

REINALDO RODRIGO NOVO

Polinização e aspectos reprodutivos de culturas agrícolas: estudos de caso no nordeste
brasileiro

RECIFE

2015

REINALDO RODRIGO NOVO

Polinização e aspectos reprodutivos de culturas agrícolas: estudos de caso no nordeste brasileiro

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção dos créditos na disciplina Seminário B.

Orientadora

Dra. Cibele Cardoso de Castro

Co-orientadores

Elcida de Lima Araujo

Luiz Gonzaga Biones Ferraz

RECIFE

2015

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio e amor incondicional.

Aos meus irmãos pela força e credibilidade depositadas.

A minha querida orientadora pela confiança e paciência durante todos esses anos de pós-graduação e pelo exemplo de pessoa e profissional no qual eu me espelho diariamente.

A minha companheira Ana Livia, pelo apoio, confiança e lealdade. Te amo.

Aos amigos Natan e Thiago pelos quais tenho muito apreço.

Ao Luiz Gonzaga Biones Ferraz pelo apoio (IPA) por sempre me receber de portas abertas e a Profa. Elcida de Lima Araujo pela confiança.

Aos colegas e professores do Lera.

A profa. Carmen Zickel e a todos os colegas e professores do PPGB.

A CAPES por financiar mais essa etapa da minha vida profissional.

Obrigado.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

Lista de tabelas

Capítulo 1 - Avaliação de aspectos reprodutivos de culturas agrícolas no nordeste do Brasil

Tabela 1. Resultados referentes ao sistema reprodutivo de espécies frutíferas cultivadas no nordeste do Brasil. 54

Tabela 2. Resultado das comparações (qui-quadrado) dos dados de sistema reprodutivo de espécies frutíferas cultivadas no nordeste do Brasil. 55

Capítulo 2 - Aspectos reprodutivos de *Averrhoa carambola* (carambola): uma espécie cultivar com mecanismo reprodutivo complexo

Tabela 1. Medidas das peças florais de *Averrhoa carambola* em área de cultivo experimental na região nordeste do Brasil. 72

Tabela 2. Resultados dos tratamentos de polinização manual e controle em flores de *Averrhoa carambola* na região nordeste do Brasil. 76

Lista de figuras

Capítulo 1 - Avaliação de aspectos reprodutivos de culturas agrícolas no nordeste do Brasil

- Figura 1. Número de visitantes florais observados em espécies frutíferas de cultivos da região nordeste do Brasil. 56
- Figura 2. Espécies frutíferas de cultivos da região nordeste do Brasil. 57

Capítulo 2 - Aspectos reprodutivos de *Averrhoa carambola* (carambola): uma espécie cultivar com mecanismo reprodutivo complexo

- Figura 1. Histograma de frequência das medidas florais referentes à separação estigma-antera das flores de *Averrhoa carambola* em área de cultivo experimental na região nordeste do Brasil. 73
- Figura 2. Frequência de visitas florais observadas em *Averrhoa carambola* na região nordeste do Brasil. 74
- Figura 3. Flores e polinizadores de *Averrhoa carambola* na região nordeste do Brasil. 75

SUMÁRIO

Resumo	10
Abstract	11
Introdução Geral	12
Revisão de literatura	13
Polinização: um serviço ecossistêmico	13
Declínio dos polinizadores: Causas x Consequências	16
Iniciativas mitigadoras do declínio de polinizadores nas culturas	17
Referências bibliográficas	20
Capítulo 1 - Avaliação de aspectos reprodutivos de culturas agrícolas no nordeste do Brasil	31
Resumo	33
Introdução	34
Material e métodos	35
Resultados	39
Discussão	41
Referencias bibliográficas	45
Capítulo 2 - Aspectos reprodutivos de <i>Averrhoa carambola</i> L.: uma espécie cultivar com mecanismo reprodutivo complexo	58
Resumo	60
Introdução	60
Material e métodos	61
Resultados	64
Discussão	65
Referencias bibliográficas	68
Considerações finais	77

Resumo

A formação de frutos e sementes de aproximadamente 35% das espécies cultivadas é dependente dos serviços de polinização. Variações na manutenção das populações de polinizadores podem influenciar no número e na qualidade desses frutos e sementes, de modo que a conservação de polinizadores e de seus habitats é de fundamental importância para evitar o declínio na produção de espécies cultivadas. Para planejar o manejo de polinizadores é necessário que se conheça os requerimentos reprodutivos e a polinização das culturas. O objetivo desse estudo foi investigar a biologia reprodutiva de espécies frutíferas e o comportamento dos visitantes presentes, com ênfase na investigação dos requerimentos exigidos para sua reprodução. No primeiro capítulo foi investigado cultivos de acerola (*Malpighia emarginata* DC.), goiaba (*Psidium guajava* L., Myrtaceae), pitanga (*Eugenia uniflora* L., Myrtaceae) e coco (*Cocos nucifera* L., Arecaceae). Todas as espécies foram classificadas na categoria pertencente à síndrome da melitofilia no que diz respeito à biologia floral. O sistema reprodutivo se apresentou sem barreiras quanto ao tipo de polinização aplicada nos experimentos de cruzamentos manuais, com formação de frutos em todos os tratamentos aplicados. Os polinizadores e a frequência em que foram registrados, respectivamente foram *Apis mellifera* L., *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793) e *Xylocopa* sp. A formação de frutos parece influenciada por outros meios de reprodução abiótica ou espontânea, além da presença dos visitantes registrados, mesmo nas espécies com maior complexidade morfológica. O segundo capítulo apresenta a biologia floral e o sistema reprodutivo da frutífera carambola (*Averrhoa carambola*). A espécie é categorizada na síndrome da melitofilia e é descrita como distílica, entretanto, a população estudada apresentava um único morfo, de estilete longo (longistilico). A investigação do sistema reprodutivo não detectou a presença de auto-incompatibilidade, havendo formação de frutos nos diferentes testes de cruzamento manual e espontâneo. A Abelha *A. mellifera* foi a única observada visitando suas flores, e o seu comportamento foi legítimo dentro da flor. Os resultados aqui obtidos colaboram com informações que podem auxiliar no processo de manejo de polinizadores desse cultivares com base nos requerimentos de cada uma das espécies, otimizando a produção e reduzindo as perdas provenientes do processo de polinização.

Palavras chave: requerimentos reprodutivos, polinizadores, biologia floral, espécies frutíferas

Abstract

About 35% of the cultivated species depend on the pollination to bear fruit and seeds. These fruits and seeds could have their number and quality affected by the constant variation of the maintenance on pollinator population, the conservation of pollinators and his habitats it is such important to avoid the crop production decrease. To plan the management of pollinators is necessary to know deeply the reproductive requirements and pollinators culture. This study has the objective investigate the reproductive biology of the fruitful species and the comportment of the present visitors, which emphasizes on the investigation of the requirements needed for their reproduction. At the first chapter was investigated crops of West Indian cherry (*Malpighia emarginata* DC.), guava (*Psidium guajava* L., Myrtaceae), Surinam cherry (*Eugenia uniflora* L., Myrtaceae) and coconut (*Cocos nucifera* L., Areaceae). All of these species are classified on the category which belongs to bee-pollination syndrome with respect to floral biology. The reproductive system presented himself with no obstruction as to the applied pollination type in the manual crossing experiments, with fruit formation in all of applied treatments. The pollinators and the frequency of the registry are respectively: *Apis mellifera* L., *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793) and *Xylocopa* sp. The fruit formation seems to be affect by others abiotic means of reproduction or spontaneous, besides the registered visitor presence, even in species with more morphological complexity. The second chapter presents the floral biology and reproductive system of fruitful star fruit (*Averrhoa carambola*). This specie belongs to the bee-pollination syndrome and is described as distylous, however, studied population presents only one morfo, with long stylus (long-styled). The investigation of reproductive system, doesn't detect self-incompatibility presence, bearing fruit on two different crossing experiments: manual and spontaneous. The bee *A. mellifera* was the only observed visiting the flowers, and your behavior was legitimate inside the flower. The results contained on this article contribute with information to help on the management of pollinators on these studied crops based on the requirements each one the species, optimizing the production and reducing the lost from the pollination process.

Introdução geral

A polinização consiste na transferência dos grãos de pólen das anteras de uma flor para o estigma da mesma flor, das flores do mesmo indivíduo, de diferentes indivíduos da mesma espécie ou de espécies distintas (DAFNI, 1992). O sistema de polinização é fundamental no ciclo de vida das angiospermas, podendo ocorrer através de mecanismos bióticos e abióticos (KEVAN, 1999). A polinização é um serviço ecossistêmico básico, prestado pela biodiversidade; aproximadamente 35% das espécies cultivadas pelo homem são dependentes desse serviço para a formação de frutos e sementes (KEVAN e IMPERATRIZ-FONSECA, 2002; ASHMAN et al., 2004; AGUILAR et al. 2006; KLEIN et al., 2007; RICKETTS et al., 2004). Além disso, pode contribuir para melhorar em quantidade e qualidade a produção de frutos e sementes, bem como diminuindo eventos de má-formação (KEVAN e IMPERATRIZ-FONSECA, 2002).

Evidências claras mostram a diminuição, em escala global, das populações de animais polinizadores, conseqüentemente, devido à importância desses agentes na reprodução das plantas, também uma queda na produção de culturas agrícolas dependentes destes serviços (ALLEN-WARDELL et al., 1998; KEVAN, 1999; KEVAN e VIANA, 2003; AGUILAR et al., 2006; FREITAS et al., 2009; POTTS et al., 2010). Entende-se que este processo ocorre por diversos fatores, tais como alteração e perda de habitats, mudanças climáticas, competição entre espécies, infecção por patógenos e uso indiscriminado de defensivos agrícolas (ALLEN-WARDELL et al., 1998; KEVAN, 1999; POTTS et al., 2010).

A introdução de colmeias de abelhas em culturas agrícolas tem sido uma solução encontrada para suprir o requerimento das espécies cultivadas, a fim de aumentar a quantidade e a qualidade da produção (FREE, 1993; FREITAS, 1998; DAG e EISIKOWITCH, 1995; PARANHOS, 1996; KLEIN et al., 2007; POTTS et al., 2010). Contudo, é uma atividade que exige conhecimento sobre caracteres reprodutivos das espécies vegetais tais como biologia floral e fisiologia, assim como características do(s) polinizador (es) mais eficiente(s), como seu horário de atividade, comportamento na flor, frequência de visitas e recurso procurado (FREITAS, 1998). Juntamente com a introdução de polinizadores, a conservação de áreas nativas, é uma ação que favorece o manejo de polinizadores em áreas de cultivo (MALERBO e COUTO, 1998;

LEOPOLDINO et al., 2002; ROUBIK, 2002a, b, MALERBO-SOUZA et al., 2003b; FREITAS e OLIVEIRA-FILHO, 2003, MARCO e COELHO, 2004; RICKETTS et al., 2004). Entretanto, o conhecimento do sistema reprodutivo, sexual e de polinização, bem como o comportamento dos animais polinizadores fornecem dados sobre o requerimento da espécie cultivada, possibilitando a otimização das ações de incremento de polinizadores e de produção das culturas. Conseqüentemente, possibilita um melhor aproveitamento do potencial reprodutivo para a formação de frutos e sementes.

Diante da relevância dos polinizadores para a produção agrícola, e da necessidade do desenvolvimento de estratégias de mitigação dos efeitos da depleção desses animais na agricultura, especialmente as espécies nativas, o presente estudo teve como principal objetivo investigar os requerimentos para a reprodução de culturas agrícolas nordestinas, determinando a diversidade, abundância e frequência de seus polinizadores, bem como os mais eficientes para cada cultura.

Revisão da literatura

Polinização de culturas agrícolas: um serviço ecossistêmico

Serviços ecossistêmicos são benefícios diretos e indiretos obtidos pelo ser humano a partir dos ecossistemas. Constituem, em última instância, fluxos de materiais, energia e informações derivados dos ecossistemas naturais e cultivados e que, combinados com os demais tipos de capital (humano, manufaturado e social), produzem o bem-estar humano (SANTOS et al., 2001; RICKETTS, 2004; DE MARCO e COELHO, 2004). Trata-se de bens como alimentos, fibras, madeira, além de outros, e serviços gerados pelo ecossistema que apresente possibilidade/potencial de ser utilizada para fins humanos (HUETING et al., 1998). Esses serviços envolvem processos biológicos, químicos e geológicos como transferência de energia, (re)ciclagem de nutrientes, regulação de gás, regulação climática, ciclo da água, formação do solo, controle biológico, recurso genético, beleza natural, entre outros (DAILY, 1997; COSTANZA et al., 1997; DE GROOT et al., 2002; KREMEN et al., 2007).

A polinização consiste na transferência dos grãos de pólen das anteras de uma flor para o estigma da mesma flor, das flores do mesmo indivíduo, de diferentes indivíduos da mesma espécie ou de espécies diferentes, sendo fundamental no ciclo de

vida das angiospermas porque possibilita o encontro dos gametas masculino e feminino (DAFNI, 2005). A reprodução vegetal e aspectos envolvidos, como a polinização, que resulta das atividades de agentes abióticos (vento e água), ou bióticos (insetos, pássaros e morcegos), são serviços ecossistêmicos essenciais para a manutenção da produtividade agrícola (KEVAN e IMPERATRIZ-FONSECA, 2002; ASHMAN et al., 2004; FAO, 2004; AGUILAR et al., 2006; KLEIN et al., 2007; RICKETTS et al., 2008; POTTS et al., 2010).

Muitas plantas de importância econômica dependem de insetos para incrementar sua produção, e a polinização insuficiente resulta no insucesso reprodutivo e consequentemente no impacto econômico da produção agrícola (PIAS e GUTIÁN, 2006). Mesmo quando algumas dessas espécies são capazes de formar frutos por autopolinização espontânea, a ação dos polinizadores pode ter impacto positivo na qualidade e na quantidade dos frutos e sementes produzidos (ALLEN-WARDELL et al., 1998; ROUBIK, 2002, DE MARCO e COELHO, 2004; SUNDRIYAL e SUNDRIYAL, 2004; D'ÁVILA e MARCHINI, 2005).

Estima-se que até 90% das angiospermas sejam polinizadas por animais, principalmente por insetos (KREMEN et al., 2007; RICKETTS, 2004), dentre os quais, destacam-se as abelhas como o principal grupo de polinizadores (DELAPLANE e MAYER, 2000). Dentre as espécies vegetais cultivadas mundialmente, aproximadamente 35% são dependentes de animais polinizadores (KLEIN et al., 2007), das quais 73% são polinizadas por espécies de abelhas, 19% por moscas, 6,5% por morcegos, 5% por vespas, 5% por besouros, 4% por aves e 4% por borboletas e mariposas (FAO, 2004). O valor econômico mundial da polinização por insetos segundo estimativas do ano de 2005 é de cerca de 150 bilhões de euros por ano (GALLAI et al., 2009), o que corresponde a 9,5% do total valor econômico gerado apenas por culturas utilizadas diretamente como alimento para o homem (LOSEY e VAUGHAN, 2006). Na América do Sul, o valor econômico dos serviços da polinização é de 11,6 bilhões de euros por ano (POTTS et al., 2010). No Brasil, pouco se conhece sobre o valor econômico da polinização realizada por animais porque esta não é avaliada como um fator de produção na agricultura, ou para conservação dos ecossistemas silvestres (Freitas e Imperatriz-Fonseca (2005)

A população humana depende de forma direta e indireta dos polinizadores para produção de 1/3 dos alimentos que consomem (RICHARD, 1993). Além disso, esse serviço ecossistêmico é responsável pela manutenção da diversidade genética das plantas e de outros processos indiretamente envolvidos como a manutenção de populações de herbívoros e frugívoros (NABHAN, 1996).

A produção agrícola pode aumentar com o aumento da população (MALERBO-SOUZA et al., 2003b) e da diversidade de polinizadores (HOEHN et al., 2008; KLEIN et al., 2003), e também quando a cultura está próxima a fragmentos de vegetação nativa, os quais representam habitat mais propícios para polinizadores (HEARD, 1999), atuando na manutenção dos mesmos, como investigado em plantações no Brasil (MARCO e COELHO, 2004; FLORES, 2012) e em outros países tropicais (ROUBIK, 2002a, RICKETTS et al., 2004).

Exemplos de culturas que comprovadamente são beneficiadas pela presença de polinizadores são o abacate (*Persea americana* Mill.), que pode reduzir em até 81% na produção de frutos na ausência de polinizadores (MALERBO-SOUZA et al., 2000); a acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), que pode aumentar em até 53%, a produção com visita adequada dos polinizadores, elevando o peso dos frutos, número de sementes e também tornando a forma do fruto mais regular (VILHENA e AUGUSTO, 2007); o algodão (*Glossypium hirsutum* L.), que exibiu aumento na produção de frutos e sementes em até 24% em cultivos nos Estados Unidos, Rússia, Egito (MCGREGOR et al., 1955), bem como aumento de até 28% no peso de frutos e sementes (AHMED et al., 1989); o café (*Coffea arabica* L.) pode aumentar a produtividade entre 14% (DE MARCO e COELHO, 2004) e 50%, (RICKETTS et al., 2008); a cebola (*Allium cepa* L.) pode exibir aumento do número de sementes entre 20% (Waters 1972) e 40% (WITTER e BLOCHTEIN, 2003), e em alguns casos aumentou a produção em 60% (EWIES e EL-SAHHAR, 1977); a laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) pode ter aumento de até 35% na produção de frutos quando expostas a ação dos polinizadores (MALERBO-SOUZA et al., 2003a), bem como outras espécies e variedades de *Citrus* (MANZOORUL-HAQ et al., 1978, KREZDORN, 1972); o maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims.), aumentou a produção de frutos entre 25% (Freitas e Oliveira-Filho 2003) e 700% (CAMILLO 1996a,b);e ainda o melão (TRINDADE et al., 2004), o

umbu (NADIA et al., 2007), a goiaba (Alves and Freitas 2007) e o morango (Antunes et al 2007).

Declínio dos polinizadores: causas e consequências

Existem evidências claras da diminuição das populações de polinizadores a redor do mundo e, conseqüentemente, da produção de culturas agrícolas que deles dependem (ALLEN-WARDELL et al., 1998; KEVAN, 1999; KEVAN e VIANA, 2003; AGUILAR et al., 2006; FREITAS et al., 2009; POTTS et al., 2010).

A diminuição das populações de polinizadores ocorre devido a diversos fatores, tais como alteração e perda de habitat através da fragmentação causada em grande parte pelo desmatamento que inevitavelmente reduz populações de plantas utilizadas como fonte de alimento e nidificação (CANE e TEPEDINO, 2001; RUIJTER, 2002; SHEPHERD et al., 2003; POTTS et al., 2005, CANE et al. 2006, KREMEN et al., 2007). Na Caatinga, por exemplo, as árvores, troncos e galhos, usados como locais de nidificação pelas abelhas sociais nativas e abelhas solitárias são utilizadas para lenha e/ou eliminados por atividades antrópicas. Meleiros também têm destruído várias árvores no processo de coleta de mel para consumo e comercialização, neste processo cada coletor colhe em média 450 quilogramas de mel em três meses, levando cada um a destruir de 35 a 40 árvores de importância econômica relevante à região semiárida do Nordeste, no período de extração (IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2005).

As técnicas utilizadas na agricultura tradicional tornam o ambiente insalubre para os polinizadores devido à escassez de recursos e condições físicas necessários para a manutenção de suas populações e sua sobrevivência (HEARD, 1999). Dessa forma, a mudança na paisagem, resultante da conversão de florestas naturais em grandes áreas de monocultura, provocam a perda da biodiversidade de plantas e animais através da extinção local de espécies causadas pelo isolamento dessas espécies em pequenos fragmentos, (GASCON et al., 1999). No geral, os polinizadores também sofrem com o isolamento e conseqüentemente as espécies que deles dependem uma vez que a perda dessas espécies de polinizadores leva a diminuição da produtividade agrícola de diversas culturas (VICENS e BOSCH, 2000).

Outros fatores que contribuem para a redução de polinizadores são mudanças climáticas, introdução de animais exóticos que competem com espécies nativas, introdução de espécies de planta exóticas cultivadas em grandes áreas e que muitas vezes representam recursos escassos para os polinizadores, infecção por patógenos e uso indiscriminado de defensivos agrícolas e pesticidas que repelem, matam ou afetam negativamente a fisiologia dos insetos (ALLEN-WARDELL et al., 1998; KEVAN, 1999; BROWN e MITCHELL, 2001; CHITTKA e SCHÜRKEN, 2001; ROBINSON e SUTHERLAND, 2002; TSCHARNTKE et al., 2002; POTTS et al., 2010).no início da década de 1970, no Canadá, o uso de pesticidas letais para as abelhas nativas foi o responsável pela decadência dos cultivos de blueberry (*Vaccinium myrtillus*) que dependiam dos serviços de polinização (KEVAN e PHILLIPS, 2001).

O cenário global de depleção das populações de polinizadores levou à organização de uma iniciativa de caráter mundial para a conservação dos mesmos, a Iniciativa Internacional de Polinizadores, aprovada em 2005 pela Convenção da Diversidade Biológica (acessível em: <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=7147>). Também ocorreram iniciativas continentais, nacionais e regionais caracterizadas por ações em prol da compreensão e divulgação do papel dos polinizadores na realização de serviços ambientais. O Brasil possui a Iniciativa Brasileira dos Polinizadores, reconhecida oficialmente pelo Ministério do Meio Ambiente, e que em seu último documento recomenda a conservação de polinizadores nativos, de áreas de vegetação nativa próximas às áreas cultivadas e o uso de práticas agrícolas que causem menos impacto à fauna de polinizadores (DIAS et al., 1999; KEVAN e IMPERATRIZ-FONSECA, 2002).

Iniciativas mitigadoras do declínio de polinizadores nas culturas

Se por um lado a presença de polinizadores é necessária nas culturas, podendo incrementar a produção, e por outro existe uma crise mundial relacionada à redução nas populações destes animais, torna-se premente a investigação de estratégias que favoreçam o aumento das populações e da diversidade de polinizadores nas culturas. Dentre as soluções mais discutidas, a conservação de vegetação nativa próxima a áreas cultivadas (MARCO e COELHO, 2004; RICKETTS, 2004) harmoniza a relação entre esses ambientes de modo a promover o trânsito desses animais entre as áreas, que a eles fomentam abrigo e alimento.A introdução de ninhos artificiais (FREITAS e

OLIVEIRA-FILHO, 2003) ou colmeias nas culturas é a técnica mais difundida atualmente.

A proximidade do cultivo com áreas naturais e a implantação de sistemas agroflorestais tem fornecido resultados positivos na obtenção de ambientes com maior conectividade e favorecendo a manutenção da biodiversidade de espécies (VANDERMEER e PERFECTO, 2007). Estudos tem demonstrado a eficácia dos serviços de polinização em cultivos próximos a fragmentos através do aumento da produtividade e da qualidade dos frutos produzidos (KLEIN et al., 2003; RICKETTS, 2004). Em um recente levantamento de estudos relacionados a mudanças de paisagens e os serviços de polinização em sistemas agrícolas, Viana et al (2012) observaram que para muitos autores, a organização espacial da paisagem exerce forte influencia na sobrevivência e na capacidade de dispersão de muitos polinizadores, pelo fato de que essa organização afeta a disponibilidade de recursos e a conectividade entre as paisagens. Desse modo, Viana et al (2012) reforça que aspectos do fragmento como o tamanho, o formato, o ambiente natural, bem como os diferentes tipos de ambiente cria diferentes níveis conectividade entre si ou mesmo formando uma barreiras de movimento entre os fragmentos, influenciando o fluxo dos polinizadores entre as paisagens e conseqüentemente o fluxo de pólen.

A introdução de colmeias de abelhas em culturas agrícolas, ou polinização apícola, tem sido a estratégia mais utilizada para elevar a quantidade e a qualidade da produção (FREE, 1993; FREITAS, 1998; DAG e EISIKOWITCH, 1995; PARANHOS, 1996; KLEIN et al., 2007; POTTS et al., 2010). Contudo é uma atividade que exige conhecimento sobre os requerimentos reprodutivos da espécie tais como a morfologia e biologia floral, sua fisiologia, bem como do(s) polinizador (es) mais eficiente(s) e a sua estratégia de forrageio, como horário de atividade, comportamento na flor, frequência de visitas e recurso procurado (FREITAS, 1998). A polinização apícola é relativamente comum em países desenvolvidos, tais como Canadá, Estados Unidos e países da União Europeia, mas pouco praticada em países em desenvolvimento (KEVAN e IMPERATRIZ-FONSECA, 2002). No Brasil é ainda incipiente, se levarmos em consideração o número de espécies cultivadas. Existem estudos dessa prática para o cultivo de café (SEBRAE, 2009), caju (FREITAS, 1994), laranja (PARANHOS, 1996),

maçã (PARANHOS et al., 1998), mamona (MILFONT et al., 2009), melão (SOUSA, 2008) e pimentão (SILVA et al., 2005).

A espécie mais utilizada no manejo de polinizadores em culturas agrícolas é *A. mellifera* (POTTS et al., 2010). Nos Estados Unidos essa abelha beneficiou a agricultura em 14,6 bilhões em 2000 (MORSE e CALDERONE, 2000). No entanto, existem várias espécies melitófilas cultivadas nas quais espécies de abelhas nativas são necessárias, ou são mais eficientes devido à presença de mecanismos reprodutivos complexos ou específicos, envolvendo em seu processo reprodutivo um comportamento especializado por parte do polinizador, como a acerola (MARTINS et al., 1999; MAGALHÃES 2012), a abóbora (TEPEDINO, 1981) e o caju polinizadas por espécies de *Centris* (MELO et. al., 1997; FREITAS et al., 2002) um gênero de abelhas altamente especializadas. A alfafa (*Medicago sativa*), a maçã (*Malus domestica* Borkh), o tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) e o maracujá (*Passiflora edulis*), também são exemplos de espécies polinizadas por espécies nativas, como abelhas do gênero *Megachile* (FREE, 1993), *Osmia*, *Bombus*, *Anthoophora* e *Xylocopa*, dentre outra espécies (SAZIMA e SAZIMA 1989; MALAGODI-BRAGA, 2004; GREENLEAF e KREMEN, 2006). Estes dados apontam a importância ecológica e econômica desses animais, contudo, as espécies nativas comumente estão disponíveis em número inferior para o serviço de polinização comparado ao de *A. mellifera*, o que leva ao produtor preferir a utilização da mesma nas culturas, apesar de serem muitas vezes menos eficientes que as nativas.

Uma alternativa viável para colaborar com o conhecimento e reduzir o déficit de polinização de diversas espécies vegetais cultiváveis é conhecer os requerimentos reprodutivos das mesmas, seus polinizadores mais eficientes e respectivo comportamento de forrageamento. Esses estudos permitem desenvolver estratégias específicas envolvendo proteção e restauração do habitat dos polinizadores (SHULER et al., 2005), viabilizando ações como o próprio manejo em condições controladas e introdução nas áreas agrícolas, de modo a garantir a produção satisfatória de frutos e sementes (SLAA et al., 2006).

Referências bibliográficas

AGUILAR, R.; ASHWORTH, L.; GALETTO, L.; AIZEN, M.A. 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. **Ecology Letters**, v. 9, p. 968-980, 2006.

AHMED, H. M. H.; SIDDIG, M. A.; EL-SARRAG, M. S. A. Honeybee pollination of some cultivated crops in Sudan. In: **Proceedings of the Fourth International conference on apiculture in tropical climates, Cairo, Egypt. November, 1988**. London: International Bees Research Association, 1989.

ALLEN-WARDELL, G.; BERNHARDT, P.; BITNER, R.; BURQUEZ, A.; BUCHMANN, S.; CANE, J.; COX, P.A.; DALTON, V.; FEINSINGER, P.; INGRAM, M.; INOUE, D.; JONES, C. E.; KENNEDY, K.; KEVAN, P.; KOPOWITZ, H.; MEDELLIN, R.; MEDELLIN-MORALES, S.; NABHAN, G. P.; PAVLIK, B.; TEPEDINO, V.; TORCHIO, P.; WALKER, S. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. **Conservation Biology**, v. 12, p. 8-17, 1998.

ALVES, J. E.; FREITAS, B. M. Comportamento de pastejo e eficiência de polinização de cinco espécies de abelhas em flores de goiabeira (*Psidium guajava* L). **Revista de Ciência Agronômica**, v. 37, p. 216-220, 2006

ANTUNES, O. T.; CALVETE, E. O.; ROCHA, H. C.; NIENOW, A. A.; CECCHETTI, D.; RIVA, E.; MARAN, R. E. Produção de cultivares de morangueiro polinizadas pela abelha jataí em ambiente protegido. **Horticultura brasileira**, v. 25, p. 94-99, 2007.

ASHMAN, T. L.; KNIGHT, T. M.; STEETS, J. A.; AMARASEKARE, P.; BURD, M.; CAMPBELL, D. R.; DUDASH, M. R.; JOHNSTON, M. R.; MAZER, S. J.; MITCHELL, R. J.; MORGAN, M. T.; WILSON, W. G. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. **Ecology**, v. 85, p. 2408–2421, 2004.

CAMILLO, E. Polinização do maracujá amarelo. In: Congresso brasileiro de apicultura, 11, 1996, Teresina. Anais... Teresina : Confederação Brasileira de Apicultura, 1996b. p.317-321.

CAMILLO, E. Utilização de espécies de *Xylocopa* (Hymenoptera, Anthophoridae) na polinização do maracujá amarelo. In: ENCONTRO SOBRE ABELHAS, 2., 1996, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto : Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto, 1996a. p.141-146.

CORBET, S. A. Fruit and seed production in relation to pollination and resources in bluebell, *Hyacinthoides non-scripta*. **Oecologia**, v. 114, p. 349–360, 1999.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R. S.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997.

D'ÁVILA, M.; MARCHINI, L. C. **Polinização realizada por abelhas em culturas de importância econômica no Brasil**. Boletim da Indústria Animal, Nova Odessa, SP. 90p.

DAFNI, A. **Pollination ecology: a practical approach**. New York: Oxford, University Press, 1992.

DAG, A.; EISIKOWITCH, D. The influence of hive location on honeybee foraging activity and fruit set in melons grown in plastic greenhouses. **Apidologie**, v. 26, p. 511-519, 1995.

DAILY, G. **Nature's services: societal dependence on natural ecosystem**. Washington DC: Island Press, 1997.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v: 41, p. 393-408, 2002.

DE MARCO, P.; COELHO, F. M. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. **Biodiversity and Conservation**, V: 13, p. 1245-1255, 2004.

DEGRANDI-HOFFMAN, G.; HOOPINGARNER, R.; PULCER, R. Redapol: pollination and fruit-set prediction model for "delicious" apples. **Environmental Entomology**, v. 16, p. 309-318, 1987.

DELAPLANE, K. S.; e MAYER, D. F. **Crop pollination by bees**. New York: CABI Publishing, p. 364, 2000.

DEMARCO, P., COELHO, F. M. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1245-1255, 2004.

DIAS, B. S. F.; RAW, A.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **International Pollinators Initiative: The São Paulo Declaration on Pollinators**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1999.

DOGTEROM, M. H., MATTEONI, J. A., PLOWRIGHT, R. C. Pollination of greenhouse tomatoes by the north American *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae). **Journal of economic entomology**, v. 91, p. 71-75, 1998.

EWIES, M.; EL-SAHHAR, K. F. Observations on the behavior honeybees on onion and their effects on the seed yield. **Journal of Apicultural Research**, Cardiff, v. 16, n. 4, p. 194-196, Feb. 1977.

FLORES, L. M. A.; PACHECO FILHO, A. J. S.; WESTERKAMP, C.; FREITAS, B. M. A importância dos habitats naturais no entorno de plantações de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) para o sucesso reprodutivo. **Iheringia – Série Botânica**, v. 67, p. 189-197, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture – the international response. In: FREITAS, B. M., (ed) **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2009.

FREE, J. B. **Insect pollination of crops**. 2.ed. London: Academic Press, 1993.

FREITAS B. M.; PAXTON, R. J; HOLANDA-NETO, J. P. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in NE

Brazil. IN: KEVAN, P.E., IMPERATRIZ FONSECA, V.L. (eds) - **Pollinating Bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. p. 229-244.

FREITAS, B. M., IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. 2005. A importância econômica da polinização. *Revista Mensagem Doce*, São Paulo, n. 80, março 2005. Disponível em: <<http://www.apacame.org.br/mensagemdoce/80/polinizacao3.htm>>. Acesso em: 15/06/2013.

FREITAS, B. M. Beekeeping and cashew in north-eastern Brazil: the balance of honey and nut production. *Bee World*, v. 75, p. 168-177, 1994.

FREITAS, B. M. **Uso de programas racionais de polinização em áreas agrícolas**. *Revista Mensagem Doce*, São Paulo, n. 46, maio 1998. Disponível em: <<http://www.apacame.org.br/mensagemdoce/46/msg46.htm>>. Acesso em 15/06/2013.

FREITAS, B. M., OLIVEIRA-FILHO, J. H. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). *Ciência Rural*, v. 33, p. 1135-1139, 2003.

FREITAS, B. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; MEDINA, L. M.; KLEINERT, A. M. P.; GALETTO, L.; NATES-PARRA, G; QUEZADA -EUÁN, J. J. Diversity, threats and conservation of native bees in Neotropics. *Apidologie*, v. 40, p. 332-346, 2009.

GALLAI, N.; SALES, J. M.; SETTELE, J.; VAISSIÈRE, B. E. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economy*, v. 68, p. 810–821, 2009.

GASCON, C.; LOVEJOY, T. E.; BIERREGAARD, R. O.; MALCOLM, J. R.; STOUFFER, P. C.; VASCONCELOS, H. L.; LAURANCE, W. F.; ZIMMERMAN, B.; TOCHER, M.; BORGES, S.; Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biological Conservation*, v. 91, p. 223-229, 1999.

GOBBI, J. A. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. *Ecological Economics*, v. 33, p. 267–281, 2000.

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

HEARD T. A. The role of stingless bees in crop pollination. **Annual Review of Entomology**, v. 44, p. 183–206, 1999.

HOEHN, P., TSCHARNTKE, T.; TYLIANAKIS, J. M.; STEFFAN-DEWENTER, I. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. **Proceedings of the Royal Society of London (B)**, v. 275, p. 2283–2291, 2008.

HUETING, R.; REIJNDERS, L.; de BOER, B.; LAMBOOY, J.; JANSEN, H. The concept of environmental function and its valuation. **Ecological Economics**, v: 25, p. 31-35, 1998.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; GONÇALVES, L. S.; DE JONG, D.; FREITAS, B. M.; CASTRO, M. S.; SANTOS, I. A.; VENTURIERI, G. C. **Abelhas e desenvolvimento rural no Brasil**. Mensagem Doce, São Paulo, n. 80, março 2005. Disponível em: <<http://www.apacame.org.br/mensagemdoce/80/msg80.htm>>. Acesso em: 15/06/2013.

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.

KEVAN, P.G. 1999. Pollinators as bioindicators of the state of environment: species, activity and biodiversity. **Agriculture Ecosystems e Environment** 74:373-393.

KEVAN, P.G., VIANA, B.F. 2003. The global decline of pollination services. **Biodiversity** 4: 1-8.

KEVAN, P.G.; PHILLIPS, T.P. 2001. The economic impacts of pollinator declines: an approach to assessing the consequences. **Conservation Ecology** 5: 8.

KLEIN, A.M., STEFFAN-DEWENTER, I., TSCHARNTKE, T. 2003. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. **Journal Applied Ecology**, 40:837-845 pp.

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

KLEIN, A.M.; STEFFAN-DEWENTER, I. E TSCHARNTKE, T. 2003. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London (B)*: 270: 955-961.

KREMEN, C., WILLIAMS, N.M., AIZEN, M.A., GEMMILL-HERREN, B., LEBUHN, G., MINCKLEY, R., PACKER, L., POTTS, S.G., ROULSTON, T., STEFFAN-DEWENTER, I., VÁZQUEZ, P., WINFREE, R., ADAMS, L., CRONE, E.E., GREENLEAF, S.S., KEITT, T.H., KLEIN, A.M., REGETZ, J. and RICKETTS, T.H., 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. **Ecology Letters**, vol. 10, p. 299-314. PMID:17355569. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>

KREZDORN, A. H. Pollination requirements of Citrus. **Citrus Indus**, v. 53, p. 5-7, 28, 1972.

LEOPOLDINO, M.N.; FREITAS, B.M.; SOUSA, R.M.; PAULINO, F.D.G. 2002. Avaliação do feromônio de Nasonov sintético e do óleo essencial de capim-santo (*Cimnapogon citratus*) como atrativos de enxames de abelhas africanizadas (*Apis mellifera*). **Ciência Animal** 12:19-23.

LOSEY, J.E., VAUGHAN, M. 2006. The economic value of ecological services provided by nsects. **BioScience** 311–323.

MAGALHÃES, C.B. 2012. Introdução da abelha coletora de óleo Centris (*Heterocentris*) analis para polinização e aumento de produtividade de cultivos comerciais de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). Dissertação de Mestrado em Zootecnia. Universidade Federal do Ceará.

MALAGODI-BRAGA, K.S.; KLEINERT, A.M.P.; IMPERATRIZ FONSECA, V.L. 2004. Abelhas sem ferrão e polinização. **Revista de Tecnologia e Ambiente** 10: 59-70.

- MALERBO, D.T.S.; COUTO, R.H.N. 1998. Efeitos de atrativos e repelentes sobre o comportamento forrageiro da abelha *Apis mellifera*. **Scientia Agricola** 55: 388-394.
- MALERBO-SOUZA D.T.; NOGUEIRA-COUTO R.H.; COUTO L.A. 2003a. Polinização em cultura de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck, var. pera-rio) **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science** 40: 237-242.
- MALERBO-SOUZA D.T.; NOGUEIRA-COUTO R.H.; COUTO L.A.; SOUZA J.C. 2003b. Atrativo para as abelhas *Apis mellifera* e polinização em café (*Coffea arabica* L.). **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science** 40: 272-278.
- MALERBO-SOUZA, D. T., DE TOLEDO, V. D. A. A., DA SILVA, S. R., & SOUSA, F. F. (2008). Polinização em flores de abacateiro (*Persea americana* Mill.). **Acta Scientiarum. Agronomy**, 22, 937-941.
- MANZOORUL-HAQ; RAFIE-UL-DIN, M.; GHAFAR, A. Effect of insect pollination on fruit bearing in kinnow mandarin (*Citrus reticulata*) and physical and chemical properties of fruit. **Journal Apicultural Research**, v. 17, n. 1, p. 47-49, 1978.
- MARCO P.JR; COELHO, F.M. 2004. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. **Biodiversity and Conservation** 13: 1245-1255.
- MARTINS C.G.M.; LORENZON, M.C.A.; BAPTISTA, J.L. 1999. Eficiência de tipos de polinização em acerola. **Caatinga** 12: 55-59.
- MCGREGOR, S. E., RHYNE, C., WORLEY, S., & TODD, F. E. (1955). The role of honey bees in cotton pollination. **Agronomy Journal**, 47(1), 23-25.
- MELO C.G.; ALVES, E.U.; LORENZON, M.C.A.; BAPTISTA, J.L. 1997. Polinizadores de *Malpighia glabra* L. **Mensagem Doce** 42: 14-17.
- MILFONT, M.O.; FREITAS, B.M.; RIZZARDO, R.A.G.; GUIMARÃES, M.O. 2009. Produção de mel por abelhas africanizadas em plantio de mamoneira. **Ciência Rural** 39: 1206-1211.

NADIA, T.L.; MACHADO, I.C.; LOPES, A. V. 2007. Polinização de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) e análise da partilha de polinizadores com *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae), espécies frutíferas e endêmicas da Caatinga. **Revista Brasileira de Botânica** 30: 87-98, 2007.

PARANHOS B.A.J.; WALDER J.M.M.; MARCHINI L.C. 1998. Densidade de colméias de abelhas africanizadas, *Apis mellifera* L. 1758 (Hymenoptera: Apidae), para polinizar maçã cv. **Scientia Agricola** 55: 85-88

PARANHOS, B.A.J. 1996. Aumento da produção e qualidade de laranjas Hamlin, Natal, Valência e Pera (*Citrus sinensis* O.), através da polinização por abelhas, *A. mellifera* L. 1758 (Hymenoptera: Apidae). Tese de Doutorado, Faculdade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Universidade Estadual Paulista.

PÍAS, B.; GUITIÁN, P. Breeding System and Pollen limitation in the masting tree *Sorbus aucuparia* L. (Rosaceae) in the NW Iberian Peninsula. **Acta Oecologica** v. 29, p. 97-103, 2006.

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 and Evolution* 25: 345-353.

RICHARDS, A.J. 2001. Do low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield? **Annals of Botany** 88: 165-172.

RICKETTS, T.; REGETZ, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S.A.; KREMEN, C.; BOGDANSKI, A.; GEMMILL-HERREN, B.; GREENLEAF, S.S.; KLEIN, A.M.; MAYFIELD, M.M.; MORANDIN, L.A.; OCHIENG, A.; VIANA, B.F. 2008. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? **Ecology Letters** 11: 499–515.

RICKETTS, T.H.. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinators activity in nearby coffee crops. **Conservation Biology** 18: 1262-1271.

RICKETTS, T.H.; DAILY, G.C.; EHRLICH, P.R.; MICHENER, C.D. 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. **Proceeding of National Academy of Sciences** 101: 12579-12582.

RICKETTS, TH., 2004. Tropical Forest Fragments Enhance Pollinator Activity in Nearby Coffee Crops. **Conservation Biology** vol. 18, no. 5, p. 1262-1271. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00227.x>

RICKETTS, T.H., 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. **Conservation Biology**, 18:1262-1271 pp.

ROUBIK, D.W. 1995. Pollination of cultivated plants in the tropics. Food and Agriculture Organization, Rome. FAO Agricultural Services Bulletin 118: 1-196.

ROUBIK, D.W. 2002. The value of bees to the coffee harvest. **Nature**, 417: 708

ROUBIK, D.W. 2002a. Feral African bees augment neotropical coffee yield. IN: KEVAN, P., IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. (eds) – Pollinating Bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature - Ministry of Environment / Brasília. p.255-266

SANTOS, T.E., NOGUERA, F., PIRES, J.S.R., OBARA, A.T., PIRES, A.M.Z.C.R., 2001. The Value Of The Ecological Station Of Jataí's Ecosystem Services And Natural Capital. **Revista Brasileira de Biologia**, vol. 61, no. 2, p. 171-190.

SAZIMA, I.; SAZIMA, M. 1989 Mamangavas e irapuás (Hymenoptera, Apoidea): visitas, interações e consequências para a polinização do marujá (Passifloraceae). **Revista Brasileira de Entomologia** 33: 109-118.

SEBRAE (2009). Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Agência SEBRAE de Notícias - Bahia (07/2009). Acessível em <http://www.ba.agenciasebrae.com.br/noticia.kmf?cod=8653998ecanal=418>.

SILVA, E.M.S. 2007. Abelhas visitantes florais do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) em Quixeramobim e Quixeré, estado do Ceará, e seus efeitos na qualidade da fibra e semente. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará.

- SILVA, E.M.S.; FREITAS, B.M.; SILVA, L.A.; CRUZ, D.O; BOMFIM, I.G.A. 2005. Biologia floral do pimentão (*Capsicum annuum*) e a utilização da abelha jandaíra (*Melipona subnitida* Ducke) como polinizador em cultivo protegido. **Revista Ciência Agronômica** 36: 386-390.
- SOUSA, R.M. 2008. Polinização do meloeiro (*Cucumis melo* L.) por abelhas melíferas (*Apis mellifera* L.): requerimentos da cultura e manejo das colônias. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará.
- SUNDRIYAL, M., SUNDRIYAL, R.C. 2004. Wild edible plants of the Sikkim Himalaya: nutritive values of selected species. **Economic Botany**, 58: 286-299.
- TEPEDINO, V.J. 1981 The pollination efficiency of the squash bee (*Peponapis pruinosa*) and the honey bee (*Apis mellifera*) on summer squash (*Cucurbita pepo*). **Journal of Kansas Entomology Society** 54: 359-377.
- TRINDADE, M.S.A., SOUSA, A.H., VASCONCELOS, W.E. 2004. Avaliação da polinização e estudo comportamental de *Apis mellifera* L. na cultura do meloeiro em Mossoró, RN. **Revista de Biologia e Ciências da Terra** 4
- VANDERMEER, J. PERFECTO, I. 2007. The Agricultural Matrix and a Future Paradigm for Conservation. **Conservation Biology**, 21:274-277 pp
- VEDDELER, D., OLSCHESKI, R., TSCHARNTKE, T. & KLEIN, A.M. 2008. The contribution of non managed social bees to coffee production: new insights based on farm-scale yield data. **Agroforestry System**. 73:109-114.
- VIANA, B.F. 2012. How well do we understand landscape effects on pollinators and pollination services? **Journal of Pollination Ecology**, v.7.
- VICENS N. AND BOSCH J. 2000. Pollinating efficacy of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae, Apidae) on red delicious apple. **Environmental Entomology** 29: 235–240.
- VITHANAGE, V. 1990 The role of the European honeybee (*Apis mellifera* L.) in avocado pollination. **Journal of Horticulture Science** 65: 81-86.

WATERS, N. D. Honey bee activity in blooming onion field in Idaho. **American Bee Journal** v. 112, n. 6, p. 218-219, 1972.

WITTER, S., BLOCHTEIN, B. 2003. Efeito da polinização por abelhas e outros insetos na produção de sementes de cebola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 38: 1399-1407.

ZAR, J.H. 1996. Bioestatistical analysis. Prentice-Hall, New Jersey.

Capítulo 1

Avaliação de aspectos reprodutivos de culturas agrícolas no nordeste do Brasil*

* Manuscrito a ser submetido ao periódico “*Australian Journal of Botany*”, qualis B1 na área de avaliação “Biodiversidade”. As normas para publicação podem ser visualizadas em: <http://www.publish.csiro.au/nid/69/aid/366.htm>

Avaliação de aspectos reprodutivos de culturas agrícolas no nordeste do Brasil

Reinaldo Rodrigo Novo¹, Luiz Gonzaga Biones Ferraz², Elcida de Lima Araujo¹,
Cibele Cardoso de Castro³⁴

¹ Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 51280-400, Recife, PE, Brasil.

² Instituto Agrônomo de Pernambuco. Avenida General San Martin, 1371, 50761-000, Bongi, Recife, PE, Brasil.

³ Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Avenida Bom Pastor, s/n, Boa Vista, Garanhuns, PE, Brasil, 55292-270.

⁴ Autor para correspondência: cibelegastro@hotmail.com.

Resumo

Apesar da necessidade humana dos serviços de polinização, o número de espécies e indivíduos destes animais encontra-se em decréscimo em todos os ambientes. Estudos mostram que a ação humana é a principal causa da escassez destes polinizadores. Este estudo teve o objetivo de investigar os requerimentos reprodutivos de cinco espécies frutíferas cultivadas no nordeste brasileiro. Foram coletados dados de biologia floral, sistema de polinização, eficiência dos principais polinizadores e limitação polínica. Acerola (*Malpighia emarginata* DC., Malpighiaceae), coco (*Cocos nucifera* L., Arecaceae), goiaba (*Psidium guajava* L., Myrtaceae) e pitanga (*Eugenia uniflora* L., Myrtaceae) são autocompatíveis e possuem a capacidade de formar frutos sem a interferência de animais polinizadores. As abelhas *Apis mellifera* e *Trigona spinipes* foram as mais comumente observadas e as que mais colaboram com a produção de frutos, sendo sua eficiência semelhante nas diferentes culturas e áreas observadas. Apesar de não apresentar limitação polínica, o serviço de polinização pode ser deficiente na goiaba e na pitanga, pois estas espécies formam frutos por autopolinização espontânea, o que pode estar superestimando papel dos polinizadores na formação de frutos. Nossos resultados indicam que as espécies estudadas variam em sua dependência em relação aos polinizadores, e que esta característica difere entre regiões de cultivo das mesmas.

Palavras-chave: agricultura, biologia floral, polinização, produção agrícola

Introdução

A população humana depende direta e indiretamente da polinização por animais para a produção de alimentos (Richards 2001). Mais de 70% das espécies cultivadas prescindem desse serviço, principalmente de abelhas, (Roubik 1995) para a formação de frutos e sementes (Klein et al 2007), estando incluídas espécies utilizadas diretamente como alimento e aquelas fornecidas a animais. Apesar de tal importância, nas últimas décadas houve uma drástica redução das populações de polinizadores em todo o mundo, resultando na diminuição da produção de culturas agrícolas (Allen-Wardell et al 1998; Kevan e Viana 2003; Aguilar et al 2006; Freitas et al 2009; Potts et al 2010). Torna-se premente, portanto, o conhecimento sobre os requerimentos das culturas agrícolas em relação aos polinizadores, a fim de se estabelecer prioridades de conservação e manejo desses animais (Potts et al 2010).

Estudos mostram que a polinização por animais pode resultar em frutos e sementes em maior número e qualidade e com crescimento mais rápido, mesmo em culturas autocompatíveis e/ou anemófilas (Free 1993). Exemplos de culturas que comprovadamente são beneficiadas pela presença de polinizadores são o abacate (*Persea americana* Mill., Vithanage 1990), a acerola (*Malpighia emarginata* D.C.; Martins et al. 1999; Magalhães e Freitas 2012), o algodão (*Glossypium hirsutum* L., Silva 2007), o café (*Coffea arabica* L., Roubik 2002b), a cebola (*Allium cepa* L., Witter e Blochtein 2003), a goiaba (Alves e Freitas 2007), a laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck, Malerbo-Souza et al. 2003a), o maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims., Freitas e Oliveira-Filho 2003), o melão (*Cucumis melo* L., Trindade et al. 2004) e o umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam., Nadia et al. 2007), dentre outras.

A diminuição das populações de polinizadores ocorre principalmente devido a pressões antrópicas, as quais reduzem e desequilibram os habitats naturais e promovem mudanças em vários níveis (Allen-Wardell et al 1998; Kevan 1999; Potts et al 2010). Estratégias de conservação e manejo de polinizadores em culturas agrícolas comprovadamente minimizam os efeitos negativos de tais pressões cuja produção pode ser incrementada com o aumento das populações (Malerbo-Souza et al 2003) e da diversidade de polinizadores (Klein et al 2003; Hoehn et al 2008). Estudos apontam especialmente duas estratégias de manejo e conservação dos mesmos em culturas e que resultam em aumento da produção: a) introdução de ninhos artificiais (Oliveira Filho e

Freitas 2003) e/ou colmeias (Free 1993; Freitas 1998; Dag e Eisikowitch 1995; Paranhos 1996; Klein *et al.* 2007; Potts *et al.* 2010); b) conservação de áreas nativas, as quais são usadas pelos polinizadores para se alimentar, refugiar e reproduzir, mantendo populações naturais desses animais em áreas próximas a cultivos (Heard 1999; Roubik 2002a; Marco e Coelho 2004; Ricketts 2004; Ricketts *et al.* 2004; Flores 2012; Silva 2012). A escolha e a eficiência da estratégia dependem da análise da paisagem onde o cultivo está inserido e do conhecimento sobre a biologia reprodutiva das culturas, dos polinizadores mais eficientes para cada região (Castro 2002) e da viabilidade econômica da estratégia escolhida (Freitas 1998).

Este trabalho tem o objetivo de descrever aspectos da ecologia reprodutiva de cinco espécies frutíferas de importância econômica, especialmente o sistema reprodutivo e polinização.

Material e métodos

Áreas de estudo

Os experimentos foram realizados entre dezembro de 2012 e dezembro de 2013 numa propriedade particular no município de Bonito (08°29'40"S, 35°41'45"W), na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA em Ibimirim (8°32'15"S, 37°41'30"W) e Itapirema em Goiana (7°33'45"S, 35°0'0"W), no Estado de Pernambuco.

O município de Bonito é uma região de brejo de altitude ou mata serrana localizado a 140 km da cidade de Recife e está inserido na microrregião homogênea do Brejo Pernambucano, situada na escarpa oriental do planalto da Borborema, caracterizado pela inserção entre a zona da mata e o sertão (Rodal *et al.* 1998). Brejos de altitude são áreas de Mata Atlântica encravadas na região do semiárido do nordeste do Brasil, compreendendo o tipo vegetacional de floresta estacional semidecidual montana, condição essa proporcionada principalmente pela altitude entre 500 e 1000 m (Andrade e Lins, 1986). A altitude da região varia entre 450 m e 500 m, a precipitação média anual é de 1.157mm, a temperatura média anual é 21,5°C e a umidade relativa do ar em torno de 40 e 70% (SUDENE 1990). A região onde os experimentos foram realizados é circundada por muitas propriedades de pequeno porte com manejo de cultivares diversos, de hortaliças, tubérculos a frutíferas. Apesar da presença de alguns bovinos, não há características de extenso pastejo. Mesmo com a implementação de várias culturas agrícolas na região, ainda ocorrem pequenos fragmentos florestais .

A segunda área estudada está localizada no município de Ibimirim, distante 333 km a Oeste da cidade de Recife, na mesorregião Sertão Pernambucano e microrregião Sertão do Moxotó, região semi-árida de Pernambuco (CPRM 2005). A altitude fica em torno do 431 m, a precipitação média anual é de 420 mm, a temperatura média anual é de 25° C (LAMEPE 1998). O clima é do tipo B'Swh', semiárido muito quente tipo estepe (classificação de Köppen). Os cultivos da fazenda experimental do IPA bem como o de outras propriedades recebe água através de irrigação constante. Entretanto, o entorno é extremamente árido.

A terceira e última área fica no município de Goiana. Está localizada na região da zona da mata pernambucanae apresenta altitude de 14 m, temperatura média anual de 26°C, com precipitações anuais atingindo 2.128 mm. Com base na classificação de Thorntwaite e Mather (1955), o clima da região é quente e úmido. A estação experimental de Goiana é circundada principalmente por cana de açúcar e fragmentos florestais e algumas poucas culturas de subsistência como o coco.

Espécies estudadas

As espécies estudadas foram a acerola (*Malpighia emarginata* DC. Malpighiaceae – Fig. 2A) e a goiaba (*Psidium guajava* L., Myrtaceae – Fig. 2C) em Bonito (08°29'40"S, 35°41'45"W), pitanga (*Eugenia uniflora* L., Myrtaceae – Fig. 2D) em Ibimirim e o coco (*Cocos nucifera* L., Arecaceae – Fig. 2B) em Goiana (7°33'45"S, 35°0'0"W). Os cultivos de Bonito e Goiana são homogêneos, com espaçamento de 6m x 6m e 10mx10m, respectivamente. Em Ibimirim o manejo agrônômico dos pomares obedeceu às recomendações gerais citadas por Bezerra *et al.* (1997) que consiste em espaçamento 4m x 4m.

Biologia floral

A biologia floral em todas as espécies estudadas foi selecionados de modo aleatório 10 indivíduos, e desses, três botões maduros foram isolados. Em um dos botões, imediatamente após a antese, testou-se a receptividade do estigma, no outro a receptividade foi testada próximo das 12:00 horas e o terceiro botão permaneceu intacto até o final da vida da flor para a determinação da duração da antese. A receptividade estigmática foi verificada por meio da reação de peroxidase, com a utilização de peróxido de hidrogênio a 3% (Dafni 1992).

Polinização

O levantamento de polinizadores foi executado por meio da observação focal dos visitantes florais, a frequência de visita e o comportamento, seguindo método modificado de Roubik (2002a). Foram sorteados dez indivíduos de cada cultura, de acordo com a disponibilidade de indivíduos com flores, dos quais foi contabilizado o número de flores abertas de inflorescências localizadas em uma porção delimitada da copa (inclusive flores velhas que ainda não caíram) apenas para diminuir as diferenças entre as plantas observadas. As plantas sorteadas que apresentaram um número médio de flores inferior ao das plantas selecionadas (20 flores na mancha observada) não era utilizada e outra planta foi selecionada.

Os indivíduos foram inspecionados três vezes ao dia (às 7:00h, às 11:00h e às 16:00h), durante 60 minutos, durante quatro dias na acerola e cinco dias na goiaba, pitanga e coco. A cada inspeção, foram registrados a morfo-espécie, o número de visitantes e seu comportamento na flor (tipo de recurso coletado, contato com elementos sexuais, interação com outros visitantes). A frequência de visitas realizadas por cada visitante nos diferentes horários bem como a influência do horário de visita no número registrado foram comparadas com o teste ANOVA dois fatores realizada com o software Bioestat 5.3 (Ayres *et al.* 2007). Quando possível, os visitantes foram fotografados e coletados para identificação. De acordo com o comportamento, o visitante foi classificado como polinizador, quando este entrou em contato com anteras e estigma ou como pilhador, quando não ocorreu o contato.

Eficiência do polinizador

A determinação dos polinizadores mais eficientes de cada cultura através de comparações de possíveis diferença na formação de frutos após uma e duas visitas foi realizada por meio de método modificado de Klein *et al.* (2003). Em todas as espécies estudadas, quatro inflorescências, em dez plantas, tiveram seus botões em pré-antese isoladas com sacos de tecido voil com o objetivo de manter a flor inacessível aos visitantes florais. Logo após a abertura das flores, os sacos foram removidos até que houvesse uma visita do polinizador e em seguida a flor visitada era marcada com linha colorida e novamente isolada, permanecendo assim até a formação (ou não) dos frutos. O mesmo procedimento foi realizado após duas visitas.

Na acerola, goiaba e pitanga, devido ao reduzido número de flores por inflorescência, após a visita as demais flores do mesmo ramo foram descartadas. No coco, apenas parte das flores masculinas foram retiradas quando necessário, por apresentar dicogamia do tipo protandria, assim suas flores femininas estão formadas e receptivas para reprodução apenas depois da queda da maior parte das flores masculinas. Esse procedimento foi adotado no intuito de reduzir a possibilidade de ocorrer geitonogamia. A comparação da formação de frutos após uma e duas visitas tem sido usada para estimar a eficiência do visitante como polinizador. Teoricamente, quanto menos investidas necessárias em uma única flor melhor o seu desempenho em formar frutos, assim, polinizadores menos eficientes precisariam de mais investidas em uma única flor para efetivar a transferência de pólen (Freitas *et al.* 1999).

O experimento foi realizado em períodos de maior frequência de visitas previamente checados (próximo de 07:00 h para todas as espécies). Para cada espécie estudada, a relação de eficiência do polinizador em formar frutos após uma ou duas visitas foi testada com o *Teste G* pelo software Biostat 5.3 (Ayres *et al.* 2007).

Sistema reprodutivo

O sistema reprodutivo foi investigado por meio da observação da formação de frutos resultantes de experimentos de polinização manual. Botões em pré-antese foram isolados com sacos confeccionados com tecido voil, e as flores recém-abertas receberam os tratamentos de autopolinização espontânea (sem manipulação), autopolinização manual (recebendo seu próprio pólen) e polinização cruzada (recebendo pólen de outro indivíduo); um grupo de flores permaneceu apenas marcado para avaliação da taxa de formação de frutos após polinização natural (controle).

As flores do coco, espécie monóica, receberam tratamentos diferentes das demais espécies: a) apomixia, no qual as flores masculinas da inflorescência foram retiradas e a inflorescência foi ensacada em seguida, a fim de avaliar a possibilidade de formação de frutos sem polinização e b) polinização natural de inflorescências emasculadas, no qual foi feito o mesmo procedimento de apomixia, mas a inflorescência permaneceu exposta, a fim de testar a eficiência da chegada de pólen de outros indivíduos (uma planta apresenta apenas uma inflorescência de cada vez.). Os experimentos de autopolinização manual e geitonogamia não foram realizados porque além da monoiccia, *C. nucifera* apresenta protandria, separação temporal entre o período funcional de anteras e estigma.

Após cada tratamento, as flores dos experimentos permaneceram ensacadas, e as do controle marcadas, até o início da formação dos frutos. Os frutos foram contados quando atingiram estágio avançado de desenvolvimento, e comparados entre tratamentos usando o teste do qui-quadrado e o teste G (Ayres *et al.* 2007).

Limitação polínica

A limitação polínica foi verificada através da comparação do número de frutos formados após o tratamento de polinização cruzada manual e controle (quando o número de frutos do primeiro tratamento for maior do que do segundo constata-se a limitação). Para a comparação dos dados foi utilizado o teste do Qui-quadrado pelo software Bioestat 5.3 (Ayres *et al.* 2007).

Resultados

Acerola (*M. emarginata*.) – A aceroleira forma inflorescências com 2 a 8 flores hermafroditas, possuem cinco sépalas de cor verde e cinco pétalas de cor rosa, abaixo dessas encontram-se os elaióforos que variam entre 6 e 10 por flor, possui dez estames, três estiletos, ovário súpero e um óvulo por ovário. As flores não apresentam néctar e tem como principal recurso floral o óleo produzido pelos elaióforos e o pólen. A antese é diurna e tem início por volta das 5:00 h e segue até as 18h, com abertura total da flor em até uma hora após o início, restando pouquíssimos botões da fase pré antese abrirem no final da tarde. O estigma receptivo e o pólen estão disponíveis durante todo o dia, com início após a abertura total da flor com diminuição dos eventos ao final do dia.

No total de 12 horas de observação, foram avistados 512 abelhas de duas espécies (Figura 1). A abelha *Apis mellifera* era mais veloz e mais frequente, responsável por 60,54% do total de visitas contra 39,46% de *Xylocopa spp.* ($F= 36,45$; $GL= 1,18$; $p<0,001$). O total de visitas registradas variou significativamente entre os três períodos de observação ($F= 95.7125$; $GL= 2,18$; $p <0,001$), com maior volume no período da manhã (55,47%), sofrendo uma queda gradativa entre o período da tarde (26,95%) e o final da tarde (17,58%). Não foi constatado interação entre as abelhas e o horário de observação ($F= 0,79$; $GL= 2,18$; $p>0,05$). As abelhas visitavam sempre muitas flores de um mesmo indivíduo antes de voarem para outros indivíduos, e não apresentavam comportamento agonístico, apesar de muitas vezes visitarem as flores de inflorescências próximas umas das outras e nos mesmos horários. O recurso mais coletado foi o pólen e

raramente o óleo. Tanto *A.mellifera* quanto *Xylocopa* foram observadas algumas vezes raspando os elaióforos.

O número de frutos produzidos após uma e duas visitas de *A. mellifera* e *Xylocopa* spp. às flores de acerola não difere entre si ($G= 0,07$; $GL= 1$; $p>0,05$), indicando que a produção de frutos após uma e duas visitas independe da espécie de polinizador.

Nos experimentos do sistema reprodutivo (Tabela 2), o número de frutos formados no tratamento de autopolinização cruzada é significativamente maior que o número de frutos formados após autopolinização manual ($\chi^2= 36,47$; $GL= 1$; $p<0,001$) e autopolinização espontânea ($\chi^2= 42,29$; $GL= 1$; $p<0,001$). Os frutos formados no controle também tiveram quantidade superior aos frutos da autopolinização manual ($\chi^2= 54,90$; $GL= 1$; $p<0,001$) e espontânea ($\chi^2= 63,14$; $GL= 1$; $p<0,001$). O tratamento controle e de polinização cruzada manual não diferiram no número de frutos produzidos ($\chi^2= 0,38$; $GL= 1$; $p>0,05$). O mesmo ocorreu com os frutos produzidos na autopolinização manual espontânea ($G= 0,46$; $GL= 1$; $p>0,05$).

A espécie não apresentou limitação polínica, pois os frutos formados após polinização cruzada não diferem dos frutos do controle.

Coco (*C nucifera*) – *C. nucifera* é uma espécie monóica, protândrica. A inflorescência é uma panícula, formada pelo pedúnculo e espigas, nas quais encontram-se as flores masculinas nos dois terços superiores e as femininas na base. A inflorescência é protegida por brácteas, cujo conjunto forma a espata. As flores masculinas ocupam a posição terminal das inflorescências, enquanto as flores femininas estão localizadas na porção basal da mesma inflorescência. A inflorescência produz poucas flores femininas e centenas de flores masculinas. Os botões e flores masculinos tem coloração amarela e botões e flores femininas coloração verde. Ambas pouco se parecem com flores tradicionais, sendo a flor feminina facilmente confundida com o fruto atrofiado, que não se desenvolveu. A antese é diurna (a partir das 5:00 h), com estigma receptivo nas flores femininas e pólen disponível nas flores masculinas. A vida das flores masculinas é de apenas um dia, entretanto a duração da antese perdura de 16 a 22 dias. A antese das flores feminina continuou por até sete dias. Apenas as flores femininas produzem néctar (não mensurável) e quando vividas emitem um leve odor adocicado.

As flores masculinas e femininas foram visitadas em frequências semelhantes ($U=95.50$, $p=0.48$) por *A. mellifera* e *T. spinipes*, as quais contataram ambos os elementos sexuais quando coletavam néctar e pólen e não apresentaram comportamento agonístico. O período do dia de maior visitação foi o início da manhã, poucas horas após a abertura das flores, e o final da tarde, tanto em flores masculinas quanto femininas. Botões masculinos em pré antese já eram visitados. Flores femininas eram visitadas apenas quando próximas da antese, caracterizada pela discreta abertura do estigma e liberação de néctar. As visitas eram frequentes, em diversas flores por indivíduo e comumente as mesmas flores por mais de uma vez. Ambos os polinizadores foram observados comumente tentando abrir os botões, e eventualmente consumindo partes florais tais como filetes, estigmas e pétalas.

Não houve formação de frutos após o experimento de eficiência do polinizador (Tab. 2). O número de frutos formados na apomixia e eficiência da polinização foi semelhante ($\chi^2=0,28$; $p>0,05$), mas mostrou-se inferior em relação ao controle ($\chi^2=14,48$; $p<0,05$ e $\chi^2=6,95$; $p<0,05$ respectivamente);

Goiaba (*P. guajava*) – A antese diurna dura das 5:00 h às 17:00 h, quando as flores perdem pétalas e estames. O estigma é receptivo e o pólen disponível durante toda a antese. Foi observada apenas uma abelha *Xylocopa* spp., em um único dia, no final da manhã, visitando uma única flor de cada um dos três indivíduos em que foi observada. As visitas foram rápidas, e o recurso coletado foi o pólen. Flores controle formaram mais frutos quando comparadas com a polinização cruzada manual ($\chi^2=7,14$; $p<0,05$), a qual formou menos frutos do que a autopolinização manual ($\chi^2=5,51$; $p<0,05$).

Pitanga (*E. uniflora*) - A antese tem duração de 12 h (5:00 h às 17:00 h), período em que o estigma está receptivo e o pólen disponível. Suas flores receberam visitas de *A. mellifera* e *T. spinipes*, sendo a primeira mais frequente ($U=60.50$, $p<0,05$). Ambas as espécies entraram em contato com anteras e estigma e não apresentaram comportamento agonístico. O pico de visitas ocorreu no período da manhã, com decréscimo no final da manhã e retomada ao final da tarde. Ambos visitavam muitas flores de um mesmo indivíduo. *A. mellifera* foi observada repetidas vezes numa mesma flor já visitada, o que foi observado com menos frequência com *T. spinipes*. Não houve diferença na formação de frutos após uma e duas visitas de um mesmo polinizador (*A. mellifera*: $U=5,50$ $p=0,14$; *T. spinipes*: $U=5$, $p=0,11$). Da mesma forma, não houve

diferença na formação de frutos após uma visita quando os dois visitantes foram comparados, entretanto *A. mellifera* formou maior número de frutos após duas visitas quando comparada com *T. spinipes* ($H= 8,4455$, $GL= 1$, $p= 0,03$). A formação de frutos foi similar entre o controle e polinização cruzada ($\chi^2=0,30$; $p>0,05$), sendo esta superior a autopolinização manual. ($\chi^2= 5,14$; $p<0,05$).

Discussão

Acerola

As flores de *M. emarginata* abriram ao amanhecer e duraram apenas um dia. O mesmo foi observado por Freitas *et al.* (1999) no Ceará e Guedes *et al.* (2011) na Paraíba que relataram o início da antese por volta das 5 h da manhã. Em alguns estudos foi observado que algumas flores estendiam sua antese para o período da tarde, como relataram Gomes *et al.* (2001) em estudos em Jaboticabal-SP, onde algumas flores ainda abriam entre o início e o final da tarde de um mesmo dia, que segundo o mesmo autor, coincide com período de alta luminosidade. No presente estudo, algumas flores inicialmente também foram observadas no início da antese ao final do dia, no entanto alguma delas tiveram sua abertura forçada, por visitantes florais. Gomes *et al.* (2001) esclarece que o aspecto do botão floral na fase que antecede a antese, considerado por ele “botão floral intumescido”, tem as cicatrizes das pétalas visíveis e marcadas com um ponto de convergência central. A essa altura, algumas glândulas já iniciam a produção de óleo, e no final do tarde é comum ver algumas abelhas raspando as glândulas e desses botões previamente raspados, uma ou outra pétala aberta, o que pode facilitar a abertura das outras pétalas antes mesmo da manhã do dia seguinte. De modo geral, a maior parte das flores do presente estudo abrem no início da manhã, período de início de receptividade estigmática e deiscência das anteras (Freitas *et al.* 1999).

As características florais da espécie estão de acordo com as predições de Van Der Pijl (1979) no que se refere à síndrome da melitofilia. Todas as flores observadas apresentaram deiscência das anteras durante toda a vida da flor, com maior concentração no início da manhã, coincidindo com o início da antese, receptividade estigmática e atividade de forrageamento dos polinizadores, dado também relatados em outros trabalhos (Guedes *et al.* 2011; Freitas *et al.* 1999; Gomes *et al.* 2001). Freitas *et al.* (1999) relatou que 72% das flores por ele observada apresentaram deiscência das anteras entre 7 h e 10 h da manhã e que 12,5% das flores não liberaram

pólen. O período de receptividade estigmática também foi registrado por (Freitas *et al* 1999) no estado do Ceará.

As duas espécies de abelhas aqui observadas polinizando a aceroleira já foram registrados em outros estudos no estado de Minas Gerais e Rio Grande do Norte (Martins *et al.* 1999; Vilhena 2007).

A aceroleira é conhecida por apresentar baixa produtividade, e acredita-se que a causa seja a falta de polinizadores eficientes (Miyashita *et al.* 1964). Isto ocorre por que espécies de Malpighiaceae neotropicais oferecem apenas óleos florais (produzidos em elaióforos) como recurso a abelhas especializadas; o posicionamento corporal que essas abelhas (tribo Centridini), assumem para a raspagem dos elaióforos resulta no contato com elementos sexuais (Vogel, 1990). Tais abelhas tem sido apontadas como os polinizadores mais eficientes da acerola (Freitas *et al.* 1999 no Ceará; Raw 1979 na Jamaica; Melo *et al.* 1997; Magalhães e Freitas 2012 no Ceará; Araujo 2010 em Alagoas). A introdução de *Centris analis* em pomar de acerola foi bastante positiva no Ceará, pois reduziu o déficit de polinizadores e aumentou significativamente a produção de pomares comerciais (Magalhães e Freitas 2012). No entanto, no Hawaii, a produção não foi satisfatória mesmo após a introdução de colmeias de *A. mellifera* nos cultivos (Yamane and Nakasone 1961; Miyashita *et al* 1964). A eficiência de *A. mellifera* e de *T. spinipes* em flores de óleo é discutível (Freitas *et al* 1999; Vilhena e Augusto 2007). Como as flores não apresentam néctar e essas abelhas não coletam óleo, o único recurso que utilizam é o pólen. Durante o movimento de manipulação das anteras, podem tocar os elementos sexuais e promover a polinização (Freitas *et al* 1999). A polinização não satisfatória por *A. mellifera* tem também relação com sua preferência pela coleta de néctar. As visitas às flores da aceroleira parecem ocorrer apenas ocasionalmente e em situações de baixa disponibilidade de néctar no dia da visita ou na época do ano (Freitas *et al* 1999). No presente estudo, a frequência de *A. melífera* foi superior dentre os visitantes. Os resultados obtidos no teste controle do experimento do sistema reprodutivo da acerola indica maior produção comparado aos trabalhos de Freitas *et al.* (1999), Siqueira *et al.* (2011) e Guedes *et al.* (2011). Além disso não foram observadas abelhas especializadas na coleta de óleo. De modo geral o número de espécies visitantes foi inferior ao observado em outros trabalhos não sendo possível afirmar a causa da ausência de outras espécies. Com excessão de espécies do gênero *Centris*, a ausência de néctar pode reduzir o interesse dos polinizadores por tornar as flores menos atrativa (Roubik 1995; Freitas *et al* 1999; Magalhães e Freitas 2012).

A capacidade de formar frutos em diferentes tratamentos foram testadas, e os resultados do presente estudo sugerem que a reprodução é realizada por visitantes florais que promovem a polinização cruzada. A produção de frutos do tratamento de polinização cruzada manual e controle sustentam essa posição. A possibilidade de formar frutos por autopolinização e polinização espontânea também corroboram com a preferência xenogâmica da espécie. Freitas *et al.* (1999) relata a baixa formação de frutos por autopolinização manual e a pouca influência do vento na formação de frutos por polinização espontânea após encontrar um número significativamente menor de grãos de pólen no estigma de flores isoladas comparado ao estigma de flores expostas aos polinizadores. Entretanto não é descartado a contribuição da autopolinização na produção de frutos. Comparado ao controle, a polinização cruzada manual não melhora a produção de frutos na acerola, resultado também encontrado por Freitas *et al.* (1999).

Apesar de pouco especializadas, os polinizadores registrados no presente estudo, já citados em outros trabalhos com acerola, colaboraram de forma significativa com a produção de frutos, observado no tratamento controle do sistema reprodutivo, o que, no presente trabalho, afasta a suspeita de limitação polínica.

Coco

Suas flores tem coloração amarelada e ofertam néctar e pólen, dados que as enquadram nasíndrome da melitofilia (Faegri e Pijl 1979). Castro e Viana (1997) indicam *A. mellifera* como o principal visitante das flores da família Arecaceae e, assim como Crane *et al.* (1984), observaram frequência de *Apis sp* e *Augochllora sp.*. Já Castro (2002), observou *Trigona spinipes* como a única abelha visitante das flores de coqueiro. O coco não apresentou incompatibilidade, entretanto a monoicía e protandria tendem a dificultar os episódios de autopolinização. Os resultados do sistema reprodutivo indicam que a espécie forma frutos por apomixia, e portanto a produção de frutos resultante do experimento de eficiência da polinização inclui também frutos apomíticos.

Goiaba

A abelha *A. mellifera* é apontada como principal polinizador da goiaba, que apresenta flores generalistas (Soubihe Sobrinho e Gurgel 1962; Alves e Freitas 2006, 2007; Freitas e Alves 2008 – Fig. 3 C e D). A ausência desse polinizador no cultivo estudado pode estar relacionada à preferência por outro recurso ou a utilização de

defensivos agrícolas. A autopolinização espontânea formou frutos em quantidade semelhante ao controle e polinização cruzada manual, o que indica que tal estratégia é relevante na formação total de frutos. Dentre os frutos formados naturalmente, os provenientes de autopolinização espontânea podem sofrer influência de polinizadores que visitam mais de uma flor no mesmo indivíduo, possibilitando a geitonogamia. A ausência de sistemas de incompatibilidade já havia sido reportada outros pomares desta espécie de outras regiões do país (Alves e Freitas 2006; Freitas e Alves 2008).

Pitanga

As flores de pitanga se assemelham às da goiaba e corroboram a síndrome da melitofilia (Faegri e Pijl 1979) No presente estudo as abelhas *A. mellifera* e *T. spinipes* foram os únicos visitantes, entretanto, *A. mellifera* foi mais frequente e mais eficaz nas investidas nas flores de pitangueira. Pelacani *et al.* (2000) relataram a *Apis sp* como o visitante floral mais ativo na pitangueira em uma área urbana do interior de São Paulo, especialmente entre 9:00 h e 11:00 h. Na Bahia, os visitantes mais frequentes foram abelhas do gênero *Centris* (Castro 1998).

Pelacani *et al.* (2000) observaram ausência de frutos formados no tratamento de polinização espontânea e descartaram a ação do vento na transferência do pólen para o estigma. A ausência de limitação polínica evidencia a eficiência dos polinizadores presentes, entretanto, juntamente com esse resultado deve-se levar em conta a capacidade da planta de formar frutos por autopolinização e polinização espontânea.

Conclusões

Nossos resultados indicam que as espécies variam em sua dependência em relação aos polinizadores. Os dados de polinização, quando analisados em conjunto com dados de sistema sexual e sistema reprodutivo, constituem importantes diretrizes para a tomada de decisão em relação ao manejo de polinizadores. Uma vez que a formação de frutos por autopolinização espontânea, por exemplo, pode estar superestimando o papel dos polinizadores na formação de frutos, devido à baixa frequência observada.

Referencias bibliográficas

Aguilar R, Ashworth L, Galetto L, Aizen MA (2006) Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: Review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology Letters* **9**, 968–980.

Allen-Wardell G, Bernhardt P, Bitner R, Burquez A, Buchmann S, Cane J, Cox PA, Dalton V, Feinsinger P, Ingram M, Inouye D, Jones CE, Kennedy K, Kevan P, Koopowitz H, Medellin R, Medellin-Morales S, Nabhan GP (1998) The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology* **12**, 8–17.

Alves JE, Freitas BM (2006) Comportamento de pastejo e eficiência de polinização de cinco espécies de abelhas em flores de goiabeira (*Psidium guajava* L.). *Revista de Ciência Agronômica* **37**, 216–220.

Alves JE, Freitas BM (2007) Requerimentos de polinização da goiabeira. *Ciência Rural* **37**, 1281–1286.

Antunes O, Calvete E, Rocha H (2007) Produção de cultivares de morangueiro polinizadas pela abelha jataí em ambiente protegido. *Horticultura brasileira* **37**, 94–99.

Araujo, DFD (2010) “Biologia floral e potenciais agentes polinizadores da cultura da acerola (*Malpighia emarginata* dc) no município de Anadia – estado de Alagoas”. Conclusão de curso (engenharia agrônoma) – Universidade Federal de Alagoas.

Ashman T-L, Knight TM, Steets JA, Amarasekare P, Burd M, Campbell DR, Dudash MR, Johnston MO, Mazer SJ, Mitchell RJ, Morgan MT, Wilson WG (2004) Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology* **85**, 2408–2421.

Barrett SCH (2002) The evolution of plant sexual diversity. *Nature reviews Genetics* **3**, 274–284.

Bezerra JEF, Lederman IE, Pedrosa AC, Moura RJM, Dantas AP (1997b) “Recomendações para o cultivo de fruteiras tropicais”. (IPA. Documentos, 24).

Boti JB (2001) “Polinização entomófila da goiabeira (*Psidium guajava* L., Myrtaceae): influência da distância de fragmentos florestais em Santa Teresa, Espírito Santo”. Tese (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Viçosa.

Castro MS, Viana BF (1997) Bees visiting coconut inflorescences in Bahia, northeast Brazil. *Journal of Apicultural Research* **36**, 180–181.

Castro M S (2002) Bee fauna of some tropical and exotic fruits: potencial pollinators and their conservation. IN: Kevan P, Imperatriz Fonseca V L (eds) “Pollinating Bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature”. Brasilia, Ministry of Environment.

Castro MS, Oliveira FF (1998). Diversidade de abelhas (Apoidea) em um fragmento de Mata Atlântica com grande influência antrópica. Ribeirão Preto: Anais do III Encontro sobre abelhas.

Corbet SA (1998) Fruit and seed production in relation to pollination and resources in bluebell, *Hyacinthoides non-scripta*. *Oecologia* **114**, 349–360.

Crane E, Walker P, Day R (1984). “Directory of important world honey sources”. London: International Bee Research Association.

Dafni A (1992) “Pollination ecology: a practical approach. (University Press: New York).

Dag A, Eisikowitch D (1995) The influence of hive location on honeybee foraging activity and fruit set in melons grown in plastic greenhouses. *Apidologie* **26**, 511–517.

De Marco P, Coelho FM (2004) Services performed by the ecosystem: Forest remnants influence agricultural cultures’ pollination and production. *Biodiversity and Conservation* **13**, 1245–1255.

Degrandi-Hoffman G, Hoopingarner R, Pulcer R (1987) Redapol: Pollination and Fruit-set Prediction Model for “Delicious” Apples. *Environmental entomology* **16**, 309–318.

Dias BSF, Raw A, Imperatriz-Fonseca V (1999) “International Pollinators Initiative: The São Paulo Declaration on Pollinators”. (Ministério do Meio Ambiente: Brasilia)

Dogterom MH, Matteoni JA (1998) Pollination of Greenhouse Tomatoes by the North American *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera : Apidae). *Journal of economic entomology* **91**, 2–6.

Faegri K, Van Der Pijl L (1966) The Principles of Pollination Ecology. (Pergamon)

Fao (2009) Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture – the international response. In: "Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination". Pp. 2-19. (Imprensa Universitária: Fortaleza).

Flores LMA (2012) A importância dos habitats naturais no entorno das plantações de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) para o sucesso reprodutivo. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará.

Free JB (1970) Insect pollination of crops. (Academic Press: London).

Freitas BM, Paxton RJ, Holanda-Neto JP (2002). Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in NE Brazil. In "Pollinating Bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature" (Eds P Kevan, VL Imperatriz Fonseca) pp. 229-244. (Ministry of Environment: Brasília)

Freitas BM (1994) Beekeeping and cashew in north-eastern Brazil: the balance of honey and nut production. *Bee World* **75**.

Freitas BM, Alves JE (2008) Efeito do número de visitas florais da abelha melífera (*Apis mellifera* L.) na polinização da goiabeira (*Psidium guajava* L.) cv. Paluma. *Revista Ciência Agronômica* **39**, 148–154.

Freitas BM, Imperatriz-Fonseca VL, Medina LM, Kleinert A de MP, Galetto L, Nates-Parra G, Quezada-Euán JJG (2009) Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie* **40**, 332–346.

Freitas BM, Oliveira Filho JH de (2003) Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). *Ciência Rural* **33**, 1135–1139.

Freitas L, Wolowski M, Sigiliano MI (2010) ocorrência de limitação polínica em plantas de mata atlântica. *Oecologia Aust.* **14**, 251–265.

Freitas BM 1998. Uso de programas racionais de polinização em áreas agrícolas. *Mensagem Doce* **46**, 16-20.

Gallai N, Salles JM, Settele J, Vaissière BE (2009) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* **68**, 810–821.

Gobbi JA (2000) Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. *Ecological Economics* **33**, 267–281.

Greenleaf SS, Kremen C (2006) Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biological Conservation* **133**, 81–87.

Guedes R da S, Zanella FCV, Martins CF, Schlindwein C (2011) Déficit de polinização da aceroleira no período seco no semiárido paraibano. *Rev. Bras. Frutic.* **33**, 465–471.

Heard TA (1999) The role of stingless bees in crop pollination. *Annual review of entomology* **44**, 183–206.

Hoehn P, Tschardt T, Tylianakis JM, Steffan-Dewenter I (2008) Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings Biological sciences / The Royal Society* **275**, 2283–2291.

Kevan PG (1999) Pollinators as bioindicators of the state of the environment: Species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **74**, 373–393.

Kevan PG, Phillips TP (2001) The economic impacts of pollinator declines: An approach to assessing the consequences. *Ecology and Society* **5**.

Kevan PG, Viana BF (2003) The global decline of pollination services. *Biodiversity* **4**, 3–8.

Kevan P, Imperatriz Fonseca VL (2002) Pollinating Bees - The conservation link between agriculture and nature pollinating bees. In (Eds P Kevan, VL Imperatriz Fonseca) (Ministry of Environment: Brasília).

Klein A-M, Steffan-Dewenter I, Tscharntke T (2003) Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings Biological sciences / The Royal Society* **270**, 955–61.

Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings Biological sciences / The Royal Society* **274**, 303–313.

Larson BMH, Barrett SCH (2000) A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants. *Biological Journal of the Linnean Society* **69**, 503–520.

Leopoldino MN, Freitas BM, Sousa RM, Paulino FDG (2002) Avaliação do feromônio de nasonov sintético e óleo essencial de capim santo (*Cymbopogon citratus*) como atrativos para enxames de abelhas africanizadas (*Apis mellifera*). *Ciência Animal* **12**, 19–23.

Losey JE, Vaughan M (2006) The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *Bioscience* **56**, 311.

Magalhães CB, Freitas BM (2012) Introducing nests of the oil-collecting bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini) for pollination of acerola (*Malpighia emarginata*) increases yield. *Apidologie* **44**, 234–239.

Magalhães CB (2012) Introdução da abelha coletora de óleo *Centris* (Heterocentris) *analis* para polinização e aumento de produtividade de cultivos comerciais de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará.

Malagodi-Braga K S, Kleinert AMP, Imperatriz Fonseca VL (2004) Abelhas sem ferrão e polinização. *Revista de Tecnologia e Ambiente* **10**, 59-70.

Malerbo-Souza DT, Nogueira-Couto RH (1998) Efeitos de atrativos e repelentes sobre o comportamento da abelha (*Apis mellifera*, L.). *Scientia Agricola* **55**, 388–394.

Malerbo-Souza DT, Nogueira-Couto RH, Couto LA (2003) Polinização em cultura de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck, var. Pera-Rio). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science* **40**, 237–242.

Malerbo-Souza DT, Nogueira-Couto RH, Couto LA, Souza JC de (2003) Atrativo para as abelhas *Apis mellifera* e polinização em café (*Coffea arabica* L.). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science* **40**, 272–278.

Milfont MDO, Freitas BM, Rizzardo RAG, Guimarães MDO (2009) Produção de mel por abelhas africanizadas em plantio de mamoneira. *Ciência Rural* **39**, 1195–1200.

Miyashita RK, Station HAE, Lamoureux CH, Nakasone HY (1964) “Reproductive Morphology of Acerola (*Malpighia Glabra* L.).”

Nadia T de L, Machado IC, Lopes AV (2007) Polinização de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) e análise da partilha de polinizadores com *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae), espécies frutíferas e endêmicas da caatinga. *Revista Brasileira de Botânica* **30**, 89–100.

Oliveira R, Schlindwein C (2009) Searching for a Manageable Pollinator for Acerola Orchards: The Solitary Oil-Collecting Bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini). *Journal of Economic Entomology* **102**, 265–273.

Paranhos BAJ, Walder JMM, Marchini LC (1998) Densidade de colmeias de abelhas africanizadas, *Apis mellifera* L. 1758 (hymenoptera: apidae), para polinizar maçã cv. anna. *Scientia Agricola* **55**, 355–359.

Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE (2010) Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution* **25**, 345–53.

Raw, A (1979) *Centris dirrhoda* (Anthophoridae), the bee visiting West Indian cherry flowers (*Malpighia puniceifolia*). *Revista de Biologia Tropical* **27**, 203-205.

Richards AJ (2001) Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield? *Annals of Botany* **88**, 165–172.

Ricketts TH (2004) Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* **18**, 1262–1271.

Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR, Michener CD (2004) Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **101**, 12579–12582.

Ricketts TH, Regetz J, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Bogdanski A, Gemmill-Herren B, Greenleaf SS, Klein AM, Mayfield MM, Morandin LA, Ochieng' A, Viana BF (2008) Landscape effects on crop pollination services: Are there general patterns? *Ecology Letters* **11**, 499–515.

Roubik DW (1995) “Pollination of cultivated plants in the tropics.”

Roubik DW (2002) The value of bees to the coffee harvest. *Nature* **417**, 708.

Sazima I, Sazima M (1989) Mamangavas e irapuás (Hymenoptera, Apoidea): visitas, interações e conseqüências para polinização do maracujá (Passifloraceae). *Revista Brasileira de entomologia*.

Soubihe Sobrinho J, Gurgel JTA (1962) Taxa de panmixia na goiabeira (*Psidium guajava* L.). *Bragantina* 21, 15-20.

Tepedino VJ (1981) The pollination efficiency of the squash bee (*Peponapis pruinosa*) and the honey bee (*Apis mellifera*) on summer squash (*Cucurbita pepo*). *Journal of Kansas Entomology. Society* **54**, 359-377.

Vilhena AMGF, Augusto SC (2007) Polinizadores da aceroleira *Malpighia emarginata* DC (Malpighiaceae) em área de cerrado no Triângulo Mineiro. *Bioscience Journal* **23**, 14-23.

Vithanage V (1990) The role of the European honeybee (*Apis mellifera* L.) in avocado pollination. *Journal of Horticultural Science* **65**, 81–86.

Vogel S (1990) History of the Malpighiaceae in the light of pollination ecology. *Memoirs of the New York Botanical Garden* **55**, 130–142.

Witter S, Blochtein B (2003) Efeito da polinização por abelhas e outros insetos na produção de sementes de cebola. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* **38**, 1399–1407.

Yamane GM, Nakasone HH (1961) Pollination and fruit set studies of acerola *Malpighia glabra* L. Hawaii. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* **78**, 141–148.

Zar JH (2010) “Biostatistical Analysis.” (Prentice Hall: New Jersey).

Tabela 1. Resultados referentes ao sistema reprodutivo de espécies frutíferas cultivadas no nordeste do Brasil. AM= autopolinização manual; AE= autopolinização espontânea; CO= controle; PC= polinização cruzada; AP= apomixia; EF= eficiência da polinização cruzada (polinização cruzada natural).

	AM	AE	CO	PC	AP	EF
Acerola	40/6 (15)	40/4 (10)	150/117 (78)	40/33 (82.5)	---	---
Coco	---	---	82/55 (67)	---	34/13 (38)	61/20 (33)
Goiaba	105/88 (84)	105/79 (75)	105/90 (86)	45/30 (67)	---	---
Pitanga	56/22 (40)	112/22 (20)	112/63 (56)	56/34 (60)	---	---

Tabela 2. Resultado das comparações (qui-quadrado) dos dados de sistema reprodutivo de espécies frutíferas cultivadas no nordeste do Brasil. AM= autopolinização manual; CO= controle (polinização natural); PC= polinização cruzada; EF= eficiência da polinização cruzada.

Tratamentos	AM x PC	PC x CO	AM x CO
Acerola	p= <0,05	ns	p= <0,05
Goiaba	p= <0,05	p= <0,05	ns
Pitanga	p= <0,05	ns	ns
Tratamentos	AG x EF	AG x CO	EF x CO
coco	ns	p= <0,05	p= <0,05

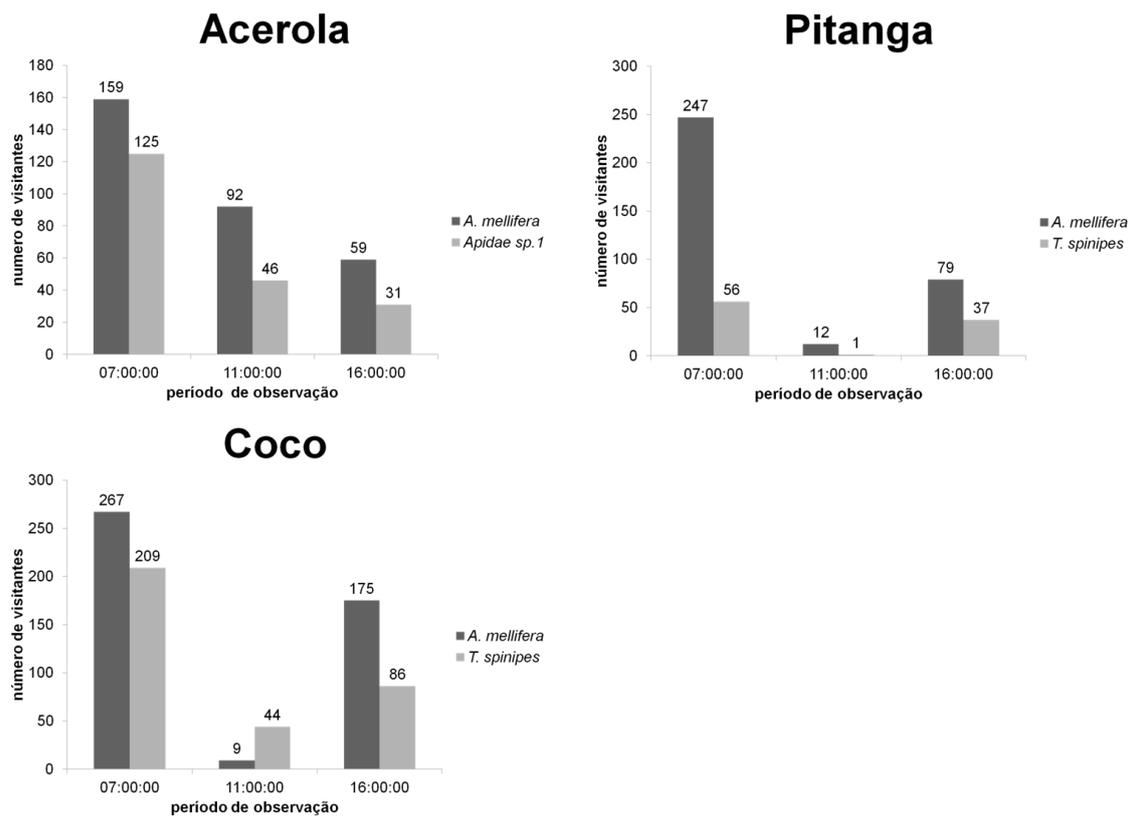


Figura 1. Número de visitantes florais observados em espécies frutíferas de cultivos da região nordeste do Brasil.

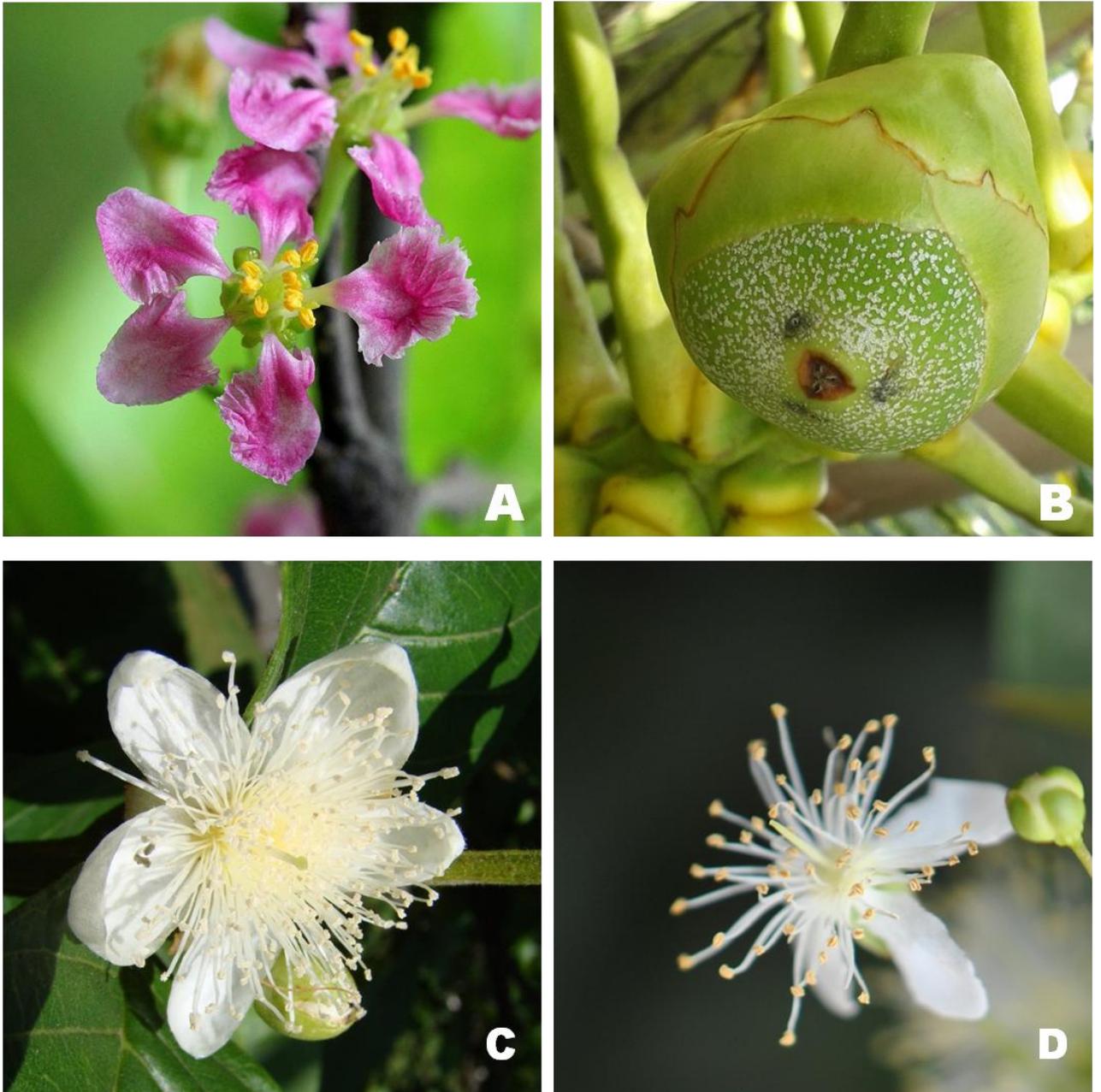


Figura 2. Espécies frutíferas de cultivos da região nordeste do Brasil. Flor da acerola (A), flor feminina do coco (B), flor da goiaba (C) e flor da pitanga (D).

Capítulo 2

Aspectos reprodutivos de carambola (*Averrhoa carambola* L.): uma espécie cultivar com mecanismo reprodutivo complexo **

** Manuscrito a ser submetido ao periódico “*Biodiversity and Conservation*”, qualis A2 na área de avaliação “Biodiversidade”. As normas para publicação podem ser visualizadas em:
http://www.springer.com/life+sciences/evolutionary+%26+developmental+biology/journal/10531?print_view=true&detailsPage=pltc_1902449

Aspectos reprodutivos de *Averrhoa carambola* L.: uma espécie cultivar com mecanismo reprodutivo complexo

Reinaldo Rodrigo Novo¹, Luiz Gonzaga Biones Ferraz², Elcida de Lima Araujo¹, Cibele Cardoso de Castro*^{1,3}

¹ Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 51280-400, Recife, PE, Brasil.

² Instituto Agrônomo de Pernambuco. Avenida General San Martin, 1371, 50761-000, Bongi, Recife, PE, Brasil.

³ Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Avenida Bom Pastor, s/n, Boa Vista, Garanhuns, PE, Brasil, 55292-270.

* Autor para correspondência: cibelegastro@hotmail.com

Resumo

A carambola (*Averrhoa carambola*) é uma espécie distílica caracterizada por um dimorfismo floral de origem genética na qual alguns indivíduos na população produzem exclusivamente flores de estilete longo e filetes curtos (longistilas) ou de flores de estilete curto e filetes longos (brevistilas). Há também uma reciprocidade entre elementos sexuais altos e baixos entre flores de morfos opostos. Dessa forma espécies distílicas tornam-se dependentes de um serviço de polinização que promova o fluxo polínico entre os diferentes morfos florais para a formação de frutos e sementes. Este estudo teve o objetivo de investigar os requerimentos reprodutivos, a frequência de visitantes florais e a eficiência dos polinizadores de carambola (*Averrhoa carambola* L., Oxalidaceae). O único polinizador observado foi a abelha *Apis mellifera*, que foi responsável pela formação de frutos. Desse modo, *A. mellifera* foi considerada um polinizador eficiente na cultura de carambola por promover o fluxo entre os morfos florais. O seu tamanho somado ao seu comportamento de forrageio parecem suprir as necessidades reprodutivos da espécie estudada, mesmo com a reprodução complexa apresentada pela espécie.

Palavras-chave: Reprodução de cultura agrícola, heterostilia, serviço de polinização

Introdução

A polinização é fundamental na condução de muitas culturas agrícolas (Shepherd et al. 2003; Mayer 2004). Entre os vários agentes polinizadores, os insetos apresentam, para a maioria das plantas, maior eficiência tanto pelo seu número na natureza quanto por sua melhor adaptação às, muitas vezes, complexas estruturas florais (Couto et al. 1990). Diversas plantas de interesse econômico, cultivadas comercialmente, apresentam total dependência dos insetos para sua polinização, sem os quais não ocorre produção de frutos (Biesmeijer et al. 2006).

A carambola (*Averrhoa carambola*) é uma espécie distílica, caracterizada por um dimorfismo floral de origem genética que divide os indivíduos de uma mesma espécie devido a diferenças morfológicas encontradas na flor. Indivíduos produzem exclusivamente flores de estilete longo (L) ou de estilete curto (B), acompanhado de forma recíproca pela altura das anteras ou comprimento dos filetes (Web and Lloyd 1986). Somada às diferenças morfológicas, espécies distílicas normalmente apresentam

um sistema de auto-incompatibilidade e incompatibilidade intramorfo. Acredia-se que a distília represente uma estratégia que minimiza as chances de autofertilização e promove o fluxo polínico entre morfos, devido à diminuição da interferência entre estigma e anteras e a deposição de pólen B e L em porções diferentes do corpo do polinizador (Web and Lloyd 1986; Barrett 2002). Espécies heterostílicas são dependentes dos polinizadores para se reproduzirem, de modo que a ausência de um bom serviço de polinização pode afetar o fluxo polínico entre essas espécies e conseqüentemente diminuir quantidade e a qualidade dos frutos e sementes (Barrett and Richards 1990).

Carambolas são cultivadas em áreas de regiões tropicais e subtropicais do planeta. Elas tem sido cultivadas no sudeste asiático à séculos e foi introduzida na Flórida (EUA) há mais de 100 anos, onde tem um grande importância comercial. Ainda hoje, sementes provenientes da Tailândia, Taiwan, e Malásia vem sendo introduzidas e selecionadas. Os maiores produtores mundiais são Taiwan, Malásia, Guiana, Índia, Filipinas, Austrália, Israel, Estados Unidos e Brasil (Watson et al. 1988; Ray 2002). Suas flores são atrativas para abelhas (Ray 2002). Na Malásia, *A. mellifera* é considerada um eficiente polinizador das flores de carambola e tem sido recomendada para melhorar a produção dos cultivos (Ray 2000). Estima-se que a produção brasileira, situada principalmente no estado de São Paulo, região sudeste, seja de aproximadamente 300 há, o volume de comercialização entre os anos de 2000 e 2003 na CEAGESP foi entorno de 2000 t/ano. Além da carambola, poucas espécies comerciais apresentam a síndrome da distília ou qualquer outro heterostílico, *Fagopyrum esculentum* Moench (Polygonaceae), *Averrhoa bilimbi* e *Oxalis tuberosa* (Oxalidaceae).

Com o propósito de contribuir informações sobre a polinização de *A. carambola* o objetivo do presente estudo foi investigar o requerimento reprodutivo, o sistema de polinização e a eficiência dos visitantes florais da cultura no semi-árido nordestino.

Material e métodos

Área de estudo

Os experimentos foram realizados entre dezembro de 2012 e dezembro de 2013 na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA em Ibimirim (8°32'15"S, 37°41'30"W), localizado a 333 km a Oeste da cidade de Recife, na

mesorregião Sertão Pernambucano e microrregião Sertão do Moxotó, região semi-árida de Pernambuco (CPRM 2005). A altitude da região fica em torno do 431 m, O clima é do tipo B'Swh', semiárido muito quente, tipo estepe (classificação de Köppen), com precipitação pluvial e temperatura média anual de 420 mm e 25 °C, respectivamente. Os meses mais quentes do ano possuem registros máximos de temperatura entre 35 e 40 °C, sendo eles os meses de novembro e dezembro, enquanto a temperatura mínima, aproximadamente 23 °C, ocorre nos meses de julho e agosto (Lamepe 2008).

Biologia floral

A fim de investigar a funcionalidade dos elementos reprodutivos, o período de antese e a receptividade estigmática foram investigado em 10 indivíduos, e deles três botões maduros foram isolados. Em um dos botões, imediatamente após a antese, testou-se a receptividade do estigma, no outro a receptividade foi testada próximo das 12:00 horas e o terceiro botão permaneceu intacto até o final da vida da flor para a determinação da duração da antese. A receptividade estigmática foi verificada por meio da reação de peroxidase, com a utilização de peróxido de hidrogênio a 10% (Dafni 1992).

Morfometria floral

Com o objetivo de verificar a ocorrência de reciprocidade entre os indivíduos, foram tomadas as medidas do comprimento total da corola (CC), diâmetro do tubo da corola (DT), altura do estigma (AE) e das anteras (AA) de cinco flores coletadas de 20 plantas e preservadas em álcool 70% (Richards and Koptur, 1993). As medidas foram feitas com o auxílio de com paquímetro digital com precisão de 0,5 mm.

Visitantes florais

O levantamento dos visitantes florais foi executado por meio da observação focal seguindo método modificado de Roubik (2002a). Foram selecionados de forma aleatória dez indivíduos floridos. Os indivíduos foram verificados três vezes ao dia (às 7:00h, às 10:00h e às 16:00h), durante 60 minutos por intervalo, durante cinco dias. Durante as observações foi registrado a morfoespecies dos visitantes florais, a frequência de visitas, comportamento na flor, o recurso floral coletado, contato com elementos sexuais e interação com outros visitantes. A frequência de visitantes foi analisada com o software Bioestat 5.3 (Ayres et al. 2007). Quando possível, os visitantes foram fotografados e

coletados para identificação. De acordo com o comportamento, os visitantes foram classificados como polinizador, quando este entra em contato com anteras e estigma ou como pilhador, quando não ocorre o contato.

Eficiência do polinizador

A avaliação da polinização dos polinizadores de carambola foi realizado em campo. Três inflorescências selecionadas na parte externa da copa, em dez plantas, tiveram seus botões em pré-antese isoladas com sacos de tecido voil isolada do contato de visitantes florais. Logo após a abertura das flores, os sacos foram removidos, e permaneceram disponíveis até que houvesse uma única visita, em seguida as flores eram novamente isoladas com o saco de tecido. O mesmo procedimento foi realizado após duas visitas, em diferentes inflorescências. O experimento foi realizado em períodos de maior frequência de visitas. O relação entre os visitantes e o numero de frutos formados após as visitas experimentais foi avaliada com o Teste G com o software Biostat 5.3 (Ayres et al. 2007).

Sistema reprodutivo

O sistema reprodutivo foi investigado por meio da observação da formação de frutos resultantes de experimentos de polinização manual. Botões em pré-antese foram isolados com sacos confeccionados com tecido voil e logo após a abertura, essas flores receberam os tratamentos de autopolinização espontânea (sem manipulação), autopolinização manual (recebendo seu próprio pólen) e polinização cruzada (recebendo pólen de outro indivíduo), polinizações cruzadas entre morfos florais (intermorfo) e entre morfos de mesmo tipo (intramorfo, ou seja, cruzamento de flores do mesmo morfo provenientes de indivíduos diferentes; (Barrett 2002). Um grupo de flores permaneceu apenas marcado para avaliação da taxa de formação de frutos após polinização natural (controle).

Após cada tratamento, as flores dos experimentos permaneceram ensacadas até o início da formação dos frutos. Os frutos foram contados quando atingiram estágio avançado de desenvolvimento, e comparados entre tratamentos usando o teste do qui-quadrado (Zar 1996).

Limitação polínica

A limitação polínica foi verificada comparando a produção de frutos após polinização cruzada manual e controle através do teste Qui-quadrado realizado com o software Bioestat 5.3 (Ayres et al. 2007). A limitação polínica foi constatada quando o número de frutos formados após o tratamento de polinização cruzada manual for maior que os frutos do tratamento controle (Freitas et al. 2010).

Resultados

Biologia floral - As flores da carambola são hermafroditas, pentâmeras, cálice com cinco sépalas, ambos de coloração rósea ou lavanda, o androceu é formado por cinco estames e cinco estaminódios, localizados em volta do gineceu, sincárpico formado por cinco carpelos. A antese é diurna com início às 5:00h e segue até as 17:00h quando ocorre o murchamento das flores. O estigma encontra-se receptivo desde o início da abertura das flores, assim como a deiscência das anteras e a liberação dos grãos de pólen, ambos estão disponíveis durante toda a vida da flor. Suas flores produzem néctar, entretanto a quantidade e o teor de açúcares não foram mensuráveis.

O estilete das flores da carambola estão sempre localizados acima das anteras, constatado separação espacial entre estigma e antera (Figura 1). A alturas das anteras e do estigma das flores investigadas (N= 50) diferem (U= 162,50; $p < 0,001$). Nenhuma das flores observadas apresentavam o estigma abaixo das anteras (Tabela 1).

Visitantes florais - As flores de *A. carambola* foram visitadas exclusivamente por *Apis mellifera*, que durante a visita às flores pousava na flor, apoiando as pernas no lóbulo das pétalas e em seguida entrava apenas com a cabeça no interior da flor, contactando as partes reprodutivas da flor (Figura 3 C e D). O tempo médio de permanência na flor foi de $11,04 \pm 3,40$ s (n= 48) variando de sete a 20 s. O tempo médio de visitas variou entre $10,06 \pm 0,92$ s no início da manhã, $8,0 \pm 1,03$ s no meio do dia e $15,06 \pm 2,46$ no final da tarde. Abelhas da espécie *Trigona spinipes* Fabr. (1875) foram observadas próximas ao cultivo, no entanto essas não mostravam interesse em suas flores e nunca foram avistadas nas flores de carambola, permanecendo em cultivos a 15 m de distancia. Os visitantes pousavam diretamente no topo do tubo da corola e inseriam a cabeça na parte interior da flor para acessar o néctar e o pólen, entrando em contato com anteras e

estigma. Após a coleta do recurso, as abelhas *A. mellifera* abandonavam a flor e repetiam o mesmo comportamento em outras flores da mesma inflorescência e do mesmo indivíduo. No geral as abelhas permaneciam durante longo período nas plantas, visitando muitas flores de um mesmo indivíduo. O horário de maior frequência de visitantes observados foi sempre nas primeiras horas da manhã, poucas horas após a abertura das flores. As visitas duraram até o fim da tarde, com diminuição na frequência de visitantes (Figura 2). Não houve diferença na formação de frutos após uma e duas visitas ($U= 12,50$, $p= 1$).

Sistema reprodutivo – Nos experimentos de polinização manual (Tabela 2), o número de frutos formados no tratamento de autopolinização cruzada é maior que o número de frutos formados após autopolinização manual ($\chi^2= 5,57$; $GL= 1$; $p<0,05$) e autopolinização espontânea ($\chi^2= 45,53$; $GL= 1$; $p<0,001$). Os frutos formados no controle não diferem dos tratamentos de polinização cruzada ($\chi^2= 1,81$; $GL= 1$; $p>0,05$), autopolinização manual ($\chi^2= 1,48$; $GL= 1$; $p>0,05$), sendo superior ao tratamento de polinização espontânea ($\chi^2= 30,35$; $GL= 1$; $p<0,001$). Os frutos formados após autopolinização manual diferem dos frutos de autopolinização espontânea ($\chi^2= 17,30$; $GL= 1$; $p<0,001$).

Limitação polínica – carambola não apresenta limitação polínica, sendo que os frutos formados no tratamento controle e de polinização cruzada manual não diferem ($\chi^2= 3,07$; $GL= 1$; $p>0,05$).

Discussão

Biologia floral: A coloração, o horário de antese e o recurso ofertado sugerem a síndrome da melitofilia (Van Der Pijl 1979). A heterostilia é caracterizada como um polimorfismo floral associado a diferenças na altura do estigma e das anteras das flores de indivíduo de uma mesma espécie (Ganders 1979; Barrett 1992). Esse mecanismo é reconhecido como uma estratégia que reduz a interferência entre os verticilos florais, diminuindo as chances do indivíduo se autopolinizar (Web and Lloyd 1986; Barrett and Richards 1990). Espécies distilicas, por exemplo, apresentam reciprocidade entre os indivíduos na população, de modo que a altura do estigma das flores de um indivíduo é

a mesma da antera das flores de outro indivíduo e vice versa, possibilitando a otimização da deposição e captação do pólen através do corpo do polinizador. As diferenças na altura do estigma das flores de carambola não é acompanhada pelo comprimento dos filetes da mesma flor e não foi constatado reciprocidade nas flores dos demais indivíduos da população estudada, de modo que as anteras estão sempre na mesma posição, sempre abaixo do estigma, podendo esta apresentar um dimorfismo estilar. Em alguns casos, o estigma de algumas flores A presença desse dimorfismo explicaria a variação na altura dos estiletos e posicionamento do estigma encontrados no presente estudo (Ferrero et al. 2011). Entretanto a diferenciação desses dimorfismos é difícil devido a variação de eventos e locais de ocorrência além do histórico da espécie e outros fatores de influência evolutiva (Barrett 1992; Ferrero et al. 2012).

No estudo realizado por Cabreira et al. (2011) as flores da caramboleira foram polinizadas por *A. mellifera*, e abelhas do gênero *Trigona*, sendo essas mais frequentes que a primeira. Heard (1999) registrou *T. thoracica* como polinizador eficiente de flores de carambola. Abelhas *Trigona*, durante os experimentos foram observadas diversas vezes consumindo flores e frutos de espécies cítricas (limão, pomelo, toranja) localizadas a aproximadamente 20 metros do pomar estudado, sem apresentar qualquer interesse nas flores da carambola. Fato interessante notado é que o mesmo ocorreu com as abelhas *A. mellifera* que dedicaram o esforço de forrageio exclusivamente às flores de carambola. Em culturas de citrus como a da laranjeira (*Citrus sinensis*) e toranjeira (*Citrus paradise*) e tangerineira (*C. reticulata*) *A. mellifera* foi o visitante floral com maior registro de frequência (Malerbo-Souza et al. 2003; Chacoff and Aizen 2006; Nascimento et al. 2011). Nascimento et al. (2011) observaram preferência dessas abelhas no forrageio no pomar com maior abundância de flores (laranjeira em relação a tangerineira), tornando-a mais atrativa quanto a oferta de recurso. A carambola de fato apresentou uma concentração indiscutivelmente maior de flores em relação aos pomares próximos, o que pode ter de fato monopolizado as visitas de *A. mellifera*. De modo geral, uma maior concentração de recursos tem maior poder de atração de visitantes florais (Sakai 2002; Forsyth 2003).

Espécies heterostílicas requerem maior especialização dos polinizadores para realizar o fluxo de pólen nas populações devido a complexidade morfológica e elaboração do sistema de incompatibilidade (Webb and Lloyd 1986). O tamanho e o

formato do tubo floral da carambola não dificulta o acesso do polinizador à região interna da flor. Como exemplo de dimorfismo clássico, espécies de Rubiaceae possuem flores com certa especialização apesar de serem visitadas por diversos grupos de polinizadores. Tal especialização age em conjunto com o polimorfismo das anteras e do estigma no fluxo polínico assimétrico, obrigando o polinizador a traçar um caminho único que possibilite a deposição e captação específica de pólen em seu corpo otimizando o fluxo e reduzindo a perda de pólen. (Ganders 1979). Apesar de ser visitada apenas por *A. mellifera* a morfologia das flores de carambola não possui obstáculo para qualquer visitante. No presente estudo, *A. mellifera* foi determinante para a formação de frutos nos experimentos onde seu desempenho foi avaliado.

Em diversos estudos de eficiência do polinizador, um maior número de visitas leva ao maior número de frutos e sementes formadas, entretanto, o excesso de visitas pode reduzir essa expectativa. Tem-se observado que com um elevado número de visitas em uma mesma flor pode diminuir o número de grãos de pólen já aderidos no estigma. Em outros casos, o excesso de grãos de pólen pode obstruir o estigma, impedindo o desenvolvimento do tubo polínico. A obstrução poderá ocorrer com o pólen de outras espécies. Entretanto, não é possível afirmar o motivo pelo qual *A. mellifera* foi o único inseto a forragear as flores de carambola. O mesmo ocorre com a falta de interesse da abelha *T. spinipes* pelas flores estudadas.

Poucas espécies cultivadas apresentam a síndrome da distilia. Há pouca informação sobre o sistema reprodutivo de carambola, dentre essas o registro de Knight Jr. (1965) aponta a presença de um sistema de autoincompatibilidade auto e intramórfico nos indivíduos por ele estudado. Os indivíduos do cultivo de Ibimirim formaram frutos em todos os experimentos, indicando quebra ou flexibilidade do sistema de autoincompatibilidade fortemente relacionada a síndrome da distilia. Este parâmetro pode estar relacionado com a exposição dos indivíduos às pressões que conhecidamente levam a colapso no sistema reprodutivo dessas espécies ou, por um carácter presente na família ou no gênero aqui estudado. Em alguns gêneros da família Rubiaceae como *Palicourea*, considerada predominantemente ornitófila, a presença de abelhas como principal visitante foi argumentada entre outras coisas sobre sua influência na quebra da distilia devido a variações nos padrões distílicos (Ree 1997).

Entretanto pouco se conhece sobre a estabilidade do sistema de incompatibilidade em espécies selecionadas para cultivo.

A ausência de limitação polínica, esta espécie pode ser beneficiada com o aumento da população de polinizadores, mesmo aqueles de língua curta, como é o caso de *A. mellifera*, pois o tubo curto da corola permite a polinização das flores brevistilas.

Conclusão

Referências bibliográficas

Ayres M, Ayres Jr. M, Ayres DL, Santos ASS (2007) Biostat: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Brasil.

Barrett SCH (1992) Heterostylous genetic polymorphisms: model systems for evolutionary analysis. In: Barret SCH. (ed) Evolution and function of heterostyly. Monographs on theoretical and applied genetics. springer-verlag, Berlin.

Barrett SCH (2002) The evolution of plant sexual diversity. Nat Rev Genet 3:274–284.

Barrett SCH, Richards JH (1990) Heterostyly in Tropical plants. Mem N Y Bot Gard 55:35–61.

Barrett SCH, Richards JH (1990) Heterostyly in tropical plants. Memoirs of the New York Botanical Garden 55: 35-61.

Biesmeijer JC, Roberts SPM, Reemer M, et al (2006) Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. Science 313:351–354.

Brown BJ, Mitchell RJ (2001) Competition for pollination: Effects of pollen of an invasive plant on seed set of a native congener. Oecologia 129:43–49.

Cane JH, Tepedino VJ (2001) Causes and extent of declines among native North American invertebrate pollinators: detection, evidence, and consequences. Conserv Ecol 5:1.

Chacoff NP, Aizen MA (2006) Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology* 43: 18-27.

Chittka L, Schürkens S (2001) Successful invasion of a floral market. *Nature* 411:653.

Corbet SA (1998) Fruit and seed production in relation to pollination and resources in bluebell, *Hyacinthoides non-scripta*. *Oecologia* 114:349–360.

Couto RHN, Pereira JMS, Couto LA (1990) Effects of insect pollination on squash. *Cientifica* 18:21–27.

CPRM (2005). Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Ibimirim, estado de Pernambuco. CPRM/PRODEEM, Recife.

Crane JH (2001) The carambola (star fruit). University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, EDIS.

Ferrero V, et al. (2011) Reciprocal style polymorphisms are not easily categorised: the case of heterostyly in *Lithodora* and *Glandora* (boraginaceae). *Plant Biology* 13: 7-18.

Forsyth SA (2003) Density-dependent seed set in the *haleakala silversword*: evidence for an allee effect. *Oecologia* 136: 551-557.

Ganders FR (1979) The biology of heterostyly. *New Zealand Journal of Botany* 17: 607-635.

Heard TA (1999) The role of stingless bees in crop pollination. *Annu Rev Entomol* 44:183–206.

Knight Jr RJ (1965) Heterostyly and pollination in carambola. *Proc. Fla. State Hort. Soc* 78: 375-378.

LAMEPE - Laboratório de Meteorologia de Pernambuco. <http://www.itep.br/LAMEPE.asp>. 15 Dez. 2008. [[Links](#)]

Malerbo-Souza DT, Nogueira-Couto RH, Couto LA (2003) Polinização em cultura de laranjeira (*citrus sinensis* l. osbekc, var. pera-rio). Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science 40: 237-242.

Mayer C (2004) Pollination services under different grazing intensities. J. Trop. Insect Sci. 24: 95-103

Nascimento ET, et al (2011) Diversidade de abelhas visitantes das flores de citrus em pomares de laranjeira e tangerineira. Rev. Bras. Frutic 33.

Potts SG, Vulliamy B, Roberts S, et al (2005) Role of nesting resources in organising diverse bee communities in a Mediterranean landscape. Ecol Entomol 30:78–85.

Ray PK (2002). Breeding tropical and subtropical fruits. Springer.

Ree RH (1997) Pollen flow, fecundity and the adaptive significance of heterostyly in *palicourea padifolia* (rubiaceae). Biotropica 29:298-308.

Robinson RA, Sutherland WJ (2002) Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. J Appl Ecol 39:157–176.

Roubik DW (1995) Pollination of cultivated plants in the tropics. Agric Serv Bull 118 198.

Ruijter A (2002). Pollinator diversity and sustainable agriculture in the Netherlands. In Kevan P, Imperatriz-Fonseca VL (eds) Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature. Ministry of Environment, Brasília.

Sakai S (2002) General flowering in lowland mixed dipterocarp forests of southeast asia. Biological Journal of the Linnean Society 75: 233-247.

Shepherd M, Buchmann SL, Vaughan M, Black SH (2003) Pollinator conservation handbook. The Xerces Society, Oregon.

Tscharntke T, Steffan-Dewenter I, Kruess A, Thies C (2002) Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. Ecol Appl 12:354–363.

Watson BJ, George, AP, Nisson RJ, Brown BI (1988) Carambola: a star on the horizon. Queensland Agric J. 114: 45-51.

Webb CJ, Lloyd DG (1986) The avoidance of interference between the presentation of pollen and stigmas in angiosperms II. Herkogamy. New Zeal J Bot 24:163–178.

Wong KC, Watanabe M, Hinata K (1994) Fluorescence and scanning electron microscopic study on self-incompatibility in distylous *Averrhoa carambola* L. Sex Plant Reprod 7:116–121.

Zar, J. H. 1996. Bioestatistical analysis. Prentice-Hall, New Jersey.

Tabela 1. Medidas das peças florais de *Averrhoa carambola* em área de cultivo experimental na região nordeste do Brasil.

Medidas florais	Média total \pm DP (mm)
Comprimento da corola	4,4 \pm 1,05
Diâmetro da corola	9,85 \pm 1,61
Diâmetro do tubo da corola	2,42 \pm 0,50
Altura do estigma	4,67 \pm 0,58
Altura da antera	3,16 \pm 0,58
Separação estigma-antera	1,51 \pm 0,59

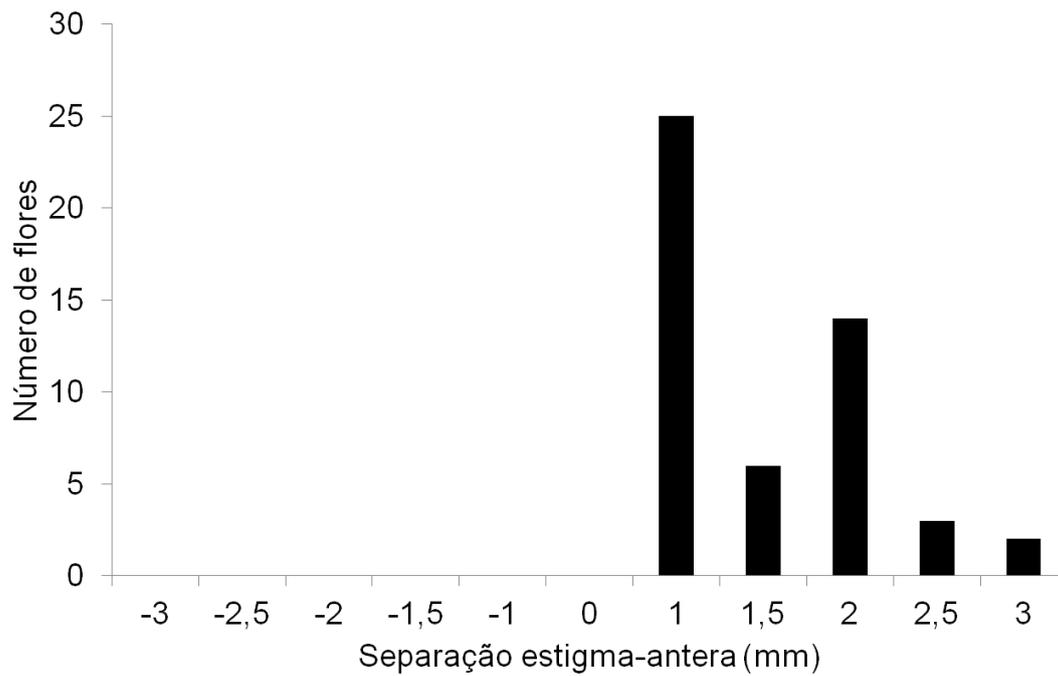


Figura 1. Histograma de frequência das medidas florais referentes à separação estigma-antera das flores de *Averrhoa carambola* em área de cultivo experimental na região nordeste do Brasil.

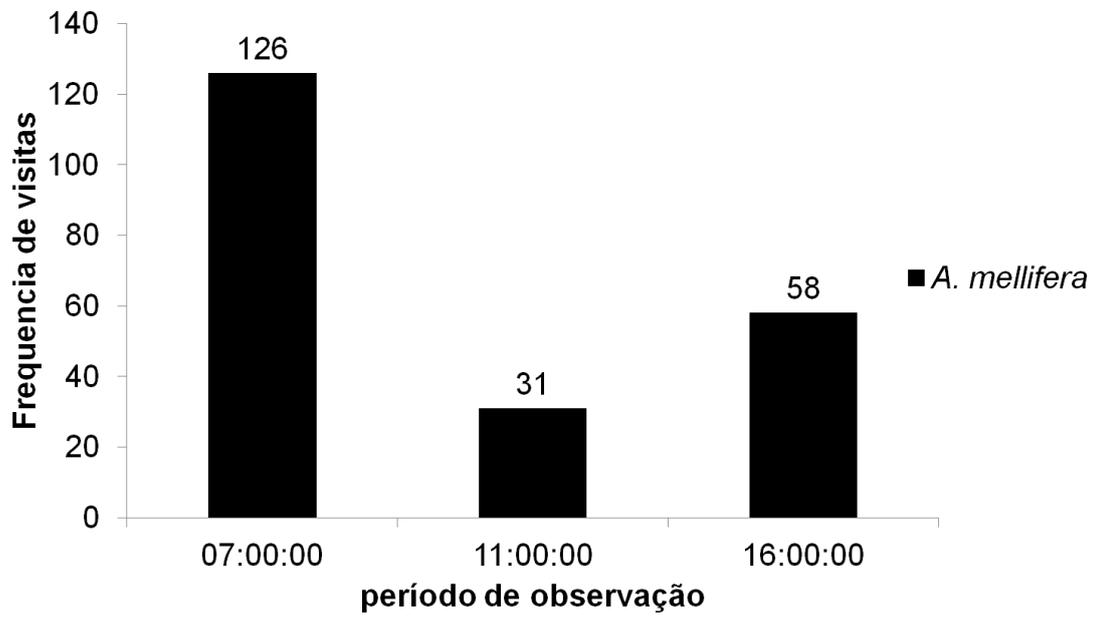


Figura 2. Frequência de visitas florais observadas em *Averrhoa carambola* na região nordeste do Brasil.

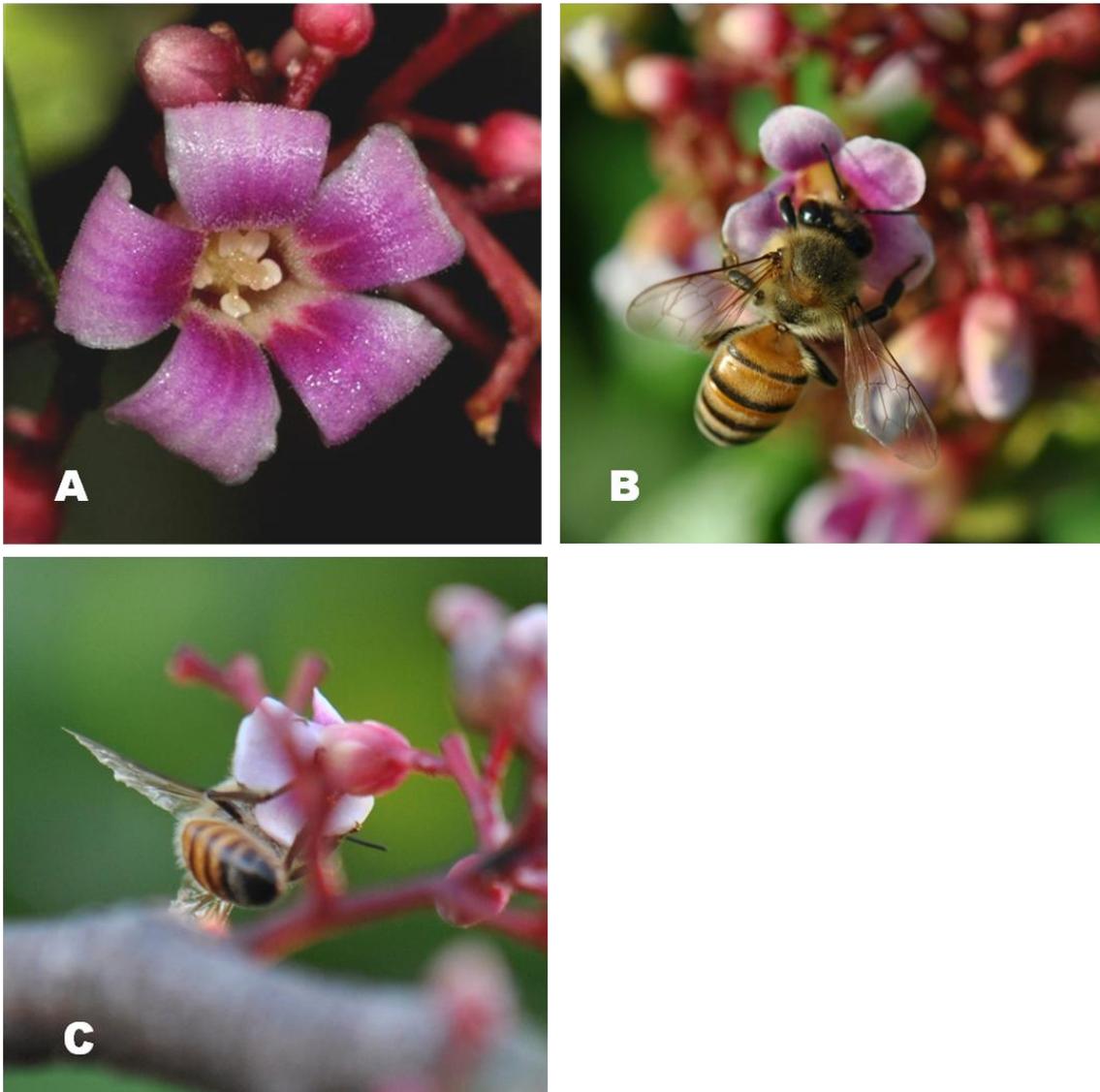


Figura 3. Flores e polinizadores de *Averrhoa carambola* na região nordeste do Brasil. Detalhe das flores (A) e *Apis mellifera* durante o forrageio (B-C).

Tabela 2. Resultados dos tratamentos de polinização manual e controle em flores de *Averrhoa carambola* na região nordeste do Brasil.

Tratamento	Número de flores polinizadas	Número de frutos formados	Sucesso reprodutivo (%)
Autopolinização manual	51	15	29
Autopolinização espontânea	80	3	4
Controle	75	30	40
Polinização cruzada	58	30	52

Considerações finais

Os resultados descritos no presente estudo descrevem as principais características reprodutivas de algumas espécies frutíferas de interesse econômico com grande valor agregado. O conhecimento entorno do requerimento reprodutivo de espécies cultivadas tem como principal objetivo fornecer dados principalmente para a melhoria na produção de frutos e sementes de modo otimizar ações de manejo relacionadas aos métodos de reprodução, introdução de polinizadores e preservação de polinizadores nativos e de fragmentos da região.

A carência de polinizadores nem sempre são observadas a curto prazo, mas seus efeitos podem levar, entre outras ocorrências, dependendo do grau de dependência, ao aumento considerável do custo da produção, em casos extremos, até à extinção de espécies nativas e cultiváveis, efeitos semelhantes aos fenômenos naturais catastróficos como enchentes e geadas. A complexidade de mecanismos reprodutivos de algumas espécies pode influenciar a produção quando não conhecidas e manejadas da forma correta. Mesmo espécies sem complexidade morfológica tendem a se beneficiar de sistemas de reprodução biótica, viabilizando os cruzamentos e aumentando a aptidão das plantas, resultado esse observado principalmente nos frutos e sementes.

Estudos complementares sobre a qualidade dos frutos e sementes após a ação de vetores bióticos ou específicos, quando houver, reafirmam a importância dos polinizadores para o homem na sociedade. Da mesma forma, estudos dos aspectos reprodutivos se fazem necessário para aumentar a informação entorno do requerimentos necessários para os diferentes cultivos e assim otimizar sua produção.