigona. perilampoides*, and the mechanical method increased fruit weight and seed number when compared to *N. perilampoides*.

A total of 50 bee species were mentioned in the studies (Appendix 1), distributed in 22 genera and three families (Adrenidae, Apidae and Halictidae), from three size categories (mainly large-sized) and mostly (82%) exhibiting the capacity of vibrate during the visits (Fig. 3, Appendix 1). The genus *Bombus* was the most commonly cited, followed by *Alglochlopsis* (Fig. 3). Studies conducted in open fields recorded a high diversity of floral visitors, including several genera such as *Augochlora*, *Apis*, *Bombus*, *Centris*, *Exomalopsis*, *Melipona*, *Trigona* and *Xylocopa* (Travero et al. 2012; Silva-Neto et al. 2017).

Among the 25 studies that investigated the efficiency of specific pollinators on production, twelve (48%) investigated the genus *Bombus*, eleven of which were conducted in greenhouses with the species *B. atratus*, *B. dahlbomii*, *B. ephippiatus*, *B. haemorrhoidalis*, *B. impatiens*, *B. terrestris*, *B. occidentalis* and *B. vosnesenskii*. The most used species was *B. terrestris*. Seven studies (28%) used *Melipona* species, six of them with *M. quadrifasciata*. Among these six studies, four were conducted in greenhouses, one in an open environment and one in both. The seventh study with *Melipona* used *M. subnitida* in a greenhouse. Five studies (15%) used *Apis*, being *A. mellifera* used both in an open and closed environment and *A. cerana* used in an open environment. Two studies (8%) used *Trigona* in an open plantation (*T. biroi* and *T. iridipennis*), and other two studies used, respectively, *N. perilampoides* and *Amegilla murrayensis* in greenhouses. Among all studies that tested for the efficiency of a particular pollinator, 62.5% recorded an improvement in production in quantity as quality after bee pollination when compared to the production after self-pollinated flowers. In three studies (12%), bee efficiency was lower and in two (8%) was similar to self-pollination.

The influence of pollination on the quality properties of fruits was analyzed by nine studies (29%), and in six (66%) bee pollination has improved commercially important aspects of the fruit. Among them, in two studies, pollination by *M. quadrifasciata* improved fruit sugar concentration by up to 14% when compared to mechanical pollination using ventilator and to self-pollination. In three studies with *M. quadrifasciata*, *A. mellifera* and *B. terrestris*, bee pollination improved the soluble solids content by more than 10% when compared to mechanical pollination with a vibrator. IN another study, open pollination improved sugar concentration of fruits when compared to self-pollination. The other three studies did not find differences in sugar content among reproductive experiments. Two studies with the *B. haemorrhoidalis* and *B. atratus* presented a more reddish and consistent pulp when compared to self-pollination.

The two studies on pollinator deficit showed an increase in production with the increase in the rate of floral visitors and that tomatoes, despite its self-pollination, may have its productivity reduced as a consequence of pollinator deficit.

Although 11 studies were conducted in open fields, only six had data on natural pollination to be used in the analysis of the influence of native vegetation on pollination and production, thus the analysis was conducted with only those six studies. There was great variation in relation to the number of fragments surrounding the plantings (from 1 to 4), the size of the fragments (0.7 to 39.2 ha) and the distances between the plantations and fragments (the shortest distances, for example, were between 21 to 500m). There was no significant influence of native vegetation parameters richness of pollinator species (fragment size: $F=0.00$; $p=0.95$; fragment distance: $F=0.07$; $p=0.78$), richness of pollinator genera (fragment size: $F=1.84$; $p=0.19$; fragment distance: $F=0.10$; $p=0.75$) and production (fragment size: $F=0.05$; $p=0.82$; fragment distance: $F=0.03$; $p=0.87$, Fig. 4).

Discussion

The growing number of studies especially since the 2000s can be explained by the increasing recognition of pollination as an important element of agricultural production that took place after the statement of the global pollinators crisis (Novais et al. 2016). The first studies that warned of a possible worldwide collapse resulting from a drastic decrease in pollinators were published in the late 1980s (e.g. Buchmann & Nabhan 2012). Since then, initiatives have been organized in order to disseminate and mitigate this problem (IBPES 2016). Studies on crop pollination have focused on the pollinator efficiency, management (Palma et al. 2008; Bartelli et al. 2014; Silva 2015; Guimarães 2018) and evaluation of pollination deficit in particular crops (Montagnana 2010; Deprá et al. 2014; Rosa et al. 2019). Pollinators crisis impacts most crops (Giannini et al. 2017; Webber et al. 2020), but especially those exhibiting specialized pollination systems, and/or that have a restricted group of pollinators (Garibaldi et al. 2011). This impact is mainly related to an insufficient pollen deposition onto stigmas, leading to what is known as a pollen limitation condition (Vaissière et al. 2011).

The predominance of studies in tropical climates can be explained by the fact that tomatoes develop better in this kind of environment, where it can be cultivated throughout the year (Fernandes et al. 2018). The fact that most studies were developed in greenhouses is probably related to the more controlled conditions in relation to pests and pathogens, in view of the high propensity of culture to these problems which directly compromises the functionality of the plant and consequently the production of resources available for pollination (Campeche et al. 2018). In addition, experiments that test the introduction of bees are more

easily conducted in greenhouses (Torres-Ruiz & Jones 2012; Dabak & Özenirler 2018). Testing the efficiency of different pollinators is necessary to strengthen the importance of conservation and management of these species (Potts et al. 2016; Vinicius et al. 2017; Yankit et al. 2018).

It is important to stress that, although data collected in greenhouses are undoubtedly important, their extrapolation to open cultivation areas is limited. In open plantations, pollination process is influenced by the landscape, which influence pollinator choices and behavior (Garibaldi et al. 2013, Garibaldi et al. 2016, Parra-Tabla et al. 2017; Fijen et al. 2019). As a consequence, the efficiency of particular bee species in greenhouses may vary in open habitats (Nunes-Silva et al. 2013). Additionally, agricultural practices regarding pest control and irrigation use in open plantings (Gemmill-Herren, 2016), as well as the interaction between crop and other organisms (Barber et al. 2011; Kessler et al. 2011; Pozzo et al. 2020; Rering et al. 2020) impact flower and floral resources production and may influence pollination process. Therefore, studies on pollination and its influence on production in open plantations are crucial and missing for many crops, including tomatoes.

The bee species recorded and used in the studies are distributed in tropical and temperate regions (Santos et al. 2014; Vinicius et al. 2017; Silva-Neto et al. 2019). The higher frequency of the genera *Bombus*, *Exomalopsis* *Melipona* and *Xylocopa* can be explained by the fact that these groups have vibratory behavior (buzz pollination), which is essential for pollen collection in tomato flowers (Silva-Neto et al. 2017; Franceschinelli et al. 2019). Buzz pollination improve pollen release from poricidal anthers, causing pollen to be expelled and adhered to the bees during the floral visit (Buchmann & Hurley 1978; Buchmann 2004). The efficiency of this process is directly affected by the mechanical properties of vibration such as the duration, amplitude and frequency, which vary among bees (Luca & Vallejo-Marín 2013). Although bee's body size seems to influence its pollinator efficiency, small-sized bees, such as *Melipona* species, are also efficient in vibrating flowers. Thus, body size seems to influence especially the amount of pollen loads carried by the bees (Nunes-Silva et al. 2010; Rosi-Denadai et al. 2020). Large-sized bees such as *Xylocopa*, for example, deposit high amount of pollen on the body when performing vibration, and constitute one of the main visitors of tomatoes and other Solanaceae crops (Zambon 2015; Abreu et al. 2017; He et al. 2018).

The large diversity of pollinators recorded in open plantations associated with the high levels of production improvement as a result of natural pollination when compared to all other treatments reinforces the idea that pollinators are a key component for tomato production, as recorded for many other crops (Klein et al. 2007, Gallai et al. 2009, IBPES 2016). Pollinator diversity implies in functional diversity, expressed as complementary services by different groups of pollinators (Frund et al. 2013, Garibaldi et al. 2016). Even crops that need buzz

pollination may be favored by non-vibrating bees (Martin et al. 2019). However, because pollinators' populations are decreasing, their management had been necessary in several crops, including tomatoes. The genera *Bombus* and *Melipona* were mostly used in the studies, both in greenhouses and open fields (Magalhães & Freitas 2013; Bartelli et al. 2014).

The genus *Bombus* is distributed in all continents except in Oceania and Antarctic (Michener 2007), while *Melipona* has a neotropical distribution (Camargo & Pedro 2013). These vibrating bees have high efficiency in pollinating tomato and other Solanaceae crops, such as eggplant and pepper (Luca & Vallejo-Marín 2013), but also crops of other plant families (Aldana et al. 2007; Torres & Jones 2012; Guimarães 2018, Silva 2018, Monteiro 2018; Pereira et al. 2019). Although *Bombus* species have a good impact on production, an important aspect may be stressed: *Bombus* species (mainly *B. terrestris*) have been used beyond their native distribution because of their efficiency as pollinators, however they may promote a number of environmental problems, such as hybridization with subspecies or local species (resulting in the loss of valuable local adaptations), competition with native bees, threatening their populations, and the introduction of diseases and parasites (Velthuis & Doorn 2006). On the other hand, the management of *Melipona* species and other meliponine bees in crops is almost absent (Imperatriz-Fonseca et al. 2006), despite being managed for honey production (Imperatriz-Fonseca et al. 2006; Slaa et al. 2006)

Despite the predominance of studies that recorded crop production improvement after bee pollination, mechanical vibration was also efficient in some cases, increasing production in greenhouses by up to 75%. These methods are important because provide pollination in conditions of low bee and wind availability (Ilbi & Boztok 1994; Silva et al. 2016). Mechanical methods are widely used in reproductive experiments that test pollen concentrations and frequency intervals seeking to increase production (Sharshir et al. 2019; Jamro et al. 2020).

They can be used in high-value crops, such as greenhouse tomatoes and other types of crops, however, they are not recommended because production costs do not outweigh profits (IBPES 2016, EMBAPA 2020). Therefore, bee management currently seems to be the best alternative to increase tomato production in most socioeconomic scenarios and is also concerned with the conservation of pollinators and plant species in general (Bartelli et al. 2014; Vinicius-Silva et al. 2017; Guimarães 2018).

The positive influence of pollinators on tomato quality properties is of economic importance, since sugar concentration, total soluble solids, pH and pulp consistency are related to organoleptic properties of fruits (Bartelli et al. 2014; Junqueira & Augusto 2017) Together with the color, which was also positively influenced by pollinators, those features influence consumer preference and, consequently, market pricing (Bashir et al. 2018). Moreover, pH is

related to vegetables conservation parameters (Sousa et al. 2013), and therefore influence microbial deterioration, industrial processing and shelf life (Brody, 1996; Gava et al. 2008) and post-harvest losses, impacting marketability (Klatt et al. 2014).

The fact that the components of native vegetation did not explain the pollination and production components analyzed here does not corroborate the general tendency found in the literature (Franceschinelli et al. 2017; Rollin & Garibaldi 2019). Particular landscapes may have naturally low pollination abundance and the amount of forest cover surrounding the plantations may not influence pollination services, pollen limitation nor crop production (Samnegård et al. 2016). However, considering that many studies discussed here clearly show that pollinators enhance tomato production, and that the positive influence of natural vegetation upon pollinator services and crop yield is confirmed by many studies, we believe that our result is explained by the small number of studies available (6) associated with the presence of an outlier, i.e., an exceptionally large fragment (36,7 ha). Unfortunately, in small samples observation relative importance is augmented and conclusions could be easily biased (Montgomery et al. 2012).

Conclusions

Most studies were conducted in the 2000s, when pollinator crisis was well established in literature. The predominance of studies in tropical regions is related by the better development of the crop in those regions. The topics included the influence of a specific pollinator on production, comparison of production between natural pollination and various reproductive experiments and estimates of pollination deficit. The better performance of buzzing bees in relation to other pollinators confirms the trend observed in Solanaceae crops. The high diversity of pollinators and the better performance of natural pollination highlight the importance of functional diversity to crop yield. The non-correlation between native vegetation with pollination and production seems to be a result of the small sample size. Some important knowledge gaps have been identified such as the efficiency of pollination of native bees in open plantations, the influence of pollinators on the chemical aspects of fruits and the analysis of quality and native vegetation and their influence on pollination and production and the extent to which mechanical pollination it is economically viable in different socioeconomic scenarios.

Aknowledgements. We thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior for the scholarship granted to FFS (grant code 001), the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico for the research grant (428303/2018-8) and fellowship (309668/2018-2) granted to CCC, the Programa de Pós-Graduação em Botânica of

the Universidade Federal Rural de Pernambuco and the Universidade Estadual do Ceará-Iguatu for the logistical support.

References

- Abreu Tavares P. R., Alves-Junior V. V., De Moraes G. A., Polatto, L. P. (2017) A interrelação entre a morfologia floral de *Solanum lycocarpum* e o tamanho corporal das abelhas visitantes garante o sucesso reprodutivo? *Interciencia*, 42 (6), 375-379.
- Aldana J., Cure J. R., Almanza M. T., Vecil D., Rodríguez D. (2007) Effect of *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) on tomato production (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse in Bogotá plateau, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 25 (1), 62-72.
- Barber N. A., Adler L. S., Bernardo H. L. (2011) Effects of above- and belowground herbivory on growth, pollination, and reproduction in cucumber. *Oecologia* 165, 377–386.
- Bartelli B. F., Nogueira-Ferreira F.H. (2014) Pollination services provided by *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in greenhouses with *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae). *Sociobiology*, 61 (4), 510-516.
- Bashir M. A., Alvi A. M., Khan K. A., Rehmani M. I. A., Ansari M. J., Atta S., Tariq M. (2018) Role of pollination in yield and physicochemical properties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25 (7), 1291-1297.
- BPBES (Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos). (2016) Disponível em: <https://www.bpbes.net.br/>. Acesso em:<13 de dezembro de 2020>.
- Buchmann S. L. (2004) Aspects of centridine biology (*Centris* spp.) importance for pollination, and use of *Xylocopa* spp. as greenhouse pollinators of tomatoes and other crops. *Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination*, 203-211.
- Buchmann S. L., Nabhan G. P. (2012) The forgotten pollinators. Island Press.
- Buchmann, S. L., Hurley, J. P. (1978). A biophysical model for buzz pollination in angiosperms. *Journal of Theoretical Biology*, 72(4), 639-657.

- Camargo JMF, Pedro SEM (2013) Meliponini Lepeletier, 1836, in catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region [Online], ed. by Moure JS, Urban D and Melo GAR. Available: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue> [28 October 2020].
- Campbell A. J., Wilby A., Sutton P., Wäckers F.L. (2017) Do sown flower strips boost wild pollinator abundance and pollination services in a spring-flowering crop? A case study from UK cider apple orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 20-29.
- Campeche L. F. D. S. M., Fonte Franca R. J. Ramos M. D. M. V. B., Silva J. S., Silva Paz V. P. (2018) Microclima e evapotranspiração de tomate em dois sistemas de produção no Vale do São Francisco. *Agrometeoros*, 25 (1).
- Dabak T., Özenirler Ç. (2018) Using commercial bumblebees in the pollination of field grown tomatoes a case study: “caged tomatoes in open fields”. *mellifera*, 18 (1), 15-21.
- Deprá M. S., Girondi Delaqua G. C., Freitas L., Gaglianone M. C. (2014) Pollination deficit in open-field tomato crops (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) in Rio de Janeiro state, southeast Brazil. *Journal of Pollination Ecology*, 12.
- Eeraerts M., Smaghe G., Meeus I. (2019) Pollinator diversity, floral resources and semi-natural habitat, instead of honey bees and intensive agriculture, enhance pollination service to sweet cherry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 284, 106586.
- Elias M A.S., Borges F. J.A., Bergamini L. L., Franceschinelli E. V., Sujii E. R. (2017) Climate change threatens pollination services in tomato crops in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 239, 257-264.
- Ellis A. M., Myers S. S., Ricketts T. H (2015) Do pollinators contribute to nutritional health? *PLoS ONE* 10, 114805. doi: 10.1371/journal.pone.0114805.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). (2020) Disponível em: <https://www.embrapa.br/home>. Acesso em:<13 de dezembro de 2020>.

- FAO (Organização Das Nações Unidas Para Agricultura E Alimentação). (2017) Informação da Água da Colheita: Tomate. Disponível em http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_tomato.html <acesso em 10 de agosto de 2020>.
- FAO (Organização Das Nações Unidas Para Agricultura E Alimentação). (2020) Informação da Água da Colheita: Tomate. Disponível em http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_tomato.html <acesso em 10 de agosto de 2020>.
- Fernandes G. S. T., De Araujo Lima E., Chaves D. V., Vieira J. D. A. M. (2018) Resposta do tomateiro 'Sweet Heaven' cultivado sob doses de bioestimulante à variação temporal dos elementos do clima em Bom Jesus, PI. *Agrometeoros*, 26 (1).
- Fijen T. P., Scheper J. A., Boekelo B., Raemakers I., Kleijn D. (2019) Effects of landscape complexity on pollinators are moderated by pollinators' association with mass-flowering crops. *Proceedings of the Royal Society B*, 286 (1900), 20190387.
- Fontes P., Silva D. (2002) Produção de tomate de mesa. Aprenda Fácil Editora, Viçosa MG Brazil.
- Franceschinelli E. V., Bergamini L. L., Silva-Neto C. M., Elias M. A., Moreira G. L., Morais J. M., Mesquita-Neto J. N. (2019) Native bee fauna of tomato crops: a comparison of active sampling and pan trapping methods. *Iheringia. Série Zoologia*, 109.
- Franceschinelli E. V., Elias M. A., Bergamini L. L., Silva-Neto C. M., & Sujii E. R. (2017) Influence of landscape context on the abundance of native bee pollinators in tomato crops in central Brazil. *Journal of Insect Conservation*, 21(4), 715-726.
- Freitas B.M., Vaissière B.E., Saraiva A., Cavalheiro L.G., Garibaldi L.A., Ngo H. (2016) Identifying and assessing pollination deficits in crops. In: Pollination services to agriculture - Sustaining and enhancing a key ecosystem service (Food and Agriculture Organization of the United Nations). B. Gemmill-Herren, ed. Routedledge, New York.
- Fründ J, Dormann CF, Holzschuh A, Tschardt T 2013 Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. *Ecology*, 94, 2042–2054.

- Gallai N., Salles J. M., Settele J., Vaissière B. E. (2009) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol Econ* 68, 810–821.
- Garibaldi L. A., Carvalheiro L. G., Leonhardt S. D., Aizen M. A., Blaauw B. R., Isaacs R., Morandin L. (2014) From research to action: enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12 (8), 439-447.
- Garibaldi L. A., Carvalheiro L. G., Vaissiere B. E., Gemmill-Herren B., Hipolito J., Freitas B. M., Zhang H. (2016) Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351, 388–391.
- Garibaldi L. A., Sáez A., Aizen M. A., Fijen T., Bartomeus I. (2020) Crop pollination management needs flower-visitor monitoring and target values. *Journal of Applied Ecology*, 57 (4), 664-670.
- Garibaldi L. A., Steffan-Dewenter I., Winfree R., Aizen M. A., Bommarco R., Cunningham S. A., Bartomeus I. (2013) Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 339 (6127), 1608-1611.
- Garibaldi, L.A., et al. (2011). Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *PNAS*, (108), 5909–5914.
- Garratt M. P., Bishop J., Degani E., Potts S.G., Shaw R.F., Shi A., Roy S. (2018) Insect pollination as an agronomic input: Strategies for oilseed rape production. *Journal of Applied Ecology*, 55 (6), 2834-2842.
- Gava, A. J., Silva C. A. B., Frias J. R. (2008) Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel
- Gemmill-Herren, B. (2016) *Pollination services to agriculture - Sustaining and enhancing a key ecosystem service* (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Routledge, New York.
- Giannini T. C., Cordeiro G. D., Freitas B. M., Saraiva A. M., Imperatriz-Fonseca V. L. (2015). The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology* 108, 849-857.

- Giannini T. C., Costa W. F., Cordeiro G. D., Imperatriz-Fonseca, V. L., Saraiva A. M., Biesmeijer J., Garibaldi L. A. (2017) Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. *PLoS One*, 12 (8), e0182274.
- Guimarães B. M. D. C. (2018) Polinização por abelhas em cultivo convencional e agroflorestal. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- He C. L., Zhu C. D., Wu Y. R. (2018) Foraging behavior and pollination of carpenter bees *Xylocopa* spp. (Hymenoptera: Apidae). *The Journal of Applied Ecology*, 29 (10), 3496-3502.
- IBPES (2016) The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Potts SG, Imperatriz-Fonseca VL, Ngo HT (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn. 552p
- Ilbi H., Boztok K. (1994) The effects of different truss-vibration durations on pollination and fruit set of greenhouse grown tomatoes. *Acta Hort.* 366, 73-78.
- Imperatriz-Fonseca V., Saraiva A.M., De Jong D. (2006) Bees as pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting best practices. Ribeirão Preto, Holos Editora, 112p.
- Jamro M. M. U. R., Sirohi M. H., Mirbahar A. A., Lal S., Saand M. A. (2020) Production and quality of date fruit in response to pollination methods. *Pure and Applied Biology*. 9 (3), pp1737-1742.
- Junqueira C.N., Augusto S. C. (2017) Bigger and sweeter passion fruits: effect of pollinator enhancement on fruit production and quality. *Apidologie*, 48 (2), 131-140.
- Kessler A., Halitschke R., Poveda K. (2011) Herbivory-mediated pollinator limitation: negative impacts of induced volatiles on plant–pollinator interactions. *Ecology* 92, 1769-1780.
- Klatt B. K., Holzschuh A., Westphal C., Clough Y., Smit I., Pawelzik E., Tscharrntke T. (2014) Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proceedings of the Royal Society*, 281 (1775), 20132440.

- Lautenbach S. (2019) Provisioning ecosystem services at risk: pollination benefits and pollination dependency of cropping systems at the global scale. *In Atlas of Ecosystem Services* (pp. 97-104).
- Luca P. A. D., Vallejo-Marín M. (2013). What's the 'buzz' about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination. *Plant Biology* 16,429–435.
- Magalhães C. B. Freitas B. M. (2013) Introducing nests of the oil-collecting bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini) for pollination of acerola (*Malpighia emarginata*) increases yield. *Apidologie*, 44 (2), 234-239.
- Martin K., Anderson B., Minnaar C. De Jager M. (2019) Honey bees, *Apis mellifera*, are important pollinators of the highbush blueberry variety Ventura despite the inability to sonicate. *BioRxiv*, 551523.
- Melo-Silva C., Gomes F.L., Gonçalves B.B., Bergamini L.L., Bergamini B.A.R., Elias M.A.S., Franceschinelli E.V. (2013) Native bees pollination tomato flowers and increase fruit production. *J. Pollinat. Ecol.* 11, 41–45.
- Michener, C. D., (2007). *The Bees of the World*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Montagnana P. C. (2010) Avaliação de déficit de polinização em tomateiros (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Instituto De Biociências - Rio Claro.
- Monteiro, T. R. (2018). Polinização por abelhas e a qualidade dos frutos em cultivos de berinjela (*Solanum melongena*, Solanaceae). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Montgomery D.C., Peck, E.A., Vining G.G. (2012) *Introduction to Linear Regression Analysis*. 5th Edition. Wiley, 672p.

- Novais S. M., Nunes C. A., Santos N. B., Damico A. R., Fernandes, G. W., Quesada M., Neves A. C. O. (2016) Effects of a possible pollinator crisis on food crop production in Brazil. *PLoS One*, 11 (11), e0167292.
- Nunes-Silva P., Hrcir M., Imperatriz-Fonseca V. L. (2010) A polinização por vibração. *Oecologia Australis*, 14 (1), 140-151.
- Nunes-Silva P., Hrcir M., Silva C. I., Roldão Y. S., Imperatriz-Fonseca V. L. (2013) Stingless bees, *Melipona fasciculata*, as efficient pollinators of eggplant (*Solanum melongena*) in greenhouses. *Apidologie*, 44, 37–546.
- Palma G., Quezada-Euán J. J. G., Reyes-Oregel V., Meléndez V., Moo-Valle H. (2008) Production of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) using *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* and mechanical vibration (Hym.: Apoidea). *Journal of Applied Entomology*, 132 (1), 79-85.
- Parra-Tabla V., Campos-Navarrete M. J., Arceo-Gómez G. (2017) Plant–floral visitor network structure in a smallholder Cucurbitaceae agricultural system in the tropics: implications for the extinction of main floral visitors. *Arthropod-Plant Interactions*, 11, 731–740.
- Pereira AS, Silva F. F.N, Rodrigues A. E., Cunha Filho O. G., Queiroz R. M., Nascimento L. J. (2019). Efeito de polinizadores em diferentes ambientes na cultura do pepino. *Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 9 (1), 18.
- Potts S. G., Biesmeijer J. C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., Kunin W. E. (2010) Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25 (6), 345-353.
- Potts S. G., Imperatriz-Fonseca V., Ngo H. T., Aizen M. A., Biesmeijer J. C., Breeze T. D., Vanbergen A. J. (2016) Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540 (7632), 220-229.

- Pozo M. I., Kemenade G.V., Oystaeyen A. V., Aledón-Catalá T., Benavente A., Ende W. V. D et al. (2020) The impact of yeast presence in nectar on bumble bee behavior and fitness. *Ecol Monog* 90, 0139.
- Rafique M. K., Mahmood R., Stephen E., Irshad M., Sarwar G. (2016) Pollination deficit in mango orchards at Multan, Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 48 (1).
- Rering C. C., Vannette R. L., Schaeffer R. N., Beck J. J. (2020) Microbial co-occurrence in floral nectar affects metabolites and attractiveness to a generalist pollinator. *J Chem Ecol* 46, 659–667.
- Rollin O., Garibaldi L. A. (2019) Impactos da densidade de abelhas no rendimento das culturas: uma metanálise. *Journal of Applied Ecology*, 56, 1152 - 1163. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13355>.
- Rosa J. M., Arioli C. J., Nunes-Silva P., Garcia F. R. M. (2019) Desaparecimento de abelhas polinizadoras nos sistemas naturais e agrícolas: Existe uma explicação?. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18 (1), 154-162.
- Rosi-Denadai C. A., Araújo P. C. S., Campos L. A. D. O., Cosme Jr L., Guedes R. N. C. (2020) Buzz-pollination in neotropical bees: genus-dependent frequencies and lack of optimal frequency for pollen release. *Insect science*, 27 (1), 133-142.
- Samnegård U., Hambäck P. A., Lemessa D., Nemomissa S., Hylander K. (2016) A heterogeneous landscape does not guarantee high crop pollination Proc. R. Soc. B.28320161472.
- Santos A. O. R., Bartelli B. F., Nogueira-Ferreira, F. H. (2014) Potential pollinators of tomato, *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae), in open crops and the effect of a solitary bee in fruit set and quality. *Journal of economic entomology*, 107 (3), 987-994.
- Sharshir F. A., El-Aidy F., Gazzy A. A. (2019) Effect of different pollination treatments on sweet pepper plants grown under plastic house. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 4 (4).

- Silva F. F. D. N. (2018). Uso da *Melipona scutellaris* L., 1811 (Hymenoptera: Apidae) como polinizadora da cultura do pepino. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Paraíba.
- Silva M. A. D. (2015) Efeito de diferentes tratamentos de polinização em tomate cereja *Solanum lycopersicum* var cerasiforme e berinjela *Solanum melongena* em casa de vegetação. Tese de dissertação, Universidade Federal Rural do Semiárido.
- Silva M. A., Assis Oliveira F., Hrcir M. (2015) Efeito de diferentes tratamentos de polinização em berinjela em casa de vegetação. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11 (1), 5.
- Silva Neto C. D. M. E., Ribeiro A. C. C., Gomes F. L., Neves J. G., Campos De Melo A. P., Calil F. N., Franceschinelli E. V. (2018) Interaction between biological and chemistry fungicides and tomato pollinators. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*; 12 (2).
- Silva R.O. (2019) Análise da comercialização do tomate no Estado do Ceará. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará.
- Silva-Neto C. D. M. E., Ribeiro A. C. C., Gomes F. L., Melo A. P. C. D., Oliveira G. M. D., Faquinello P., Nascimento A. D. R. (2019) The stingless bee mandaçaia (*Melipona quadrifasciata* Lepeletier) increases the quality of greenhouse tomatoes. *Journal of Apicultural Research*, 58 (1), 9-15.
- Silva-Neto C.M., Bergamini L.L., Elias M.A.S., Moreira G.L., Morais J.M., Bergamini B.A.R., Franceschinelli E.V. (2017) High species richness of native pollinators in Brazilian tomato crops. *Brazilian Journal of Biology*, 77 (3), 506-513.
- Slaa E.J., Sanchez L.A., Malagodi-Braga K.S., Hofstede F.E. (2006) Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. *Apidologie*, 37, 293-315.
- Smith M. R., Singh G. M., Mozaffarian D., Myers S. S. (2015) Effects of decreases of animal pollinators on human nutrition and global health: a modelling analysis. *Lancet* 386:1964–1972.

- Sousa, F. C. et al. (2013) Propriedades físicas e físico-químicas de polpa de juazeiro. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8 (2), 68-71.
- Sritongchuay T., Hughes A.C., Memmott J., Bumrungsri S. (2019) Forest proximity and lowland mosaic increase robustness of tropical pollination networks in mixed fruit orchards. *Landscape and Urban Planning*, 192, 103646.
- Tavares P. R. A., Alves-Junior V. V., Morais G. A., Polatto, L. P. (2017) A interrelação entre a morfologia floral de *Solanum lycocarpum* e o tamanho corporal das abelhas visitantes garante o sucesso reprodutivo? *Interciencia*, 42 (6), 375-379.
- Torres-Ruiz A., Jones R. W. (2012) Comparison of the efficiency of the bumble bees *Bombus impatiens* and *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae) as pollinators of tomato in greenhouses. *Journal of economic entomology*, 105 (6), 1871-1877.
- Vaissière B. E., Freitas B.M., Gemmill-Herren. (2011) Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use. FAO, Roma
- Velthuis H. H. W., Van Doorn A. (2006) A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidiologie*
- Vinícius-Silva R., Parma D. D. F., Tostes R. B., Arruda V. M., Werneck M. D. V. (2017) Importance of bees in pollination of *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) in open-field of the Southeast of Minas Gerais State, Brazil. *Hoehnea*, 44 (3), 349-360.
- Webber S. M., Garratt M. P., Lukac M., Bailey A. P., Huxley T., Potts S. G. (2020) Quantifying crop pollinator-dependence and pollination deficits: The effects of experimental scale on yield and quality assessments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 304, 107106.
- Wolowski M., Agostini K., Rech A. R., Varassin I. G., Maués M., Freitas L., Saraiva A. M. (2019) Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil. Espírito Santo: REBIPP.

- Xie Z., Wang J., Pan D., An J. (2019) Landscape-modified concentration effect and waylaying effect of bees and their consequences on pollination of mass-flowering plants in agricultural ecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 280, 24-34.
- Yankit P., Rana K., Sharma H. K., Thakur M., Thakur R. K. (2018) Effect of bumble bee pollination on quality and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) grown under protected conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7 (1), 257-263.
- Zambon V. (2015) Biologia da polinização e eficácia de polinização em *Solanum melongena* L. (Solonaceae). Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Universidade de São Carlos.

FIGURE LEGENDS

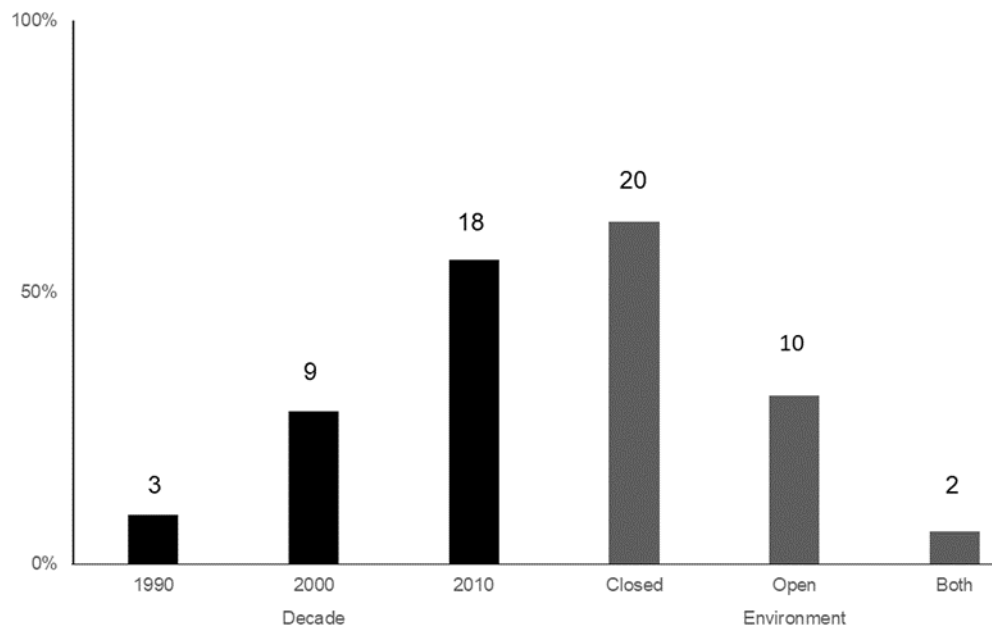


Figure 1. Percentage of studies on tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) pollination and its influence on production conducted along the decades and in different environments. Closed: greenhouses; Open: open plantations; Both: both situations. Numbers on bars indicate number of studies.



Figure 2. Study sites sampled on studies on tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) pollination and its influence on production.

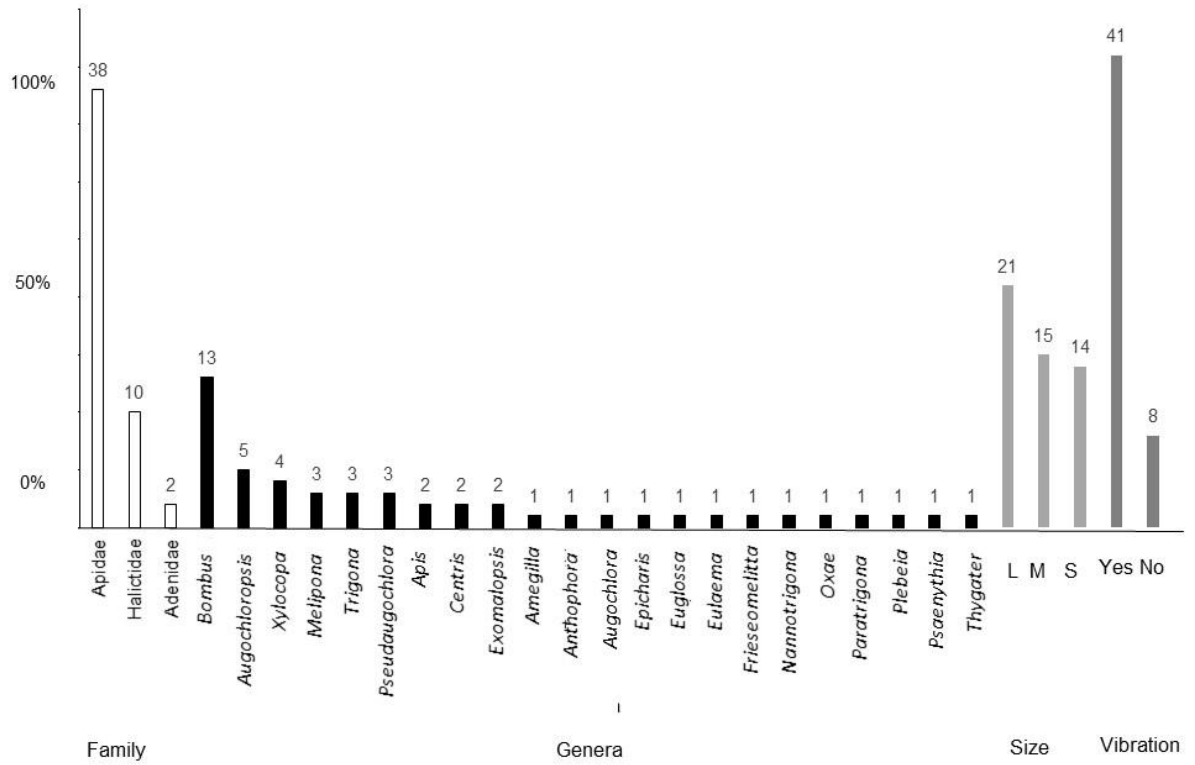


Figure 3. Percentages of bee families and genera, their sizes and vibration capacity during floral visits (buzz pollination) recorded in studies on tomato pollination (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae). L: large; M: medium; S: small; Yes: it has the ability to vibrate during a visit; No:

does not have the ability to vibrate during visits. Numbers on bars indicate number of studies.

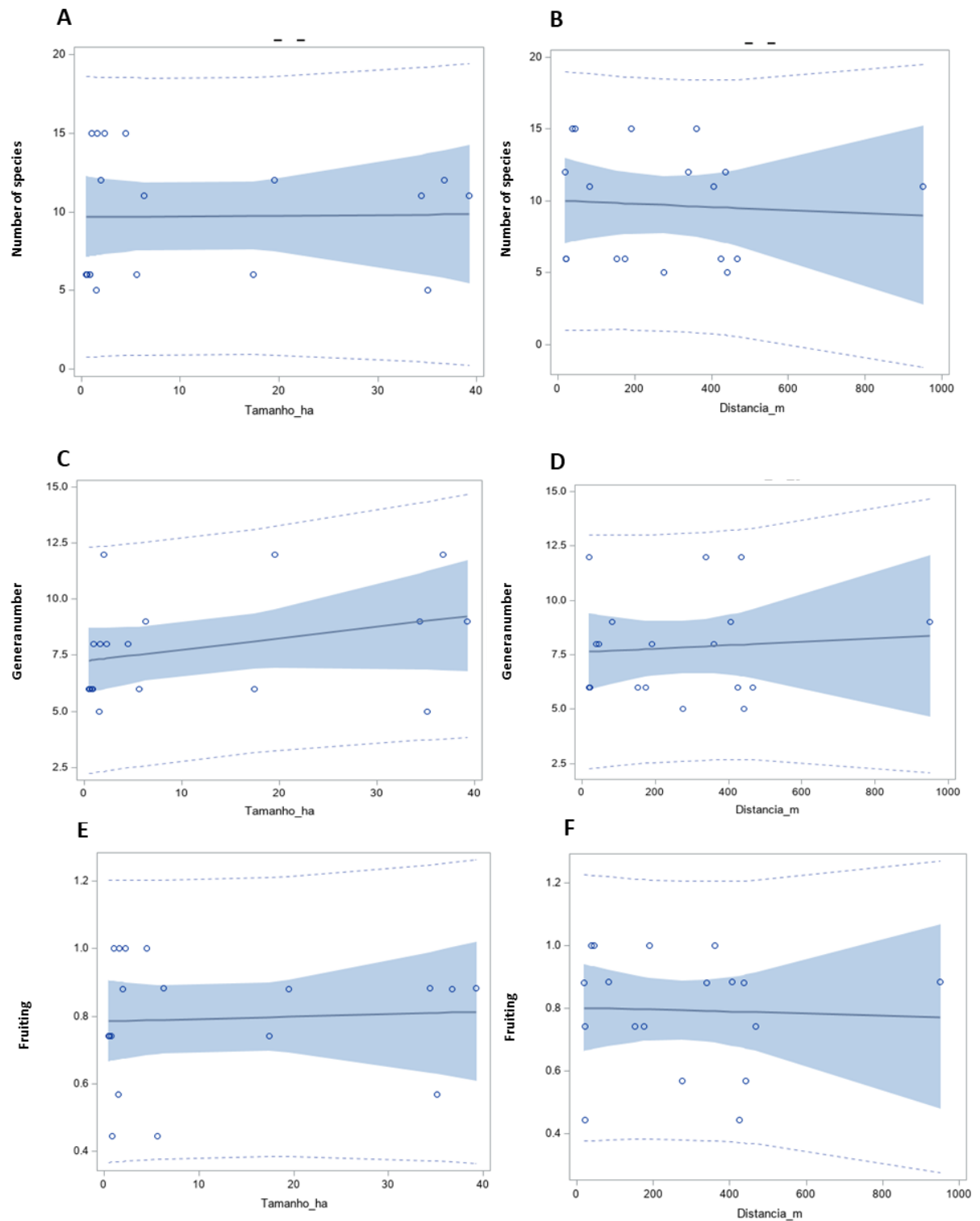


Figure 4. Linear regressions for number of genera of floral visitors (A-B), number of species of floral visitors (C-D) and fruit production after natural pollination (E-F) in tomato crops (*Solanum lycopersicum*, Solanaceae) as a function of sizes (ha) and distances of fragments (m) of native vegetation located in a 500m radius from the plantations.

	<i>Paratrigona lineata</i> , Lepeletier, 1836	N
		V
	<i>Plebeia frontalis</i> , Friese, 1911	N
		V
	<i>Thygater analis</i> , Lepeletier, 1841	V
	<i>Trigona biroi</i> sp. Friese, 1898	N
		V
	<i>Trigona iridipennis</i> , Smith, 1854	N
		V
	<i>Trigona spinipes</i> , Fabricius, 1793	N
		V
	<i>Xylocopa frontalis</i> , Olivier, 1789.	V
	<i>Xylocopa hottentata</i> , Latreille, 1802	V
	<i>Xylocopa spident</i> , Latreille, 1802	V
	<i>Xylocopa varipes</i> , Smith, 1854	V
Hali	<i>Augochlora</i> spp. Cockerell, 1897	V
ctidae		
	<i>Augochloropsis collichroa</i> , Cockerell,	V
1900		
	<i>Augochloropsis cupreola</i> , Smith, 1879	V
	<i>Augochloropsis electra</i> , Smith, 1853	V
	<i>Augochloropsis smithiana</i> , Cockerell,	V
1900		
	<i>Augochloropsis</i> spp. Schrottky, 1906	V
	<i>Pseudaugochlora erythrogaster</i> ,	V
Almeida, 2008		
	<i>Pseudaugochlora graminea</i> , Fabricius,	V
1804		
	<i>Pseudaugochlora</i> spp. Michener, 1954	V
