

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

MARCELO CASIMIRO CAVALCANTE

**ABELHAS POLINIZADORAS DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL
(*Bertholletia excelsa*) CULTIVADA NA AMAZÔNIA CENTRAL: PAPEL
DO NÉCTAR E DO ENTORNO DO PLANTIO NA POLINIZAÇÃO DA
CULTURA.**

**FORTALEZA – CE
2013**

MARCELO CASIMIRO CAVALCANTE

Zootecnista

**ABELHAS POLINIZADORAS DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL
(*Bertholletia excelsa*) CULTIVADA NA AMAZÔNIA CENTRAL: PAPEL
DO NÉCTAR E DO ENTORNO DO PLANTIO NA POLINIZAÇÃO DA
CULTURA.**

Tese apresentada Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal da Paraíba; como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Orientador: Prof. PhD. Breno Magalhães Freitas

FORTALEZA – CE
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- C364v Cavalcante, Marcelo Casimiro.
Abelhas polinizadoras castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada na Amazônia central: papel do néctar e do entorno do plantio na polinização da cultura / Marcelo Casimiro Cavalcante. - 2013.
79 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação Integrado em Zootecnia, Fortaleza, 2012.
Área de Concentração: Produção Animal.
Orientação: Prof. PhD. Breno Magalhães Freitas.

1. Abelhas polinizadoras. 2. Castanheira-do-brasil. 3. Néctar. 4. Produtividade. I. Título.

CDD 636.08

MARCELO CASIMIRO CAVALCANTE

**ABELHAS POLINIZADORAS DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL
(*Bertholletia excelsa*) CULTIVADA NA AMAZÔNIA CENTRAL: PAPEL
DO NÉCTAR E DO ENTORNO DO PLANTIO NA POLINIZAÇÃO DA
CULTURA.**

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em:

Comissão Examinadora:

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

Dr. José Everton Alves
Universidade Estadual Vale do Acaraú- UVA

Dra. Darci de Oliveira Cruz
Universidade Federal do Ceará - UFC

Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino
Universidade Federal do Ceará - UFC

Ph D. Breno Magalhães Freitas (Orientador)
Universidade Federal do Ceará -UFC

À **Deus**, pelo dom da vida;

Aos meus pais, **Francisco Casimiro do Nascimento** (*In memorian*) e **Ivoneide Cavalcante Casimiro**, pelo amor incondicional e formação do meu ser;

Aos meus irmãos, **Charles Casimiro Cavalcante**, **Kleber Casimiro Cavalcante** e **Rogério Casimiro Cavalcante** pela amizade e união.

À **Patrícia Calvet** pelo amor, carinho e paciência e seus pais **Frederico J. Beserra** e **Aila Calvet** pelo carinho e apoio durante toda essa caminhada;

À elas, **as abelhas**, maravilhas da natureza e objeto de nosso estudo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me conceder o dom da vida e por ter me proporcionado uma família estruturada e harmoniosa.

Aos pais, Francisco Casimiro do Nascimento e Ivoneide Cavalcante Casimiro pela dedicação e esforço em nos proporcionar uma educação de qualidade.

Aos irmãos Charles, Kleber e Rogério Casimiro Cavalcante pela amizade e companheirismo.

A minha namorada Patrícia Calvet Beserra pelo companheirismo e amor.

Ao Orientador e amigo Professor Breno Magalhães Freitas, pelos ensinamentos, confiança e apoio.

Ao Dr. Warwick Kerr pela oportunidade concedida para realização desse trabalho e pelas valiosas informações sobre a castanheira-do-brasil.

À Dra. Márcia Maués pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental (CPATU-Belém) e Coorientadora, pela grande parceria e enorme contribuição na condução do experimento.

Ao Professor Leonardo Galetto, pesquisador da Universidad Nacional de Córdoba (Córdoba- Argentina), por todos os ensinamentos sobre néctar e lições de vida.

À Dra. Lucia Wadt, pesquisadora da Embrapa Acre (CPAFAC- Rio Branco) pelas valiosas sugestões no projeto.

À Dra. Favízia de Oliveira Freitas, professora e pesquisadora da Universidade Federal da Bahia – UFBA e M.Sc. Thiago Mahlmann Vitoriano Lopes Muniz pela identificação de todas as espécies de abelhas presentes nesse trabalho.

Aos amigos de todas as horas e contemporâneos Hilton Alexandre, Paulo Marcelo Cidrão, Bruno Nóbrega, Mikail Olinda e Thalles Ribeiro Gomes pela amizade e parceria durante todos esses anos.

Aos amigos do curso de Pós-Graduação e do Grupo de Pesquisas com Abelhas (GPA) David Ramos, Isac Bomfim, Rômulo Rizzardo, Marcelo Milfont, Igor Torres, Daniel Brasil, David Silva, Celso Magalhães, Michelle Guimarães, Epifânia Rocha, Camila Queiroz e Raquel Pick pela amizade e apoio e ótimos momentos convividos.

Aos integrantes do Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Jaén (España), Prof. Pedro Rey, Júlio Alcántara, Alfonso Sánchez-Lafuente, Inmaculada Cancio, Jafael James e todos os outros integrantes do grupo de pesquisa pela recepção e por permitiram minha permanência de forma tranquila e prazerosa.

Aos funcionários do Setor de Abelhas da Universidade Federal do Ceará, Francisco Carneiro (Seu Chico) e Hélio rocha pelas boas conversas e troca de experiências sobre as abelhas.

À Universidade Federal do Ceará, Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado em Zootecnia bem como ao corpo docente que o torna de excelência.

À Universidad de Jaén, (Jaén-Espanha) que me recebeu e possibilitou o estágio doutoral.

À todos os funcionários da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Ceará, pela convivência harmoniosa durante o período em que fui bolsista.

À Empresa Agropecuária Aruanã S.A pelo espaço cedido à pesquisa.

Aos Engenheiros Agrônomos, Dr. Sérgio Vergueiro e Dr. Gabriel Teixeira de Paula Neto, pelo incentivo à pesquisa, confiança e apoio.

Ao Nonato, Preto, Bete, Bagas, Samuel e todos os demais funcionários da fazenda Aruanã, pela atenção e bons momentos de convivência pacífica.

Ao Laboratório de Abelhas da Universidade Federal do Ceará e ao Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino, responsável pelo Setor de Abelhas, pela prestatividade para conosco.

A todos os ex-integrantes do Grupo de Pesquisa com Abelhas da UFC, especialmente Ednir de Oliveira Santiago, Társio Thiago Lopes Alves, Eva Mônica Sarmento e membros das bancas de qualificação e defesa de tese, Júlio Otávio Pereira Portela, José Everton Alves e Darci de Oliveira Cruz pela grande contribuição nesse trabalho.

À secretária da Coordenação da Pós-graduação em Zootecnia Francisca Prudêncio Beserra, pela atenção e prestatividade.

À Capes, pela concessão bolsa de estudos que me possibilitou conduzir os estudos durante o curso de doutorado no Brasil e na Espanha durante o estagio doutoral.

À Rede sobre Polinização da Castanheira, Processo nº 556406/2009-5, financiada pelo CNPq, pelo auxílio concedido para condução de parte do experimento.

Ao Projeto Polinizadores do Brasil, financiado pela FAO/GEF/UNEP/MMA e FUNBIO, pelo auxílio concedido para condução de parte do experimento.

A todos que participaram, direta ou indiretamente, do desenvolvimento e êxito deste trabalho.

Meu muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

CAPÍTULO 1

REFERENCIAL TEÓRICO

1. IMPORTÂNCIA DOS POLINIZADORES	23
2. CASTANHEIRA-DO-BRASIL (<i>Bertholletia excelsa</i>)	24
2.1 Biologia Floral.....	26
2.2 Visitantes Florais e Polinizadores.....	26
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

CAPÍTULO 2

PAPEL DO NÉCTAR NA POLINIZAÇÃO DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*) CULTIVADA NA AMAZÔNIA CENTRAL.

RESUMO	34
ABSTRACT	35
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	38
2.1 Área Experimental.....	38
2.1.1 Localização.....	38
2.1.2 Padrão de secreção de néctar.....	38
2.1.3 Interação abelha-planta.....	39
2.2 Delineamento Estatístico.....	39
3. RESULTADOS E DISCUSÃO	41
3.1 Secreção de Néctar.....	41

3.2 Comportamento de forrageio das abelhas para coleta de néctar.....	44
2.3 Interação planta-polinizador.....	48
4. CONCLUSÕES.....	50
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

CAPÍTULO 3

EFEITO DA VEGETAÇÃO DO ENTORNO DOS PLANTIOS E DISTÂNCIA DA FLORESTA SOBRE A COMUNIDADE DE ABELHAS POTENCIAIS POLINIZADORAS DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*) EM UM CULTIVO NA AMAZÔNIA CENTRAL.

RESUMO.....	55
ABSTRACT.....	56
1. INTRODUÇÃO.....	57
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	59
2.1 Área Experimental.....	59
2.1.1 Localização.....	59
2.2 Coleta de Dados.....	59
2.2.1. Visitantes Florais.....	61
2.2.2 Deposição de Pólen.....	61
2.3 Estimativa da Diversidade.....	62
2.4 Equabilidade.....	62
2.5 Delineamento estatístico.....	63
3. RESULTADOS E DISCUSÃO.....	64
3.1 Visitantes Florais.....	64
3.2 Efeito do entorno e da distância dos fragmentos de vegetação nativa.....	67
3.3 Deposição de pólen no estigma.....	70
4. CONCLUSÕES.....	72
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1		Página
1	Quantidade e valor dos produtos da extração vegetal de castanheira-do-brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>) segundo as grandes regiões e unidades da Federação – 2011.	25
CAPÍTULO 2		
1	Valores médios de volume (μl), concentração (%) e quantidade de açúcar (mg) de néctar de <i>Bertholletia excelsa</i> ao longo do dia.	42
CAPÍTULO 3		
1	Visitantes florais e potenciais polinizadores da castanheira-do-brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>) em cultivo na Amazônia central.	64

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1		Página
1	Flor da castanheira-do-brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>): corte longitudinal mostrando suas estruturas (Ca= Capuz; Et= Estaminódios; Li= Lígula; Ae= Anel estaminal; Eg= Estigma; Ov= Ovário).	26
CAPÍTULO 2		
1	Padrão de secreção de néctar de <i>Bertholletia excelsa</i> cultivada: volume (μ l/flor), concentração (%) e quantidade de açúcar (mg/flor).	41
2	Padrão de secreção de néctar de <i>Bertholletia excelsa</i> cultivada: volume (μ l/flor), concentração (%) e quantidade de açúcar (mg/flor), associados às variáveis ambientais de temperatura ($^{\circ}$ C) e umidade relativa (%).	43
3	Volume de néctar de flores que não receberam visitação (vol. 1) e volume de néctar de flores que receberam inúmeras visitas (vol. 2) ao longo do dia.	45
4	Frequência e abundância média por árvore de visitantes florais e potenciais polinizadores e padrão de secreção da quantidade de açúcar em flores protegidas de visitas e do volume de néctar em flores de <i>Bertholletia excelsa</i> cultivada expostas a visitação, Itacoatiara-AM.	46
5	Curva de frequência de abelhas visitantes florais associada à temperatura ($^{\circ}$ C) e umidade relativa do ar (%) ao longo do dia em um plantio de castanheira-do-brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>) na Amazônia Central, 2009 e 2010.	47
6	Corte transversal de flor de <i>Bertholletia excelsa</i> : comprimento médio da base do capuz à base dos estaminódios ($10,48\text{mm} \pm 0,168 \text{ S.E.}$).	48
7	Comprimento médio das glossas dos potenciais polinizadores da castanheira-do-brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>) cultivada na Amazônia central.	49
CAPÍTULO 3		
1	Imagem de satélite das áreas de cultivo de castanheira-do-brasil na Fazenda Aruanã, destacando os dois ambientes e a localização espacial das árvores utilizadas no experimento.	60

- 2 Croqui das áreas experimentais: a) área 1: monocultivo de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) com “capoeira” e b) área 2: consórcio de castanheira com pupunha (*Bactris gasipaes*) sem “capoeira” entre as fileiras do cultivo. 60
- 3 Abelhas visitantes florais e potenciais polinizadores da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em cultivo na Amazônia central. 65
- 4 Abundância total de espécies visitantes florais em árvores de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada em ambientes com diferentes entorno e distâncias de fragmentos de vegetação natural, na Amazônia central. 66
- 5 Riqueza e abundância totais e índice de diversidade (H') de espécies visitantes florais e potenciais polinizadoras da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada a diferentes distâncias de fragmentos florestais (vegetação nativa) em áreas com e sem “capoeira” dentro do plantio na Amazônia central. 69
- 6 Germinação de pólen na superfície estigmática e crescimento de tubos polínicos no tecido transmissor em estigma de flor de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada na Amazônia central, sob microscopia de fluorescência.
- 7 Quantidade de grãos de pólen depositado no estigma das flores de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada, localizadas a diferentes distâncias dos fragmentos florestais. 71

RESUMO GERAL

A baixa produtividade verificada em plantios comerciais de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecytidaceae) pode estar associada ao manejo dos sistemas de cultivo, que interfere decisivamente na diversidade, riqueza e abundância das abelhas polinizadoras, bem como no comportamento de forrageio. Porém, em cultivos de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) pouco se sabe sobre o efeito da paisagem na comunidade de abelhas visitantes florais e das interações existentes entre os recursos ofertados pela planta e sua interação com seus polinizadores. Desta forma, o presente projeto se propõe a entender o papel do néctar no processo de polinização das castanheira-do-brasil e estudar o efeito do entorno dos sistemas de plantio (através da presença de faixas de vegetação secundária no interior dos plantios “capoeira”) sobre a visitação dos potenciais polinizadores de *B. excelsa* cultivada em uma matriz florestal na Amazônia central. A pesquisa foi conduzida entre os meses de outubro a dezembro de 2009 e 2010 em uma área com 3600 ha de cultivo de castanheira-do-brasil, pertencente a Agropecuária Aruanã, localizada no município de Itacoatiara, estado do Amazonas. Os resultados mostraram que as flores de *B. excelsa* já ofertam néctar desde a antese (14,48µl, 38,74% e 6,56 mg de açúcar), com um padrão de secreção do volume e da quantidade de açúcar contínuo e crescente até as 15:30h e 13:30h, respectivamente, aumentando a taxas de 2,10 µl/hora e 0,69 mg/hora. Após esses horários, para cada variável, observou-se redução nas taxas de secreção, caracterizando início de processo de reabsorção. Contrariamente, a concentração de solutos solúveis foi decrescente após 7:30 h, mantendo valores semelhantes ($p > 0,01$) durante todo o período da manhã e superiores aos da tarde, coincidindo com o pico de atividade das abelhas. Apesar do padrão de secreção do néctar demonstrar maiores valores de volume e quantidade de açúcar no período da tarde, nas condições naturais de visitação da área de estudo praticamente todo o néctar foi coletado ainda pela manhã, em função da elevada atividade de visitantes influenciada pelas condições de temperatura. Todos os visitantes florais amostrados, com exceção de *Megachile* sp., possuem características de tamanho da glossa que condizem com a estrutura morfológica das flores, proporcionando sucesso na coleta do néctar e, potencialmente, no processo de polinização da castanheira. A área com capoeira manteve uma população mais rica e abundante do que a sem capoeira ($p < 0,05$), mostrando a importância dessa vegetação como repositório natural para a manutenção de espécies de abelhas polinizadoras dentro do plantio de castanheira. As espécies *Xylocopa frontalis* e *Eufriesea flaviventris* se destacaram como as

mais abundantes, sendo a primeira encontrada em maior quantidade no cultivo com capoeira (88% do total de abelhas) e a segunda na área sem capoeira (64%). Entretanto, a distância das árvores aos fragmentos de vegetação nativa não afetou a abundância e riqueza de abelhas visitantes florais ($p > 0,05$), tanto no ambiente com capoeira quanto no sem a capoeira, apesar de ter sido verificadas populações mais diversas nesse ambiente. Dessa forma, conclui-se que parece haver um sincronismo entre o padrão de secreção de néctar e a atividade dos visitantes florais e potenciais polinizadores, aumentando as chances de sucesso reprodutivo pelas interações abelha-planta. Conclui-se ainda que o sistema de manejo da paisagem que mantém faixas de vegetação secundária “capoeira” no interior do plantio mantém uma maior riqueza e abundância de abelhas polinizadoras, favorecendo assim a polinização e o incremento da produtividade da cultura.

Palavras-chave: Abelhas Polinizadoras. Castanheira-do-brasil. Entorno do cultivo. Néctar. Produtividade.

GENERAL ABSTRACT

The low productivity observed in commercial crops of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) may be associated with the management of cropping systems, interfering decisively in diversity, richness and abundance of pollinating bees and foraging behavior. However, in cultures of Brazil nut, so little is known about the effect of the landscape in the community of bees flowers visitors and the interactions between the resources offered by the plant and their interaction with their pollinators. Thus, this project aims to understand the role of nectar in pollination of Brazil nut trees and study the effect of the surrounding planting systems on the visitation of potential pollinators to *Bertholletia excelsa* under cultivation in central Amazonia rain forest. The experiment was conducted between the months of October to December 2009 and 2010 in an area of 3600ha of farming the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*), belonging to Agricultural Aruanã, located in Itacoatiara, Amazonas state. The results showed that the flowers of *B. excelsa* already proffer nectar from anthesis (14.48 μ l, 38.74% and 6.56 mg of sugar), with a pattern of secretion volume and the amount of sugar continued and increasing until 15:30 h and 13:30 h, respectively, increasing rates of 2.10 / hour and 0.69 mg / hour. After these times, for each variable, there was a reduction in the rate of secretion, featuring early resorption process. In contrast, the concentration of solute concentration was decreasing after 7:30 h while maintaining similar values ($p > 0.01$) throughout the morning and afternoon superior to, coincident with the peak activity of the bees. Despite the pattern of nectar secretion show higher values of volume and amount of sugar in the afternoon, under natural conditions of visitation of the study area almost all the nectar was collected in the morning yet, due to the high activity of visitors influenced by conditions temperature. All flower visitors sampled except *Megachile* sp., Have characteristics of size glossa meets morphological structure of flowers, providing success in collecting nectar and potentially in the pollination process of chestnut. The area with a population capoeira remained abundant and richer than capoeira without ($p < 0.05$), showing the importance of this natural vegetation as a repository for maintaining species of pollinating bees inside the planting of chestnut. The species *Xylocopa frontalis* and *Eufriesea flaviventris* stood out as the most abundant, the first being found in greater quantity in cultivation with poultry (88% of total bees) and the second in the area without poultry (64%). However, the distance from the trees to the fragments of native vegetation did not affect the abundance and diversity of bees floral visitors ($p > 0.05$), both in the environment and in poultry without the roost, despite having been checked several populations in this environment. Thus, we conclude that there seems to be a synchronism

between the pattern of nectar secretion and activity of floral visitors and potential pollinators, increasing the chances of reproductive success by bee-plant interactions. We can also conclude that the system of land management that keeps tracks of secondary vegetation "capoeira" inside the plant maintains a greater richness and abundance of pollinating bees, thereby increasing pollination and yield of the crop.

Keywords: Pollinators Bees. Brazil-nut. Surrounding's Crop. Néctar. Productivity.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A polinização é um dos processos-chave na manutenção dos ecossistemas, bem como essencial na obtenção de melhores índices produtivos em diversas espécies vegetais utilizadas em cultivos agrícolas (KLEIN *et al.* 2007). Cerca de 85% das espécies de plantas com flores conhecidas dependem, em algum momento, de animais polinizadores (OLLERTON *et al.*, 2011), sendo as abelhas os principais representantes desse grupo e responsáveis por 73% da polinização das espécies cultivadas (KEVAN e IMPERATRIZ-FONSECA, 2002). Recentemente, Gallai *et al.* (2009) correlacionaram a vulnerabilidade da produção de alimentos ao declínio de polinizadores no mundo e valoraram a importância econômica das abelhas como polinizadoras de plantas que servem como alimento para o homem, em termos globais, em cerca de 153 bilhões de euros.

Limitações dos serviços de polinização em cultivos agrícolas são, principalmente, decorrentes das alterações na estrutura da paisagem. Essas alterações são resultantes, principalmente, pelo uso intensivo do solo que leva à perda de ambientes naturais e a sua fragmentação (KREMEN *et al.*, 2002; STEFFAN-DEWENTER e WESTPHAL, 2008), afetando negativamente o comportamento, a riqueza, composição de espécies e abundância de polinizadores (TAKI e KEVAN, 2007; RICKETS *et al.*, 2008; MEYER *et al.*, 2009), por provocarem redução na oferta de recursos, pela falta de habitats adequados e por aumentarem o isolamento de ambientes favoráveis (CHACOFF e AIZEN, 2006; AIZEN *et al.*, 2009; HOLZSCHUCH *et al.*, 2010). Essa perda de polinizadores em agroecossistemas é mais rápida nos trópicos que nas regiões de clima temperado e o aumento da área cultivada necessária para compensar o déficit de polinização tem sido menor nos países desenvolvidos e maior naqueles em desenvolvimento (AIZEN *et al.*, 2009). Entretanto, o tamanho mínimo para que as manchas de habitat devam ter para garantir a sobrevivência dessas espécies e a conservação dos serviços de polinização é incerto e, provavelmente distinto para diferentes ecossistemas (KREMEN *et al.*, 2004; RICKETS *et al.*, 2004; TSCHANRNTKE *et al.*, 2008).

Dentre os diversos ecossistemas brasileiros, a Amazônia é um dos que mais tem sido afetado pela perda de habitat natural de espécies de abelhas polinizadoras, especialmente pela expansão das fronteiras agrícolas e pecuária (CASCANTE *et al.*, 2002; AGUILAR *et al.*, 2006; FREITAS *et al.*, 2009). Espécies vegetais nativas de grande importância social e econômica, como a castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecytidaceae), têm

sofrido essas consequências, especialmente pela dependência das abelhas para a produção de frutos e sementes (MAUÉS, 2002; CAVALCANTE *et al.*, 2012).

A castanheira fornece um dos produtos mais importantes para o desenvolvimento socioeconômico de várias populações que vivem na floresta tropical da Amazônia, sendo um forte apelo para a conservação de áreas de florestas como as Reservas Extrativistas (RESEX's) (WADT *et al.*, 2008). A economia local e regional em grande parte da Amazônia depende fortemente do extrativismo da castanha-do-brasil, uma vez que apenas em 2011 foram produzidos mais de 42 mil toneladas, representando mais de R\$ 69 milhões (IBGE, 2011) na economia regional e impactando diretamente a vida de comunidades extrativistas, pequenos produtores e populações indígenas que, durante a comercialização, interagem com empresários da agroindústria e do setor de exportação. É também uma das espécies que compõem sistemas agroflorestais (SAFs) na Amazônia (SILVA *et al.*, 2008), tais como os SAFs encontrados no município de Tomé-Açu (PA), implantados por colonos japoneses na localidade de Quatro Bocas há mais de 20 anos (MENDES, 2003). Além disso, existem extensos monocultivos, como o encontrado na Fazenda Aruanã, município de Itacoatiara-AM, que tem 318.000 árvores enxertadas em fase de produção de frutos e 679.000 árvores destinadas à produção de madeira em uma área de 3.600 ha (INPA, 2007).

Esse adensamento em plantios de grandes áreas contínuas provoca alterações em diferentes escalas aos polinizadores, podendo ser um fator decisivo na produtividade da cultura. Indícios de que isso possa ocorrer nos plantios de castanheira-do-brasil foram observados por Cavalcante (2008) quando verificou que houve variação na riqueza, diversidade e abundância de abelhas visitantes de *B. excelsa* à medida que a florada progrediu, sugerindo a dispersão dos polinizadores entre as plantas e um déficit de polinizadores. Assim como, os recursos ofertados (néctar e pólen) podem interferir no comportamento de forrageio das abelhas e, conseqüentemente, na produtividade da cultura.

Portanto, o presente trabalho procurou investigar o papel do néctar nas abelhas polinizadoras, bem como o efeito da distância da mata sobre a diversidade e riqueza desses polinizadores na castanheira-do-brasil cultivada na Amazônia Central.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, R.; ASHWORTH, L.; GALETTO, L. e AIZEN, M.A. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. **Ecology Letters**, Paris, 9: 968-980, 2006.
- AIZEN, M.A; GARIBALDE, L.A.; CUNNINGHAM, S.A. e KLEIN, A.M. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from Long-term Trends ins Crop Pollination. **Annals of Botany**, 103(9):1579-1588, 2009.
- CASCANTE, A.; QUESADA, M.; LOBO, J.J. e FUCHS, E.A. Effects of dry tropical fragmentation on the reproductive success and genetic structure of the tree *Samanea saman*. **Conservation biology**, Washington, 16(1): 137-147, 2002.
- CAVALCANTE, M.C. **Visitantes florais e polinização da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. e B.) em cultivo na Amazônia central**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Zootecnia/ Universidade Federal do Ceará-UFC, Fortaleza, Ceará, 2008.
- CAVALCANTE, M.C.; OLIVEIRA, F.F.; MAUÉS, M.M; FREITAS, B.M. Pollination requirements and the foraging behavior of potential pollinators of cultivated brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) Trees in Central Amazon Rainforest. **Psyche: A Journal of Entomology**, 2012:1-9, 2012.
- CHACOFF, N.P. e AIZEN, M.A. Edge effects on flower visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. **Journal of Applied Ecology**, 43(1): 18-27, 2006.
- FREITAS, B.M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L; MEDINA, L.M; KLEINERT, A.M.P; GALETTO, L.; NATES-PARRA, G. e QUEZADA-EUÁN, J.J.G. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics *Apidologie* 40(3): 332, 2009.
- GALLAI, N.; SALLES, J.; SETTELE, J. e VASSIÈRE, B. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, 68(3): 810-821, 2009.

HOLZSCHUCH, A.; STEFFAN-DEWENTER, I. e TSCHARNTKE, T. How do landscape composition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? **Journal of Pollination Ecology**, 79(2): 491-500, 2010.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. 2011. (http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola).

INPA. Pupunha-Net, 2007. <<http://www.inpa.gov.br/pupunha/empreendedores/aruana.html>> (acessado em 23/09/2009).

KEVAN, P. G.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002.

KLEIN, A.M.; VASSIÈRE, B.E.; CANEJ.H.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S.A.; KREMEN, C. e TSCHARNTKE, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, 274(1608): 303-313, 2007.

KREMEN, C., WILLIAMS, N.M.; THORP, R.W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of USA**, 99(26): 16812–16816, 2002.

KREMEN, C.; WILLIAMS, N.M.; BUGG, R.L.; FAY, J.P. e THORP, R.W. The area requirements of an ecosystem service: Crop pollination by native bees communities in California. **Ecology Letters**, 7(11): 1109-1119, 2004.

MAUÉS, M.M. Reproductive phenology and pollination of the brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb.e Bonpl.) in eastern Amazônia. In: Kevan P e Imperatriz fonseca. **Pollinating Bees-The conservation link between agriculture and nature**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.245-254, 2002.

MENDES, F.A.T. Avaliação de modelos simulados de sistemas agroflorestais em pequenas propriedades cacauceiras selecionadas no Município de Tomé Açu, no Estado do Pará. **Revista UniOeste - Informe GEPEC** v. 7. n. 1, 2003.

MEYER, B.; JAUKER, F. e STEFFAN-DEWENTER, I. Contrasting resource-dependent responses of hoverfly richness and density to landscape structure. **Basic and Applied Ecology**, 10(2): 178-186, 2009.

OLLERTON, J.; WINFREE, R. e TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, 120 (3): 321-326, 2011.

RICKETTS, T.H.; DAILY, G.C.; EHRLICH, P.R. e MICHENER, C.D. Economy value of tropical forest to coffee production. **Proceedings of the Natural Academy of Sciences of the United States of America**, 101(34): 12597-12582, 2004.

RICKETTS, T.H.; 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. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? **Ecology Letters**, 11, 499-515, 2008.

SILVA, P.T.E.; BRIENZA JÚNIOR, S.; YARED, J.A.G.; BARROS, P.L.C.; MACIEL, M.N.M. Principais espécies florestais utilizadas em sistemas agroflorestais na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias** (Belém), 49: 127-144, 2008.

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

TAKI, H. e KEVAN, P.G. Does habitat loss affect the communities of plants and insects equally in plant-pollinator interactions? Preliminary Findings. **Biodiversity and Conservation**, 16(11): 3147-3161, 2007.

TSCHANRNTKE, T.; SEKERCIOGLU, C.H.; DIETSCH, T.V.; SODHI, N.S.; HOEHN, P. e TYLIANAKIS, J.M. Landscape constraints on functional diversity of birds and insects in tropical agroecosystems. **Ecology**, 89(4): 944-951, 2008.

WADT, L ; KAINER, K ; STAUDHAMMER, C ; SERRANO, R. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: Natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, 141; 332-346, 2008.

CAPÍTULO 1

REFERENCIAL TEÓRICO

1. IMPORTANCIA DOS POLINIZADORES

O papel funcional dos serviços ecossistêmicos prestados pelos polinizadores é fundamental na manutenção da biodiversidade e da composição florística, bem como na produção de alimentos em cultivos agrícolas (KLEIN, *et al.*, 2007; POTTS *et al.*, 2010). Cerca de 75% da alimentação humana depende direta ou indiretamente de plantas polinizadas ou beneficiadas pela polinização animal (KLEIN, *et al.*, 2007). Dentre esses animais, as abelhas são consideradas os polinizadores mais importantes (FREE, 1993; KLEIN *et al.*, 2007; WINFREE *et al.*, 2011; ELLIS *et al.*, 2010), sendo estimado em 73%, as espécies agrícolas ao redor do mundo dependentes da polinização por abelhas (NABHAN e BUCHMANN, 1997; FAO, 2004).

As abelhas destacam-se como extraordinários polinizadores principalmente por serem os únicos insetos que visitam as flores para coleta de pólen, o qual servirá como fonte de alimento para suas larvas, além da necessidade de coletar néctar para satisfazer suas próprias necessidades energéticas, e/ou as necessidades de sua colônia, no caso particular das abelhas sociais (KEVAN, 2007; BRADBEAR, 2009).

Dentre as abelhas, a espécie *Apis mellifera* se destaca como o polinizador economicamente mais valioso para a agricultura mundial, cuja técnica de criação é dominada, permitindo, assim, sua multiplicação e uso em grande escala (COMMITTEE ON THE STATUS OF POLLINATORS IN NORTH AMERICA, NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2007; KLEIN *et al.*, 2007). Outras espécies de abelhas sociais têm se destacado e apresentam grande potencial como agentes polinizadores de cultivos agrícolas, como as *Bombus* (VELTHUIS e VAN DOORN, 2006) e espécies da subfamília Meliponinae (CASTRO *et al.*, 2006; SLAA *et al.*, 2006).

Além das abelhas sociais, algumas espécies solitárias dos gêneros *Osmia*, *Megachile*, *Nomia*, *Xylocopa*, *Centris*, dentre outras, vêm sendo utilizadas de forma manejada em diversas culturas agrícolas (SEKITA, 2001; BOSH E KEMP, 2001; FREITAS E OLIVEIRA-FILHO, 2001; PITTS-SINGER e CANE, 2011; MAGALHÃES e FREITAS, 2012). Apesar do crescimento observado na utilização de abelhas manejadas em cultivos agrícolas, o homem utiliza menos de 0,1% das espécies conhecidas para tal fim (OLLERTON *et al.* 2011).

No entanto, a população de muitos polinizadores está diminuindo a níveis que comprometem os serviços de polinização nos ecossistemas naturais e agrícolas e a manutenção da capacidade reprodutiva de plantas silvestres (KREMEN, 2004). O declínio dos polinizadores em áreas agrícolas, especialmente as abelhas, normalmente é atribuído ao uso de defensivos agrícolas, que matariam ou afastariam os polinizadores das culturas, e aos desmatamentos que eliminariam as fontes de alimento (pólen, néctar, óleos vegetais), locais de abrigo (do clima e predadores) e de nidificação e reprodução (KREMEN *et al.*, 2002; LARSEN *et al.*, 2005; FREITAS e PINHEIRO, 2012). Dentre esses, tem se dado maior ênfase aos problemas causados pelos defensivos agrícolas e redução das fontes de alimento, esquecendo-se da importância dos locais para nidificação e reprodução, sem os quais os polinizadores não podem se perpetuar na área (FREITAS e PEREIRA, 2004; MALASPINA *et al.* 2008).

Portanto, ecossistemas agrícolas e naturais são integrados na paisagem de forma que a produtividade agrícola depende da conservação de áreas naturais, e a integridade dessas áreas naturais depende da disposição dos diferentes usos e ocupações da paisagem, bem como do manejo agrícola empregado (AIZEN *et al.*, 2009). Essa relação torna-se ainda mais relevante em função do aumento da importância de espécies vegetais dependentes de polinizadores na produção agrícola mundial (AIZEN *et al.*, 2009), como é o caso da castanheira-do-brasil.

2. CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*)

Bertholletia excelsa (Lecythidaceae) é uma árvore emergente com um longo ciclo de vida e ampla distribuição na Floresta Amazônica. Produz frutos lenhosos (chamados ouriços), contendo de 10 a 25 sementes (castanhas) que permanecem dentro do fruto depois de sua queda. Em circunstâncias naturais, os frutos (ouriços) são abertos por roedores caviomorfos tais como as cutias (*Dasyprocta* spp.), que apesar de se alimentarem das sementes, são também considerados o principal agente dispersor da espécie. Estes roedores são, conseqüentemente, fundamentais à regeneração natural da castanheira (PRANCE e MORI, 1979; TERBORGH *et al.*, 1993; BAIDER, 2000).

Após a decadência da borracha, a castanha-do-brasil passou a constituir o principal produto extrativo para exportação da Região Norte do Brasil e sua exploração desempenha

papel fundamental na organização socioeconômica de grandes áreas extrativistas da floresta (SILVA, 2002). A produção nacional gira em torno de 42 mil toneladas, dominada pela região Norte com mais de 93% da produção (Tabela 1), representando 69,404 milhões de reais na economia regional e com impacto direto na vida de comunidades extrativistas, pequenos produtores e populações indígenas que, durante o processo de comercialização, interagem com empresários da agroindústria e do setor de exportação (IBGE, 2011).

Tabela 1: Quantidade e valor dos produtos da extração vegetal de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) segundo as grandes regiões e unidades da Federação – 2011.

Grandes Regiões e Unidades da Federação	Quantidade (t)	Valor (1 000 R\$)
Norte	39 917	65 159
Rondônia	3 523	7 282
Acre	14 035	19 329
Amazonas	14 661	25 531
Roraima	105	68
Pará	7 192	12 574
Amapá	401	375
Centro-Oeste	2 234	4 245
Mato Grosso	2 234	4 245
Brasil	42 252	69 404

Fonte: IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura. 2011.

A exploração madeireira de exemplares nativos desta árvore é protegida por Lei (Decreto 1282 de 19 de outubro de 1994), mas essa não impede seu plantio para fins de reflorestamento tanto em plantios puros quanto em sistemas consorciados, opção interessante para o reflorestamento de áreas degradadas de pastagens ou cultivos anuais (LOCATELLI *et al.*, 2002; EMBRAPA, 2005).

No entanto, a produtividade de espécimes de castanheira-do-brasil em áreas cultivadas tem se mostrado bastante inferior àquela das árvores sujeitas ao extrativismo nas matas, e isso pode desencorajar o processo de reflorestamento das áreas degradadas com *B. excelsa* e a prática de uma atividade econômica sustentável para a região (FREITAS e CAVALCANTE, 2008).

2.1 Biologia Floral

O período do florescimento de *B. excelsa* varia de acordo com a região, podendo iniciar em setembro e encerrar em fevereiro, com pico de floração entre os meses de dezembro e janeiro (MORITZ, 1984; ORTIZ, 2002; MAUÉS, 2002; VIEIRA *et al.*, 2009).

Suas flores são hermafroditas e desenvolvem-se em panículas retas verticais racemosas nas extremidades dos ramos (MORITZ, 1984), com início da antese ocorrendo entre 4:30h e 5:00 horas (PINHEIRO e ALBUQUERQUE, 1968; CAVALCANTE, 2008). As pétalas desprendem-se do restante da flor antes de completadas 24 horas da antese, e quando não ocorre fecundação de óvulos, o pistilo cai em aproximadamente 48 h (MULLER, *et al.*, 1980, CAVALCANTE, 2008). De acordo com alguns estudos a proporção flor/fruto é muito baixa, de 0,28 a 0,4%, podendo aumentar em função da atividade dos polinizadores (PINHEIRO e ALBUQUERQUE, 1968; ZUIDEMA, 2003).

A castanheira-do-brasil é uma planta predominantemente alógama com síndrome de polinização melitófila (MAUÉS, 2002). A estrutura da flor possui uma câmara composta por estaminódios congruentes que formam uma estrutura robusta, recobrindo os estames e o estigma (Figura 1), o que restringe e seleciona os polinizadores em relação ao seu vigor e tamanho (MAUÉS, 2002).

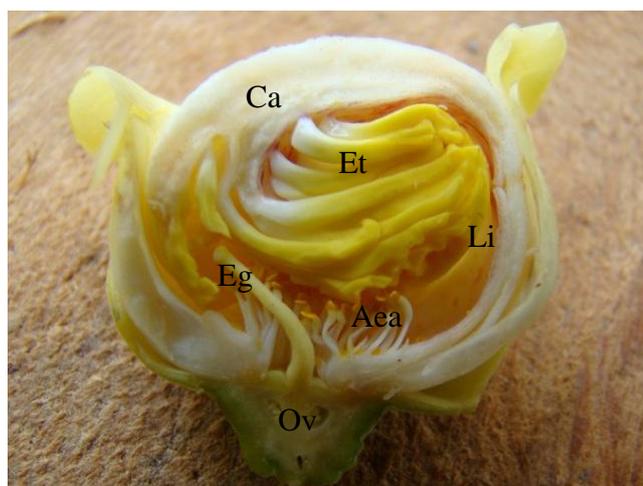


Figura 1: Flor da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*): corte longitudinal mostrando suas estruturas (Ca= Capuz; Et= Estaminódios; Li= Lígula; Ae= Anel estaminal; Eg= Estigma; Ov= Ovário).

Em função das características morfológicas das flores da castanheira, apenas abelhas de médio e grande porte conseguem abrir o chapéu e acessar os recursos pólen e néctar (MAUÉS, 2002). Essa estratégia da planta funciona como uma barreira seletiva aos visitantes, de forma que apenas os indivíduos com maior tamanho e vigor tem mais potencial de realizar a polinização. O acesso ao pólen e ao néctar é limitado, porém para ter contato com o néctar, as abelhas necessitam ter uma glossa longa para conseguir coletá-lo, uma vez que os nectários se encontram na base dos estaminódios (CAVALCANTE, 2008).

Não existem dados na literatura sobre a receptividade estigmática e viabilidade polínica, havendo assim a necessidade de mais estudos para um melhor entendimento da biologia reprodutiva de *B. excelsa* e das interações com seus insetos polinizadores. Da mesma forma, não há registros de informações a cerca do néctar, principal recurso ofertado pelas flores para seus visitantes.

2.2 Visitantes florais e polinizadores

Vários estudos relataram os visitantes florais e potenciais polinizadores da castanheira-do-brasil, principalmente em áreas de ocorrência natural e em agrupamentos de poucos indivíduos (PRANCE, 1979; MULLER *et al.*, 1980; MORITZ, 1984, MAUÉS, 2002, ARGOLO e WADT, 2003, ZUIDEMA, 2003). Entretanto, poucos foram realizados em plantios adensados (SANTOS e ABSY, 2010; CAVALCANTE *et al.*, 2012).

Prance (1979) sugere que os principais polinizadores de espécies de Lecythidaceae são abelhas pertencentes aos gêneros *Bombus* e *Euglossa*. Segundo Maués (2002), em estudo realizado em Belém-PA, os principais polinizadores de *B. excelsa* foram abelhas médias e grandes, principalmente as espécies: *Xylocopa frontalis*, *Xylocopa aurulenta*, *Epicharis rustica*, *Epicharis affinis*, *Centris similis*, *Eulaema nigrita*, *Eulaema cingulata*, *Bombus brevivillus*, *Bombus transversalis*. Porém, Müller *et al.* (1980) acreditam que abelhas grandes do gênero *Bombus* são os principais polinizadores da castanheira. No Acre foram observadas apenas abelhas do gênero *Xylocopa* penetrando nas flores das castanheiras (ARGOLO e WADT, 2003). Já estudos realizados na Bolívia, sugerem que os polinizadores são abelhas de Euglossinae (ZUIDEMA, 2003). Portanto, existe uma imprecisão na definição dos polinizadores efetivos, e suas principais características, a não ser pelo porte grande. Entretanto, estudos mais detalhados da atividade dos potenciais polinizadores e do

comportamento de forrageio apontam para *Xylocopa frontalis* e *Eulaema mocsaryi* como sendo os principais polinizadores da castanheira (SANTOS E ABSY, 2010; CAVALCANTE *et al.*, 2012), apesar de uma grande riqueza e diversidade de abelhas visitantes florais e potenciais polinizadoras encontradas durante o florescimento da cultura.

Essas abelhas são vigorosas e robustas, algumas delas conseguem voar longas distâncias, ultrapassando os 20 Km (JANZEN, 1971). Assim, as abelhas podem visitar várias vezes as flores abertas a cada dia nas poucas árvores de cada castanhal e entre grupos de árvores de castanhais próximos, o que é extremamente importante para a manutenção do fluxo genético entre as plantas alógamas na floresta tropical (MAUÉS, 2002). Dessa forma, a quantidade relativamente pequena de flores abertas a cada dia por castanhal assegura que as abelhas promovam a polinização cruzada e a deposição da quantidade de grãos de pólen necessária para os frutos vingarem. No entanto, segundo os mesmos autores, nos cultivos comerciais de *B. excelsa*, as grandes áreas de monocultivo, constituem um ambiente bastante diferente, de maneira que essa situação possa interferir de forma decisiva na diversidade, quantidade e eficiência dos polinizadores da castanheira, podendo o entorno ter uma influência decisiva na redução desses impactos (FREITAS e CAVALCANTE, 2008).

Dessa forma, propostas de manejo no entorno do sistema de cultivo podem ser realizadas e adaptadas para assegurar populações de polinizadores naturais em plantações comerciais, evitando assim prejuízos na produção e produtividade da cultura (MAUÉS, 2002; CAVALCANTE *et al.*, 2012).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIZEN, M.A.; GARIBALDE, L.A.; CUNNINGHAM, S.A. e KLEIN, A.M. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from Long-term Trends in Crop Pollination. **Annals of Botany**, 103(9): 1579-1588, 2009.

ARGOLO, V.; WADT, L.H.O. Abelhas visitantes de flores de *Bertholletia excelsa* em área de plantio e floresta nativa – Rio Branco Acre. In: VI CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, Fortaleza. **Anais de trabalhos completos**. Fortaleza: Editora da Universidade do Ceará, 2003.

BAIDER, C., Demografia e ecologia de dispersão de frutos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (Lecythidaceae) em castanhais silvestres da Amazônia Oriental. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BOSCH, J. e KEMP, W.P. **How to manage the blue orchard bee, *Osmia lignaria*, as an orchard pollinator**. Washington, DC, Sustainable Agriculture Network, 2001.

BRADBPEAR, N. Bees and their role in forest livelihoods: a guide to the services provided by bees and the sustainable harvesting, processing and marketing of their products. Rome: **Food And Agriculture Organization of The United Nations**, 2009.

CASTRO, M.S.; KOEDAM, D.; CONTRERA, F.A.L.; VENTURIERI, G.C.; NATES-PARRA, G.;MALAGODI-BRAGA, K.S.;CAMPOS, L.A.O.; VIANA, M.; CORTOPASSI-LAURINO, M.;NOGUEIRA-NETO, P.; PERUQUETTI, R.C. IMPERATRIZ-FONSECA, VL. Stingless bees. In: IMPERATRIZ-FONSECA, VL; SARAIVA, A.M. e DE JONG, D. Eds. **Bees as pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting the best practices**, Holos editora, Ribeirão Preto, p. 75-88, 2006.

CAVALCANTE, M.C. **Visitantes florais e polinização da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. e B.) em cultivo na Amazônia central**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Zootecnia/ Universidade Federal do Ceará-UFC, Fortaleza, Ceará, 2008.

CAVALCANTE, M.C., MAUÉS, M.M., FREITAS, B.M. Pollination requirements and the foraging behavior of potential pollinators of cultivated brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) trees in central Amazon rainforest. **Psyche: A Journal of Entomology**, 2012: 9p, 2012.

COMMITTEE ON THE STATUS OF POLLINATORS IN NORTH AMERICA, NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Status of Pollinators in North America**. Washington, DC: The National Academies Press, 2007.

ELLIS, J. D.; EVANS, J. D.; PETTIS, J. Colony losses, managed colony population decline, and colony collapse disorder in the United States. **Journal of Apicultural Research**, 49(1): 134–136, 2010.

EMBRAPA. Cultivo da Castanha-do-Brasil em Rondônia. *Sistemas de Produção*, 7, 2005. ISSN 1807-1805. Versão Eletrônica disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Castanha/CultivodaCastanhadoBrasilRO/index.htm>

FAO. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture – the international response. P: 115-124. In: B. M. FREITAS e J.O.B. PORTELA (Eds.). **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination**. Imprensa Universitária UFC, Fortaleza. 285p, 2004.

FREE, J. B. **Insect pollination of crops**. New York: Academic Press, 1993.

FREITAS, B.M. e CAVALCANTE, M.C. Visitantes florais e polinização da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em cultivo comercial na Floresta Amazônica. In: VIII Encontro Sobre Abelhas. **Anais**. 2008, CD-ROM.

FREITAS, B.M. e OLIVEIRA FILHO J.H. **Criação racional de mamangavas para polinização em áreas agrícolas**. Fortaleza : Banco do Nordeste. 96p, 2001.

FREITAS, B. M. e PEREIRA, J. O. P. Crop consortium to improve pollination: can West Indian Cherry (*Malpighia emarginata*) attract Centris bees to pollinate Cashew (*Anacardium occidentale*)? Pp: 193-201. In: B. M. FREITAS e J.O.B. PORTELA (Eds.). **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination**. Imprensa Universitária UFC, Fortaleza. 285p, 2004.

FREITAS, B. M. e PINHEIRO, J. N. Polinizadores e Pesticidas: princípios de manejo para os ecossistemas brasileiros. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1: 112p, 2012.

IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura. 2011. (http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola).

JANZEN, D.H. Euglossine bees as long-distance pollinators of tropical plants. **Science**, 171: 203-205, 1971.

KEVAN, P. G. **Bees: biology and management**. Cambridge, ON: Enviroquest, 2007.

KLEIN, A.M.; VASSIÈRE, B.E.; CANEJ.H.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S.A.; KREMEN, C. e TSCHARNTKE, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274 (1608): 303-313, 2007.

KREMEN, C. Pollination services and community composition: does it depend on diversity, abundance, biomass or species traits? P: 115-124. In: B. M. FREITAS e J.O.B. PORTELA (Eds.). **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination**. Imprensa Universitária UFC, Fortaleza. 285p, 2004.

KREMEN, C. Crop pollination service in wild bees. Pp: 10-26. In: R.R. JAMES e T.L. PITTS-SINGER (Eds.). **Bee pollination in agricultural ecosystems**. 232p, 2008.

KREMEN, C.; WILLIAMS, N .M. e THORP, R. W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A.**, 99: 16812-16816. 2002.

LARSEN, T. H.; WILLIAMS, N. W. e KREMEN, C. Extinction order and altered community structure rapidly disrupt ecosystem functioning. **Ecology Letters**, 8: 538-547, 2005.

LOCATELLI, M.; MARTINS, E.P.; VIEIRA, A H.; PEQUENO, P.L. de L.; SILVA FILHO, E.P.; RAMALHO, A.R. Plantio de castanha-do-Brasil: uma opção para reflorestamento em Rondônia. Porto Velho: EMBRAPA: CPAF-Rondônia. (Recomendações Técnicas, 60), 2002.

MAGALHÃES, C.B. e FREITAS, B.M. Introducing nests of the oil-collecting bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini) for pollination of acerola (*Malpighia emarginata*) increases yield. **Apidologie** (2012): 1-6, 2012.

MALASPINA, O.; SOUZA, T. F.; ZACARIN, E. C. M. S.; CRUZ, A. S. e JESUS, D. Efeitos provocados por agrotóxicos em abelhas no Brasil. Pp. 41-48. In: **Anais do VIII Encontro sobre Abelhas**. Ribeirão Preto, SP. 763p, 2008.

MAUÉS, M. M. Reproductive phenology and pollination of the brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb.e Bonpl.) in eastern Amazônia. In: Kevan P e Imperatriz Fonseca. **Pollinating Bees-The conservation link between agriculture and nature**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.245-254, 2002.

MORITZ, A. **Estudos biológicos da floração e frutificação da castanha-do-brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 20 p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 29), 1984.

MÜLLER, C.H.; RODRIGUES, I.A; MÜLLER, A.A.; MÜLLER, N.R.M.. **Castanha-do-Brasil, resultados de pesquisa**. Belém, EMBRAPA-CPATU. Miscelânea, n.2, 1980.

NABHAN, G.P.; BUCHMANN, S.I. Services provided by pollinators. In: DAILY, G.C. (Ed.). **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Washington: Island Press, p.133-150, 1997.

OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, 120(3), 321-326, 2011.

ORTIZ, E. *Brazil nuts (*Bertholletia excelsa*)*. En: A. Guillen, S.A. Laird, P. Shanley; A.R. Pierce (eds.). **Tapping the green market: certification and management of non-timber forest products**. Earthscan, 2002.

PINHEIRO, E. e ALBUQUERQUE, M. de. Castanha-do-pará. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. **Livro anual da agricultura**. Brasília. p. 224-33, 1968.

PITTS-SINGER, T.L., e CANE J.H. The alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*: The world's most intensively managed solitary bee. **Annual Review of Entomology**. 56(1): 221 – 237, 2011.

POTTS, S.; BIESMEIJER, J.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O. e KUNIN, W. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology e Evolution**, 25(6): 345-353, 2010.

PRANCE, G.T. e MORI, S.A. Lecythidaceae. **Flora Neotropica**, 21(1): 1-270, 1979.

SANTOS, C.F. e ABSY, M.L., Polinizadores de *Bertholletia excelsa* (Lecythidales: Lecythidaceae): interações com abelhas sem ferrão (Apidae: Meliponini) e nicho trófico. **Neotropical Entomology**, 39(6): 854–861, 2010.

SILVA, F.A. Aplicação de microondas no processo de beneficiamento de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). Campinas. Tese (Mestrado), Departamento de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, 2002.

SLAA, E.J.; SÁNCHEZ CHAVES, L.A.; MALAGODI-BRAGA, K. e HOFSTEDE F.E. Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives, **Apidologie**, 2006.

SEKITA N. Managing *Osmia cornifrons* to pollinate apples in Aomori Prefecture, Japan. **Acta Hortic.** (ISHS) 561: 303–307, 2001.

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

VIEIRA, L. S. e SANTOS, P.C.T.C. **Amazônia seus solos e outros recursos naturais**. Ed. Agrônômica Ceres. São Paulo. 416 p, 1987.

VIEIRA, A.H.; BENTES-GAMA, M.M.; ROCHA, R.B.; LOCATELLI, M.; OLIVEIRA, A.C. Fenologia reprodutiva de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) Humb. Bompl., em Porto Velho, RO. Rondônia. Porto Velho: EMBRAPA:CPAF-Rondônia. (Recomendações Técnicas, 61), 2009.

WINFREE, R.; GROSS, B. J.; KREMEN, C. Valuing pollination services to agriculture. **Ecological Economics**, 2011. doi:10.1016/j.ecolecon.2011.08.001.

ZUIDEMA, P.A. **Demography and management of the brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*)**. Riberalta: PROMAB, scientific series 6, 111 p, 2003.

CAPÍTULO 2

PAPEL DO NÉCTAR NA POLINIZAÇÃO DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL
(*Bertholletia excelsa*) CULTIVADA NA AMAZÔNIA CENTRAL.

Papel do néctar na polinização da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada na Amazônia central.

RESUMO

A pesquisa foi conduzida entre os meses de outubro a dezembro de 2009 e 2010 em área de 3600ha de cultivo de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), pertencente a Agropecuária Aruanã, localizada no município de Itacoatiara, estado do Amazonas. O presente trabalho teve como objetivo investigar o padrão de secreção do néctar e seu papel no comportamento de forrageio dos visitantes florais, possibilitando uma melhor compreensão da interação planta-polinizador na castanheira-do-brasil e suas consequências para a polinização desta espécie. Os resultados mostraram que as flores de *B. excelsa* já ofertam néctar desde a antese (14,48µl, 38,74% e 6,56 mg de açúcar), com um padrão de secreção do volume e da quantidade de açúcar contínuo e crescente até as 15:30h e 13:30h, respectivamente, aumentando a taxas de 2,10 µl/hora e 0,69 mg/hora. Após esses horários, para cada variável, observou-se redução nas taxas de secreção, caracterizando início de processo de reabsorção. Contrariamente, a concentração de solutos solúveis foi decrescente após 7:30 h, mantendo valores semelhantes ($p>0,01$) durante todo o período da manhã e superiores aos da tarde, coincidindo com o pico de atividade das abelhas. Apesar do padrão de secreção do néctar demonstrar maiores valores de volume e quantidade de açúcar no período da tarde, nas condições naturais de visitação da área de estudo praticamente todo o néctar foi coletado ainda pela manhã, em função da elevada atividade de visitantes influenciada pelas condições de temperatura. Todos os visitantes florais amostrados, com exceção de *Megachile* sp., possuem características de tamanho da glossa que condizem com a estrutura morfológica das flores, proporcionando sucesso na coleta do néctar e, potencialmente, no processo de polinização da castanheira. Portanto, parece haver um sincronismo entre o padrão de secreção de néctar com a atividade dos visitantes florais e potenciais polinizadores, aumentando as chances de sucesso reprodutivo pelas interações abelha-planta.

Palavras-chave: Forrageamento. Interação. Polinizadores. Recurso floral. Sucesso reprodutivo.

Role of nectar in pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) planted in central Amazonia.

ABSTRACT

The experiment was conducted between the months of October to December 2009 and 2010 in an area of 3600 ha of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) crop, belonging to Agricultural Aruanã, located in Itacoatiara, Amazonas state. The present study aimed to investigate the pattern of nectar secretion and its role in the foraging behavior of floral visitors, enabling a better understanding of plant-pollinator interaction in the Brazil nut tree and its consequences for the pollination of this species. The results showed that the flowers of *B. excelsa* already proffer nectar from anthesis (14.48 μ l, 38.74% and 6.56 mg of sugar), with a pattern of secretion volume and the amount of sugar continued and increasing until 15:30 h and 13:30 h, respectively, increasing rates of 2.10 / hour and 0.69 mg / hour. After these times, for each variable, there was a reduction in the rate of secretion, featuring early resorption process. In contrast, the concentration of solute concentration was decreasing after 7:30 h while maintaining similar values ($p > 0.01$) throughout the morning and afternoon superior to, coincident with the peak activity of the bees. Despite the pattern of nectar secretion show higher values of volume and amount of sugar in the afternoon, under natural conditions of visitation of the study area almost all the nectar was collected in the morning yet, due to the high activity of visitors influenced by conditions temperature. All flower visitors sampled except *Megachile* sp., Have characteristics of size glossa meets morphological structure of flowers, providing success in collecting nectar and potentially in the pollination process of chestnut. Therefore, there seems to be a synchronism between the pattern of nectar secretion with the activity of floral visitors and potential pollinators, increasing the chances of reproductive success by bee-plant interactions.

Keywords: Floral resource. Foraging. Interaction. Pollinators. Reproductive Success.

1. INTRODUÇÃO

O néctar floral é o recurso mais importante oferecido aos potenciais polinizadores nas angiospermas como um todo e embora contenha uma ampla variedade de componentes químicos, três açúcares comuns – frutose, glicose e sacarose dominam o total de solutos (SIMPSON E NEFF, 1983; GALETTO, 1993; STILES e FREEMAN, 1993). Os componentes do néctar constituem um alto investimento para a planta, fazendo com que ele deva ser usado de forma a atrair e manter o interesse dos polinizadores em visitar as flores assegurando a polinização, mas com o menor gasto possível para a planta (DEVLIN e STEPHENSON, 1985). Entre os vários mecanismos utilizados pelas flores para otimizar seus custos de polinização estão os padrões de secreção de néctar e acessibilidade a esse recurso floral (LOVETT DOUST, 1988).

Os padrões de secreção de néctar, efeito da remoção e a determinação dos constituintes químicos em plantas com flores, bem como as estratégias utilizadas para proteger a recompensa têm sido bem estudados (GALETTO e BERNARDELLO, 1992; STILES e FREEMAN, 1993; VAN WYK, 1993; TORRES e GALETTO, 1998; NAVARRO, 1999; BERNARDELLO *et al.*, 1999; GOULSON, 1999; GALETTO *et al.*, 2000; GALETTO e BERNARDELLO, 2003), uma vez que todos esses processos são fundamentais para o entendimento das interações planta-polinizador (CRUDEN *et al.*, 1983; GALETTO e BERNARDELLO, 1992).

Na castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bompl., Lecythidaceae), uma espécie arbórea de grande porte nativa da floresta Amazônica que ocorre em mata de terra firme do Brasil, Guianas, Colômbia, Peru e Venezuela e que representa papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico de grandes áreas extrativistas, uma diversidade de espécies de abelhas de médio e grande porte constituem seus principais visitantes florais e potenciais polinizadores (CAVALCANTE *et al.*, 2012). No entanto, estudos com néctar em Lecythidaceae são raros (POTASCHEFF, 2010) e não há nenhum com *B. excelsa*, embora o néctar seja a principal recompensa oferecida por essa planta e o padrão de secreção de néctar e a presença de estruturas florais que dificultam o acesso dos visitantes florais ao néctar possam desempenhar papel importante na relação planta-polinizador e efetividade de polinização.

As flores de *B. excelsa* são hermafroditas e a partir do momento da antese seus polinizadores iniciam visitas para coletar néctar (CAVALCANTE, 2008). No entanto, a estrutura da flor possui uma câmara composta por estaminódios congruentes formando uma estrutura robusta (capuz ou elmo), onde se encontra o néctar, recobrando os estames e o estigma. Essa estrutura restringe a entrada de visitantes florais e seleciona uma guilda de polinizadores de forma que apenas visitantes fortes o suficiente conseguem alcançar o néctar (MAUÉS, 2002; CAVALCANTE *et al.*, 2012).

Dessa forma, esse trabalho é o primeiro relato da caracterização do padrão de secreção de néctar ao longo de toda a vida da flor de castanheira-do-brasil, o qual objetivou determinar: (1) a quantidade em termos de volume (μL) de néctar produzido; (2) a concentração de açúcares totais (%) e (3) a quantidade de açúcares (mg), associando esses fatores ao comportamento de forrageio dos visitantes florais para uma melhor compreensão da interação planta-polinizador na castanheira-do-brasil e suas consequências para a polinização desta espécie.

2. METODOLOGIA

2.1 Área experimental

2.1.1 Localização

A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Aruanã, localizada na Rodovia AM-010, Km 215, município de Itacoatiara, Estado do Amazonas, situada entre as coordenadas 03° 30,63” S e 58° 50’ 1,50 W, durante o período de outubro a dezembro de 2009 e 2010. A Agropecuária Aruanã é a maior produtora de castanha-do-brasil cultivada no mundo. A propriedade tem uma área total de 12.000 ha, dos quais 3.600 ha são cultivados com castanheiras enxertadas e pé franco utilizando um espaçamento de 20 m x 20 m, 20 m x 10 m ou mais adensados, 1,5 m x 1,5 m, no caso das áreas de reposição florestal. Foram construídos andaimes de madeira ao lado das árvores do estudo, de forma a viabilizar as observações e coleta dos dados. Essas estruturas tinham uma altura média de 17 metros.

2.1.2 Padrão de secreção de néctar

No dia anterior a antese, 280 botões florais foram ensacados com sacos de tecido voile em quatro árvores distintas para a determinação do volume e da concentração do néctar. As coletas iniciaram às 5:30 h da manhã, momento em que todas as flores já se encontravam abertas e as abelhas já iniciavam as visitas, se estendendo até as 17:30 h, já que após esse horário a grande maioria das flores já haviam caído. Foram realizadas sete coletas ao longo do dia, em intervalos de 2 horas, iniciando as 5:30 h e finalizando as 17:30 h, utilizando 40 flores em cada horário.

Para as medições de volume utilizaram-se microcapilares graduados de 5 µL, com os quais encostava-se na base dos estaminódios e, através da ação da capilaridade, o néctar subia (HOCKING, 1953). Para a retirada completa do néctar, era necessário levantar o capuz para alcançar todas as gotas de néctar que se encontravam entre os estaminódios. Portanto, em cada amostragem, as medições foram realizadas em flores diferentes, uma vez que após a coleta a flor era destruída. Esse aspecto morfológico da flor impossibilita estudos precisos do efeito de retiradas sucessivas de néctar em *B. excelsa*.

A concentração de açúcares foi determinada utilizando um refratômetro portátil (0-80%, Atago®) que, com uma amostra de néctar visualizava-se o percentual de sólidos solúveis. Já para o cálculo da quantidade de açúcares por μL de néctar, utilizou-se uma equação de regressão: $y = 0.00226 + (0.00937 x) + (0.0000585 x^2)$ (DAFNI *et al.*, 2005), onde x é a concentração e y a quantidade de açúcares da amostra (mg de açúcar/ μL de néctar). De forma que, para determinar a quantidade total de açúcares, fazia-se a multiplicação desse valor pelo volume de néctar coletado.

Nas coletas de volume e concentração de néctar utilizando flores abertas, as quais estavam disponíveis à visitação das abelhas, para mensurar a quantidade de néctar retirado por elas e determinar o padrão de secreção de néctar após sucessivas visitas foram empregadas as mesmas metodologias anteriores. Para essa última análise, por razões já expostas, as coletas de néctar foram realizadas em flores diferentes, já que todas as flores estavam disponíveis para os visitantes.

2.1.3 Interação abelha-planta

Para a medição do comprimento da glossa das abelhas, as mesmas eram mortas em câmara mortífera com acetato de etila. Ao morrerem, as abelhas expunham a glossa e, com um paquímetro digital, realizava-se a medição.

Através de um corte transversal da flor, também com um paquímetro digital, mediu-se a distância da base do capuz à base dos estaminódios ($n=65$).

Seis árvores foram utilizadas para observações de frequência e abundância das abelhas visitantes florais. As coletas eram realizadas a cada 30 minutos, com 10 minutos de observação ininterruptas, iniciando as 5:00 h e finalizando as 17:30 horas, durante 18 dias. Esse esforço amostral representou 75,6 horas de observações.

Dados de temperatura e umidade foram registrados a cada 30 minutos, durante todo o período do experimento, utilizando Data Loggers HOBO® posicionados à sombra na altura da copa das árvores estudadas.

2.2 Delineamento estatístico

Os dados relacionados ao volume, concentração e quantidade de açúcar foram analisados através de análise de variância (ANOVA) com comparação das médias *a posteriori* pelo teste de Tukey, através do software GraphPad InStat. As análises e correlação também foram realizadas através do mesmo aplicativo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Secreção de néctar

A antese das flores de *B. excelsa* iniciou por volta das 03:30 h da manhã e às 5:00 h todas as flores já se encontravam abertas (n=74). O néctar era secretado na base dos estaminódios dificultando seu acesso pelas abelhas, funcionando assim como uma barreira seletiva para os potenciais polinizadores. Logo após a antese completa as flores já possuíam néctar disponível com um volume médio de $14,48 \pm 1,25$ E.P. $\mu\text{L}/\text{flor}$ (n=40) e uma concentração média de 38,74%. A produção de néctar foi contínua e crescente ao longo do dia, onde o maior valor foi observado às 15:30 h, a partir de então essa produção reduziu de forma brusca. Contrariamente, a concentração decresceu ao longo do dia, com pico máximo verificado as 7:30 h de 39,51% (Figura 1).

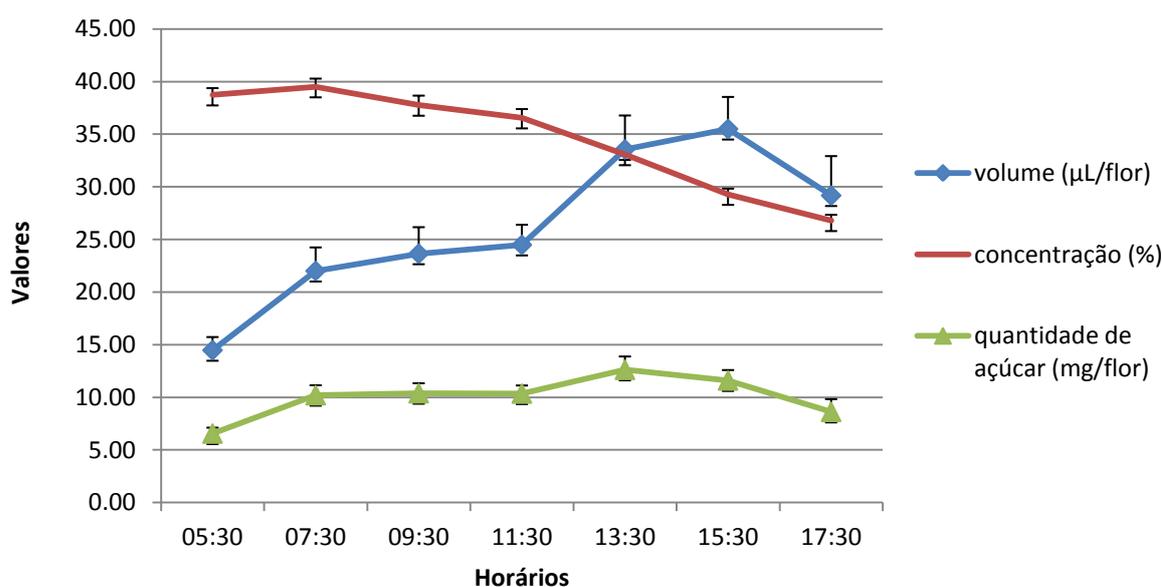


Figura 1: Padrão de secreção de néctar de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada: volume ($\mu\text{L}/\text{flor}$), concentração (%) e quantidade de açúcar (mg/flor).

Durante as duas primeiras horas da antese, as flores já secretavam quase 50% da produção total de néctar. Logo no início houve uma elevada produção no volume de néctar ($3,76\mu\text{L}/\text{hora}$), após esse momento a produção continuava aumentando, mas de forma mais suave ($0,62\mu\text{L}/\text{h}$). Depois, em um segundo momento, houve novamente um aumento dessa

produção chegando a 4,53µl/ hora. Em seguida, a taxa de produção foi novamente mais lenta (0,97 µl/h), quando foi iniciada uma redução na produção a uma taxa de 3,16 µl/h, iniciando um processo de reabsorção (Tabela 1). Essa reabsorção não pôde ser melhor estudada uma vez que a flor caía após esse período, não podendo, portanto, realizar medições nos horários seguintes. Considerando a produção total, o padrão de secreção do volume de néctar em *B. excelsa* foi contínuo e crescente até as 15:30 h e aumentou a uma taxa de 2,10 µl/hora.

Tabela 1: Valores médios de volume (µl/ flor), concentração (%) e quantidade de açúcar (mg/flor) de néctar de *Bertholletia excelsa* ao longo do dia.

Horários (h)	Volume (µl/ flor) (±s.e) *	Concentração (%) (±s.e) **	Quantidade de açúcar (mg/flor) (±s.e) **
05:30	14,48 (±1,25) c	38,74 (±0,64) a	6,56 (±0,55) b
07:30	22,01 (±2,24) bc	39,51 (±0,78) a	9,78 (±0,92) ab
09:30	23,65 (±2,52) bc	37,76 (±0,91) a	9,89 (±0,94) ab
11:30	24,49 (±1,92) abc	36,56 (±0,83) a	10,16 (±0,76) ab
13:30	33,56 (±3,23) ab	33,06 (±0,80) b	12,49 (±1,25) a
15:30	35,50 (±3,05) a	29,29 (±0,54) c	11,35 (±0,99) a
17:30	29,18 (±3,75) ab	26,80 (±0,55) c	8,46 (±1,19) ab

*Valores seguidos por letras iguais na mesma coluna não são significativamente diferentes (p<0,05).

**Valores seguidos por letras iguais na mesma coluna não são significativamente diferentes (p<0,01).

A dinâmica de secreção de açúcar expressa em miligramas por flor disponível para os visitantes seguiu o mesmo padrão da produção de néctar em volume. Entretanto, o pico de maior produção de açúcar foi antecedido (13:30 h) ao pico do máximo volume observado (15:30 h) em decorrência da concentração de solutos nesse primeiro horário ser significativamente superior (p<0,01) ao segundo horário (Tabela 1), contribuindo para maiores valores de quantidade de açúcar.

Comparando os períodos do dia, verificou-se que no período da manhã as taxas médias de secreção de néctar em volume e quantidade de açúcar foram crescentes com 1,67 µl/hora e

0,6mg açúcar/hora, respectivamente e decrescente para a concentração com 0,36%/hora. Enquanto que, no período da tarde, para todos os parâmetros, foram observadas taxas médias de secreção decrescentes, 1,09 µl/hora, 1,56%/hora e 1,0mg açúcar/hora. Esse comportamento na secreção de solutos pela planta deve estar diretamente associado às influências ambientais de temperatura e umidade, especialmente pelas elevadas temperaturas verificadas no período da tarde provavelmente promoverem maiores taxas evaporativas do néctar, concentrando assim os açúcares nele presentes (Figura 2).

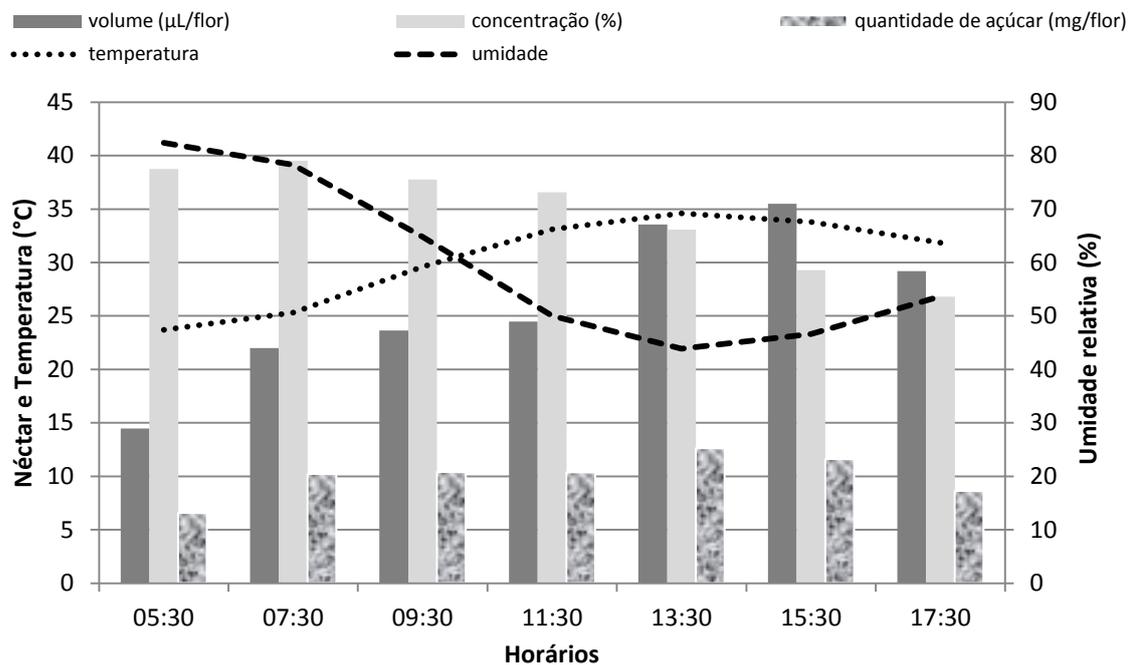


Figura 2: Padrão de secreção de néctar de *Bertholletia excelsa* cultivada: volume (µl/flor), concentração (%) e quantidade de açúcar (mg/flor), associados às variáveis ambientais de temperatura (°C) e umidade relativa (%).

A grande quantidade de açúcar por flor observada nos dados promove um gasto energético enorme para a planta, devendo ser recompensada durante o processo de polinização realizado pelas abelhas que conseguem coletar o recurso. Considerando que durante o período de florescimento uma árvore possui em média 700 ramos (n=5), e que em um ramo existem em média 5,5 inflorescências e que uma inflorescência apresenta uma média de 40,1 flores, uma castanheira-do-brasil produz durante toda sua floração uma média de 154.385 flores. O volume e concentração médios presentes nas flores de *B. excelsa* foram, respectivamente, 26,12 µl e 34,4%. Através de uma equação de regressão $y = 0.00226 +$

$(0.00937 x) + (0.0000585 x^2)$ (DAFNI *et al.*, 2005), onde x é a concentração do néctar, multiplicando pela quantidade total de néctar secretado determinou-se que um indivíduo de *B. excelsa* produz, em média, 4,1kg de açúcar durante sua floração em uma quantidade total de néctar de 11,9 litros. Essa abundância de recursos energéticos para os visitantes florais, associados à matriz circundante do plantio podem ser explicações para a riqueza e diversidade de abelhas encontradas por Cavalcante *et al.* (2012) na mesma área de estudo.

3.2 Comportamento de forrageio das abelhas para coleta de néctar

O comportamento de coleta das espécies polinizadoras pode afetar a eficiência da polinização e produtividade da cultura (JACOBI, 2002). Tal comportamento é influenciado pelas características florais, tais como a morfologia, características químicas e recursos disponíveis (VARASSIN *et al.*, 2001).

A localização e disposição do recurso néctar nas flores de *B. excelsa* sugere um direcionamento aos polinizadores para uma polinização eficiente, permitindo ao visitante floral tocar no estigma e anteras, consecutivamente, ao tentar coletar o néctar. Ao mesmo tempo em que a grande variação no volume de néctar entre as flores do mesmo horário de coleta, podendo variar de 3,0 a 88,0 microlitros ($\pm 10,23$ D.P.), estimula os polinizadores visitarem distintas flores para completarem sua carga, favorecendo assim a alogamia, principal tipo de reprodução da espécie (CAVALCANTE *et al.* 2012).

Em plantas hermafroditas, essa grande variação na taxa de produção de néctar dentro do indivíduo tem sido reconhecida como uma característica adaptativa que reduz o número de flores visitadas por planta e, conseqüentemente, reduz o tempo de permanência do visitante floral na planta e a deposição de pólen entre flores do mesmo indivíduo (PLEASANTS, 1983; BIERNASKIE *et al.*, 2002).

Considerando a produção de néctar nas flores expostas a visitação livre pelas abelhas, o padrão de secreção foi pouco alterado, podendo-se verificar que devido o período de visitação maior ser entre os horários de 5:30 h às 9:30 h, a quantidade de néctar (volume) fica bem próxima de zero. Ou seja, nos períodos de maior frequência de abelhas, elas conseguem retirar quase todo o néctar presente na flor. E, devido a grande variação no volume de néctar

constatado nessa espécie, nos momentos de pouca visitação (13:30h) ainda se conseguia retirar um pouco de néctar, resultando em valores de 1,63 μ l (Figura 3).

Durante as primeiras horas do dia, momento em que a frequência e abundância de abelhas visitantes são maiores (Figura 4), a quantidade de néctar disponível é quase toda coletada. Entretanto, como a produção desse recurso é contínua até as 15:30h, nas primeiras horas da tarde ainda existia um pouco de néctar disponível já que a frequência e abundância dos visitantes reduziu significativamente.

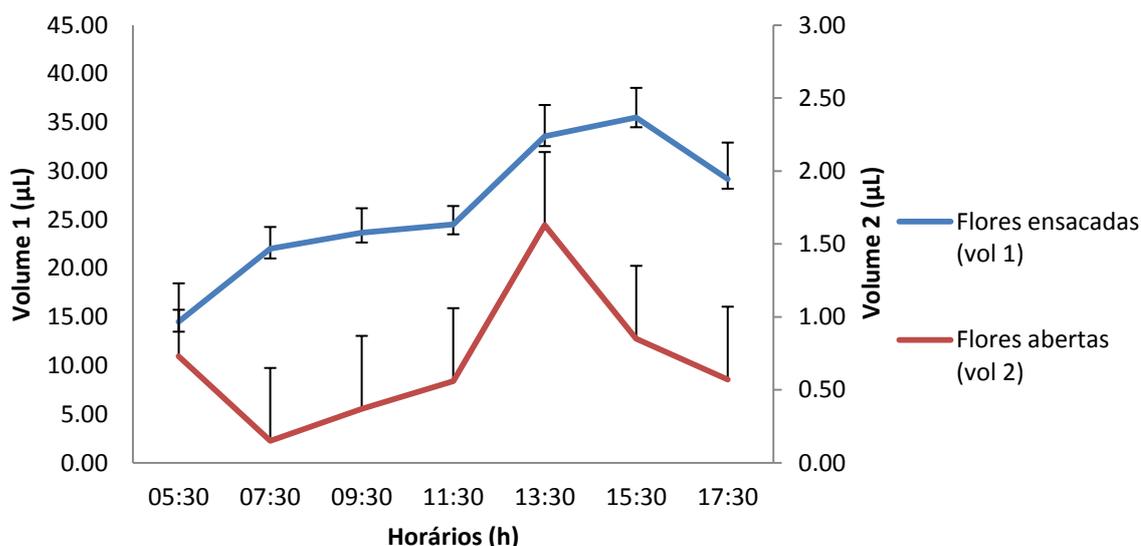


Figura 3: Volume de néctar de flores de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excesa*) que não receberam visitação (vol. 1) e volume de néctar de flores que receberam inúmeras visitas (vol. 2) ao longo do dia.

Através do gráfico abaixo percebe-se que a maior frequência de visitação das abelhas ocorre no período da manhã, entre as 5:30 h e 10:30 h, coincidindo com o momento em que as flores estão com elevadas taxas de secreção de néctar e alta concentração e, onde as condições meteorológicas de temperatura e umidade do são amenas. Apesar do período de maior produção de néctar em volume e em termos de quantidade de açúcar ser entre 13:30 e 15:30h, observou-se que a frequência de abelhas nesse período é muito baixa (Figura 4). Isso pode ser decorrente das elevadas temperaturas nesses horários do dia (Figura 5), já que há uma correlação negativa da temperatura com a abundância de abelhas (-0,852), bem como da pequena quantidade em volume do recurso néctar existentes após inúmeras visitas ocorridas durante as horas anteriores (Figura 4).

Mesmo a planta secretando quantidade de açúcar significativamente maior ($p < 0,01$) nos horários de temperaturas mais elevadas, a castanheira-do-brasil mantém a produção de açúcar durante todo o dia. Essa pode ser uma estratégia de manter os visitantes florais durante toda a vida da flor, garantindo atratividade aos visitantes e conseqüentemente, maiores chances no sucesso reprodutivo.

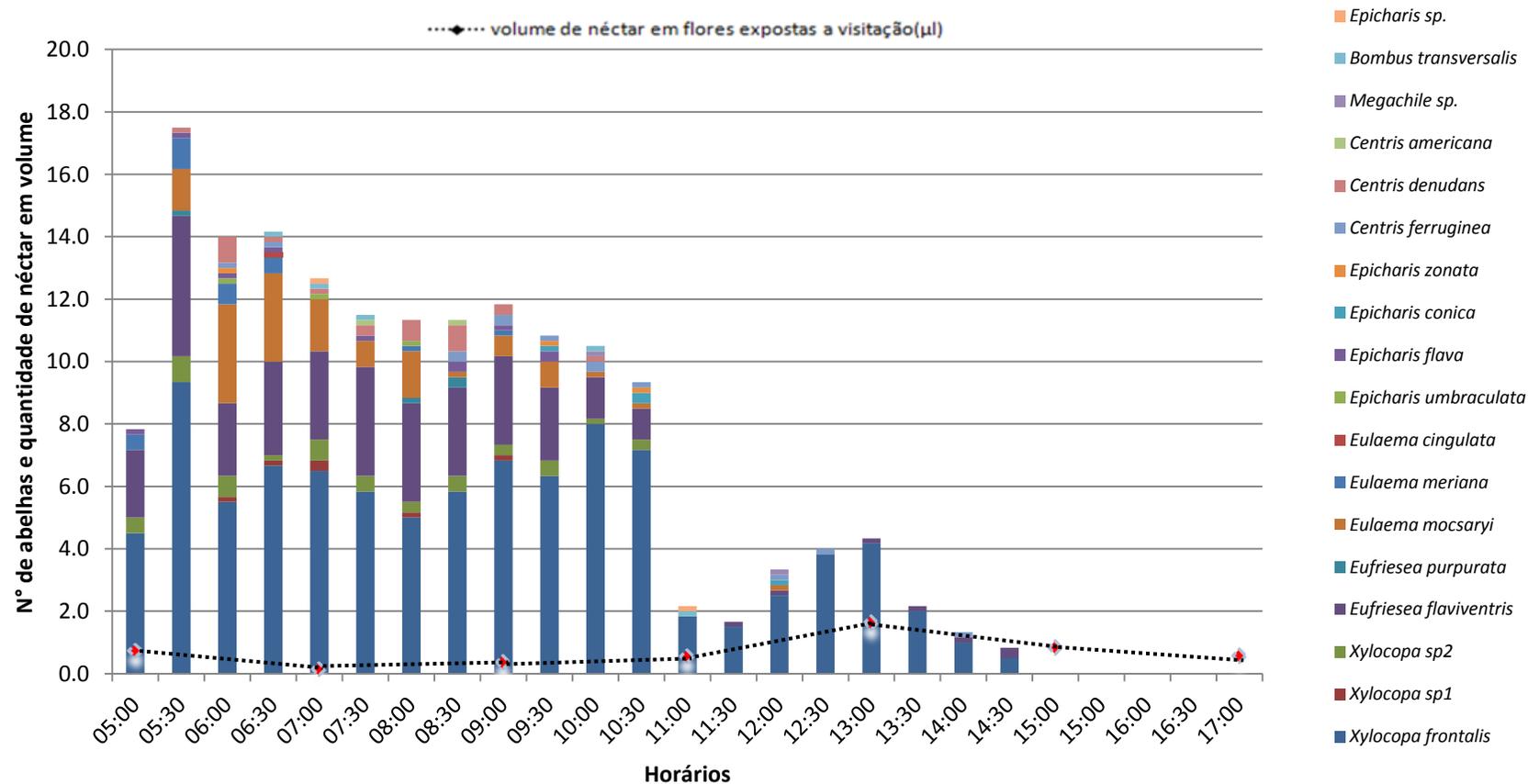


Figura 4: Frequência e abundância média por árvore de visitantes florais e potenciais polinizadores e padrão de secreção da quantidade de açúcar em flores restritas a visitas e do volume de néctar em flores de *Bertholletia excelsa* em cultivo expostas a visitaçã, Itacoatiara-AM.

O néctar é considerado a principal recompensa para o polinizador (DELAPLANE e MAYER, 2000) e sua concentração de açúcares está associada a diferentes tipos de polinizadores, enquanto que a frequência e duração de visitas dependem da taxa de produção de néctar (BIERNASKIE *et al.*, 2002; SHAFIR *et al.*, 2003; NICOLSON e NEPI, 2005).

A elevada concentração do néctar associada a sua grande produção em volume, temperaturas amenas e elevada umidade relativa do ar no período de 5:30h e 10:30h da manhã, favoreceram a grande visitação por uma gama de espécies de abelhas visitantes florais da castanheira-do-brasil em cultivo. Através de uma matriz de correlação verificou-se que houve uma correlação positiva entre a abundância de abelhas e a concentração de néctar (0,0839) e negativa com o volume do recurso (-0,624) ao longo do dia ($R^2 = 0,83$).

Assim, na castanheira-do-brasil as abelhas polinizadoras forragearam otimizando o gasto energético, corroborando com observações de Free (1993), evitando os horários de condições meteorológicas desfavoráveis e maximizando a coleta de recursos.

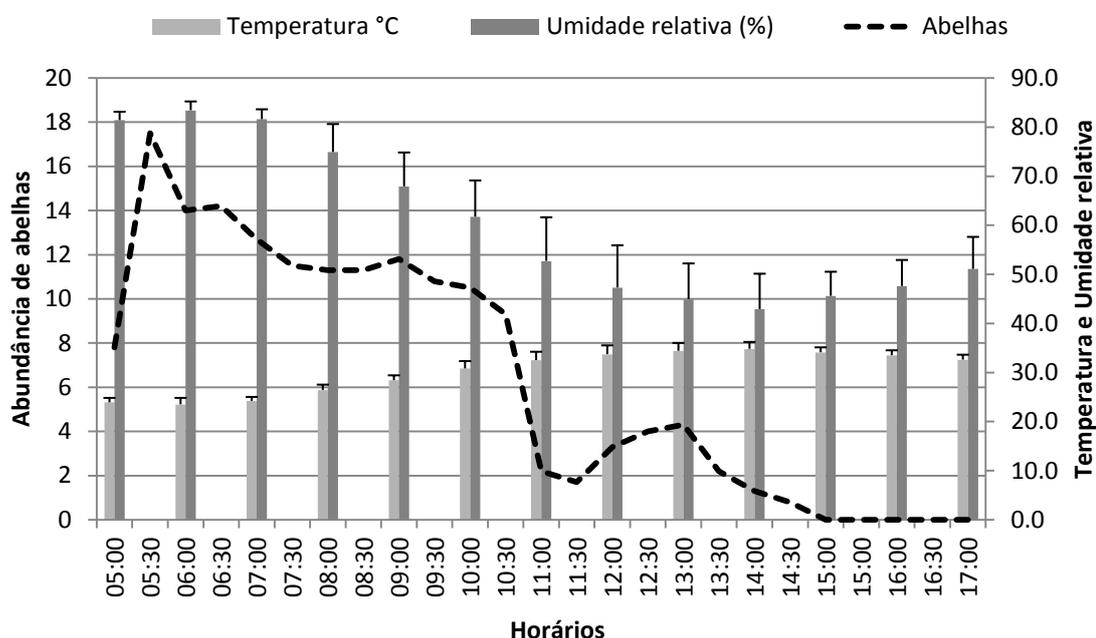


Figura 5: Curva de frequência de abelhas visitantes florais associada a temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) ao longo dos dias de florescimento em um plantio de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) na Amazônia Central, 2009 e 2010.

3.3 Interação planta-polinizador

Para entender melhor a interação abelha-flor e determinar aquelas que realmente conseguem acessar esse recurso, foi feita a medição do comprimento da glossa dos principais visitantes florais da castanheira, com auxílio de um paquímetro digital, a partir de um corte transversal da flor. Na flor, foi medida a distância desde a base da pétala recurvada (capuz) onde encontram-se os nectários, até o início da abertura por onde os visitantes acessam esse recurso, buscando relacionar com o tamanho mínimo da glossa necessário para haver sucesso na coleta do recurso (Figura 6). Os resultados mostraram que o tamanho médio da distância da base do capuz à base dos estaminódios (local onde o néctar é secretado e exposto) das flores de *B. excelsa* foi de 10,48mm.

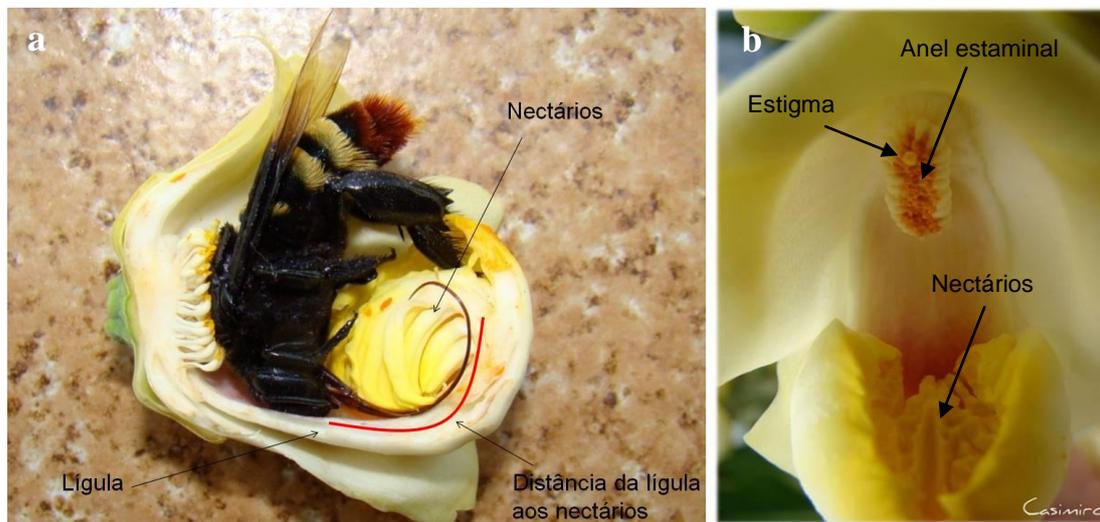


Figura 6: a) Corte transversal de flor de *Bertholletia excelsa* mostrando a abordagem da abelha para coletar néctar e a distância medida da base do capuz (lígula) à base dos estaminódios (em vermelho); b) Estruturas florais (Estigma, anel estaminal e nectários).

Os resultados das medidas do comprimento da glossa de cada espécie de abelha visitante floral e potencial polinizador de *B. excelsa* encontram-se na Figura 7. A partir deles observa-se que todas as abelhas visitantes, exceto a *Megachille* sp., possuem a glossa maior que a medida da distância do capuz à base dos estaminódios, evidenciando que todas as espécies amostradas no plantio conseguem alcançar e coletar o néctar disponível nas flores. Assim, todas as outras realizam visitas legítimas e podem ser considerados potenciais

polinizadores, uma vez que penetram na flor acessando o néctar e pólen, fazendo contato com as anteras e recebendo pólen na superfície corporal (cabeça, tórax e/ou abdome) de forma a realizar efetivamente a polinização. Essa disponibilidade de recursos em locais de difícil acesso parece ser uma estratégia por parte da planta para restringir e selecionar os visitantes, aumentando assim as chances de que apenas visitantes legítimos realizem o processo de polinização.

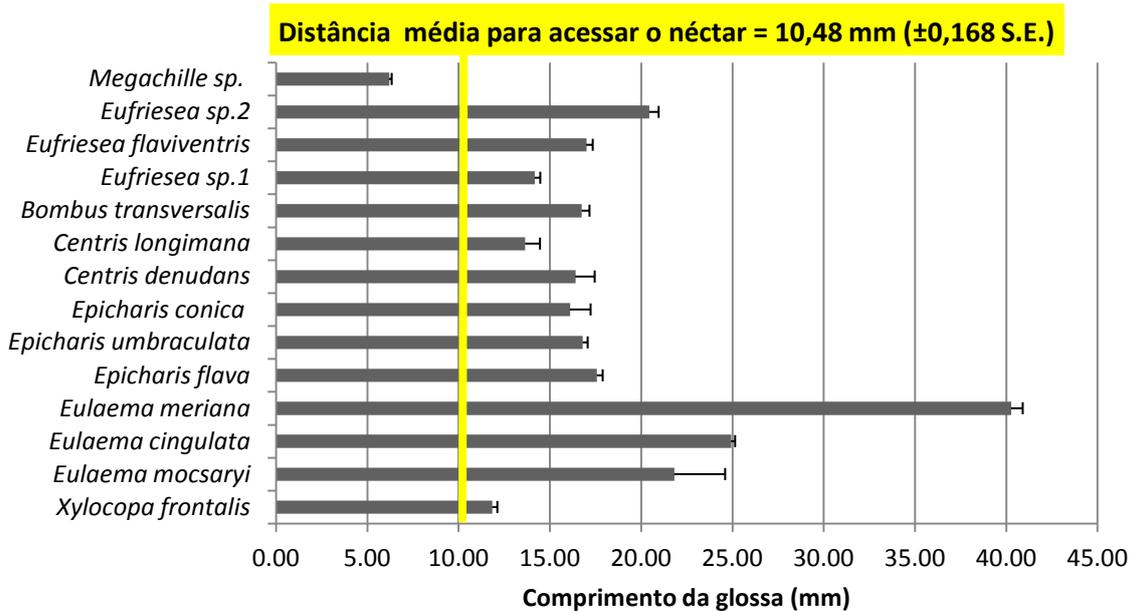


Figura 7: Comprimento médio das glossas dos potenciais polinizadores da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada na Amazônia central.

Além disso, observa-se que *Eulaema meriana* foi a espécie que apresentou a maior glossa, ultrapassando os 40,0 mm. Esse fato nos permite entender o comportamento de forrageio dessa espécie, uma vez que ela penetra pouco na flor, forçando o capuz para baixo e penetrando, basicamente, sua longa glossa para coletar o néctar floral. Espécies menores de gêneros como *Eufriesea*, *Epicharis* e *Xylocopa* que possuem glossas bem menores precisam penetrar bastante na flor para conseguir coletar o néctar. *Xylocopa frontalis*, espécie com glossa de 11,50 mm, penetra bastante na flor realizando movimentos rápidos com o abdômen forçando o capuz para baixo em busca de néctar na tentativa de maximizar sua coleta. *Megachille sp.* foi a espécie com a menor glossa (6,2mm) e, mesmo com a língua menor que a distância mínima necessária para acessar o recurso, penetrava totalmente na flor forçando-se por entre as pétalas e por baixo dos estaminódios até alcançar o néctar.

4. CONCLUSÕES

As flores de *B. excelsa* mantêm a atratividade dos visitantes florais secretando quantidades crescentes de néctar em termos de volume e quantidade de açúcar desde o início da antese até o período da tarde.

As abelhas polinizadoras concentram a atividade forrageadora no período de maior concentração de açúcares do néctar e em condições climáticas mais propícias, maximizando a eficiência de coleta.

A atividade forrageadora dos polinizadores da castanheira-do-brasil está sincronizada com o padrão de secreção de néctar, podendo sugerir uma coevolução o que aumenta as chances de sucesso reprodutivo pelas interações abelha-planta.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDELLO, G., ANDERSON, G.J., LOPEZ, S.P., CLELAND, M.A., STUESSY, T.F. & CRAWFORD, D.J. Reproductive biology of *Lactoris fernandeziana* (Lactoridaceae). *American Journal of Botany* 86:829-840, 1999.

BERNARDELLO, L.; GALETTO, L. e JULIANI, H.R. Nectar, nectario y visitantes florales en *Phytolacca dioica* (Phytolaccaceae). **Revista Brasileira de Botânica**.16:9-15, 1993.

BIERNASKIE, J.M., CARTAR, R.V. e HURLY, T.A. Risk-averse inflorescence departure in hummingbirds and bumblebees: could plants benefit from variable néctar volumes? **Oikos** 98: 98-104, 2002.

CAVALCANTE, M.C. **Visitantes florais e polinização da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. e B.) em cultivo na Amazônia central**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Zootecnia/ Universidade Federal do Ceará-UFC, Fortaleza, Ceará, 2008.

CAVALCANTE, M.C., MAUÉS, M.M., FREITAS, B.M. Pollination requirements and the foraging behavior of potential pollinators of cultivated brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) trees in central Amazon rainforest. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2012, 9p, 2012.

CRUDEN, R.W., HERMAN, S.M. e PETERSON, S. Patterns of nectar production and plant pollination coevolution. In *The biology of nectaries* (B. Bentley e T. Elias, eds.). **Columbia University Press**, New York, p.80-125, 1983.

DAFNI, A., KEVAN, P.G. e HUSBAND, B.C. **Practical Pollination Biology**. Cambridge, Enviroquest Ltd., 590pp, 2005.

DELAPLANE, K. S.; MAYER, D. F. **Crop Pollination by bees**. Cambridge: CABI. 2000.

DEVLIN, B. e STEPHENSON, A.G. Sex differential floral longevity, nectar secretion, and pollinator foraging in a protandrous species. **American Journal of Botany**, 72: 303-310, 1985.

GALETTO, L. Estudios sobre el néctar en Asteridae argentinas: análisis químico e histología comparada de las estructuras secretoras. Universidad Nacional de Córdoba: **Ph. D. dissertation**. 1993.

GALETTO, L. e BERNADELLO, G. Extrafloral nectarines that attract ants in Bromeliaceae: structure and nectar composition. **Can Journal Botany** 70: 1101-1106, 1992.

GALETTO, L. e BERNARDELLO, G. Nectar sugar composition in angiosperms from Chaco and Patagonia (Argentina): An animal visitor's matter? **Plant Systematics and Evolution** 238:69–86, 2003.

GALETTO, L.; BERNARDELLO, G.; ISELE, I.C.; VESPRINI, J.; SPERONI, G. e BERDUC, A. Reproductive biology of *Erythrina crista-galli* (Fabaceae). **Annals of the Missouri Botanical Garden** 87:127–145, 2000.

GOULSON, D. Foraging strategies of insects for gathering nectar and pollen, and implications for plant ecology and evolution. **Perspectives in Plant Ecology, evolution and Sistematics** 2, 185-209, 1999.

HOCKING, B. The intrinsic range and speed off light of insects. **Transactions of the Royal Entomological Society of London** 104: 223-345, 1953.

JACOBI, C.M. Comportamento de *Apis mellifera* em espécies de *Vellozia* (Velloziaceae) em campos rupestres. Mocinho e Bandido. **Anais do V Encontro Sobre Abelhas** de Ribeirão Preto, p. 345, 2002.

LOVETT DOUST, J. e LOVETT DOUST. **Plant reproductive ecology: Patterns and process**. Oxford University Press, Oxford, 1988.

MAUÉS, M. M. Reproductive phenology and pollination of the brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb.e Bonpl.) in eastern Amazônia. In: Kevan P e Imperatriz Fonseca. **Pollinating Bees-The conservation link between agriculture and nature**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.245-254, 2002.

NAVARRO, L. Pollination ecology and effect of nectar removal in *Macleania bullata* (Ericaceae). **Biotropica** 31 (4): 618–625., 1999.

NICOLSON, S.W., e NEPI, M. Dilute nectar in dry atmospheres: nectar secretion patterns in *Aloe castanea* (Asphodelaceae). **International Journal of Plant Sciences**, 166, 227–233, 2005.

PLEASANTS, J.M. Nectar production patterns in *Ipomopsis addredata* (Polemoniaceae). **American Journal of Botany** 70: 1468-1475, 1983.

POTASCHEFF, C.M. **Ecologia da polinização de *Eschweilera nana* Miers., uma lecythidaceae do cerrado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2010.

STILES, F.G. e FREEMAN, C.E. Patterns in floral nectar characteristics of some bird-visited plant species from Costa Rica. **Biotropica** 25:191–205, 1993.

SIMPSON, B.B. e NEFF, J.L. **Evolution and diversity of floral rewards**. In Handbook of experimental pollination biology (Jones, C.E. and Little, R.J., eds). New York: Van Nostrand Reinhold Co., pp.142-159, 1983.

SHAFIR, S., BECHAR, A. e WEBER, E. U. Cognition-mediated coevolution – context-dependent evaluations and sensitivity of pollinators to variability in nectar rewards. **Plant System Evolution** 238: 195-209, 2003.

TORRES, C. e GALETTO, L. Patterns and implications of floral nectar secretion, chemical composition, removal effects and standing crop in *Mandevilla pentlandiana* (Apocynaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**. 127(3):207-223, 1998.

VAN WYK, B.-E. Nectar sugar composition in southern African *Papilionoideae* (Fabaceae). **Biochemical Systematics and Ecology**, 21: 271–277, 1993.

VARASSIN, I.G.; TRIGO, J.R. e SAZIMA, M. The role of nectar production, flower pigments and odour in the pollination of four species of *Passiflora* (Passifloraceae) in south-eastern Brazil. **Botanical Journal of the Linnean Society** 136: 139-152, 2001.

CAPÍTULO 3

**EFEITO DA VEGETAÇÃO DO ENTORNO DOS PLANTIOS E DISTÂNCIA DA
FLORESTA SOBRE A COMUNIDADE DE ABELHAS POTENCIAIS
POLINIZADORAS DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*) EM UM
CULTIVO NA AMAZÔNIA CENTRAL.**

Efeito da vegetação do entorno dos plantios e distância da floresta sobre a comunidade de abelhas potenciais polinizadoras da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em um cultivo na Amazônia central.

RESUMO

A pesquisa foi conduzida entre os meses de outubro a dezembro de 2009 e 2010 em área de 3600ha de cultivo de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), pertencente a Agropecuária Aruanã, localizada no município de Itacoatiara, estado do Amazonas. O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito do entorno dos sistemas de plantio, através da presença de faixas de vegetação secundária (“capoeira”) e da distância aos fragmentos de vegetação nativa, sobre a riqueza, abundância e diversidade dos potenciais polinizadores, bem como a deposição de pólen no estigma de *Bertholletia excelsa* cultivada em área de floresta na Amazônia central. A área com capoeira manteve uma população mais rica e abundante do que a sem capoeira ($p < 0,05$), mostrando a importância dessa vegetação como repositório natural para a manutenção de espécies de abelhas polinizadoras dentro do plantio de castanheira. As espécies *Xylocopa frontalis* e *Eufriesea flaviventris* se destacaram como as mais abundantes, sendo a primeira encontrada em maior quantidade no cultivo com capoeira (88% do total de abelhas) e a segunda na área sem capoeira (64%). Entretanto, a distância das árvores aos fragmentos de vegetação nativa não afetou a abundância e riqueza de abelhas visitantes florais ($p > 0,05$), tanto no ambiente com capoeira quanto no sem a capoeira, apesar de ter sido verificadas populações mais diversas nesse ambiente. Assim, conclui-se que o sistema de manejo da paisagem que mantém faixas de vegetação secundária “capoeira” no interior do plantio mantém uma maior riqueza e abundância de abelhas potenciais polinizadoras, favorecendo assim a polinização da cultura, especialmente pela maior atividade das abelhas e deposição de pólen verificada no estudo.

Palavras-chave: Abelhas. Abundância. Paisagem agrícola. Polinizadores. Riqueza de Espécies.

Effect of surrounding plantations and forest distance on the community of bees potential pollinators of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) under cultivation in the central Amazon.

ABSTRACT

The survey was conducted between the months of October to December 2009 and 2010 in an area of 3600ha of farming the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*), belonging to Agricultural Aruanã, located in Itacoatiara, Amazonas state. The present study aimed to study the effect of the surrounding planting systems, through the presence of secondary vegetation belts ("capoeira") and the distance to the fragments of native vegetation on the richness, abundance and diversity of potential pollinators, as well as the deposition of pollen on the stigma of *Bertholletia excelsa* under cultivation in forest area in central Amazonia. The area with a population capoeira remained abundant and richer than capoeira without ($p < 0.05$), showing the importance of this natural vegetation as a repository for maintaining species of pollinating bees inside the planting of chestnut. The species *Xylocopa frontalis* and *Eufriesea flaviventris* stood out as the most abundant, the first being found in greater quantity in cultivation with poultry (88% of total bees) and the second in the area without poultry (64%). However, the distance from the trees to the fragments of native vegetation did not affect the abundance and diversity of bees floral visitors ($p > 0.05$), both in the environment and in poultry without the roost, despite having been checked several populations in this environment. Thus, we conclude that the system of land management that keeps tracks of secondary vegetation "capoeira" inside the plant maintains a greater richness and abundance potential pollinating bees, thereby pollination of culture, especially the higher activity of bees and deposition pollen found in the study.

Keywords: Abundance. Agricultural landscape. Bees. Pollinators. Species Richness.

1. INTRODUÇÃO

A fragmentação do habitat reduz áreas contínuas de floresta a pequenas porções isoladas, diminuindo o número efetivo de árvores adultas de uma população, ou seja, o número de indivíduos doadores de pólen, e pode também diminuir a população dos agentes polinizadores, aumentar a taxa de autofecundação, e mudar a composição dos grupos de polinizadores (CASCANTE *et al.*, 2002; QUESADA e STONER, 2003; MAUÉS, 2006). Como consequência, o fluxo de pólen e a reprodução sexuada das plantas podem ser alterados acarretando, muitas vezes, na baixa qualidade e quantidade de frutos e sementes (FUCHS *et al.*, 2003; HARRIS e JOHNSON, 2004; AGUILAR *et al.*, 2006; CHACOFF e AIZEN, 2006), gerando sérias consequências tanto em nível local e regional quanto global (MATSON *et al.*, 1997). O que na verdade ocorre é a transformação de uma paisagem de fragmentos de vegetação nativa numa matriz de sistemas produtivos.

A dependência por recursos das florestas, muitas vezes ausentes em áreas de cultivo, pode resultar no déficit de polinizadores nestas áreas, comprometendo a produção agrícola. Mesmo para polinizadores mais generalistas em relação aos recursos alimentares, a proximidade a fragmentos florestais pode ser necessária para obter recursos como locais específicos de nidificação ou recursos não alimentares (CHACOFF e AIZEN, 2006).

O desenvolvimento de práticas agrícolas ecologicamente favoráveis caracterizado pelos sistemas agroecológicos (ALTIERI, 1999) tem promovido uma matriz de alta qualidade para a biodiversidade, que mantém maior semelhança com os habitats naturais facilitando a dispersão das espécies e a manutenção da biodiversidade (VANDERMEER e PERFECTO, 2007). Além disso, há cada vez mais o reconhecimento de que a manutenção dessa fauna pode trazer benefícios importantes para as áreas agrícolas em termos de controle de pragas (RICKETTS *et al.*, 2004) e polinização das culturas (ALTIERI, 1987; VANDERMEER e PERFECTO, 2006).

Dessa forma, práticas de manejo da paisagem agrícola devem ser pensadas como ação estratégica para conservação de áreas propícias à instalação e manutenção de populações de abelhas polinizadoras, beneficiando diretamente a cultura alvo.

Portanto, o presente trabalho objetivou investigar o efeito do entorno e da distância da mata sobre a diversidade e riqueza das abelhas potenciais polinizadoras da castanheira-do-brasil em cultivo manejado sob diferentes práticas agrícolas (com e sem faixas de vegetação no interior do plantio).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

2.1.1 Localização

A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Aruanã, localizada na Rodovia AM-010, Km 215, município de Itacoatiara, Estado do Amazonas, situada entre as coordenadas 03o 30,63” S e 58o 50’ 1,50 W, durante o período de outubro a dezembro de 2009 e 2010. A Agropecuária Aruanã é a maior produtora de castanha-do-brasil cultivada no mundo. A propriedade tem uma área total de 12.000 ha, dos quais 3.600 ha são cultivados com castanheiras enxertadas e pé franco utilizando um espaçamento de 20 m x 20 m, 20 m x 10 m ou mais adensados, 1,5 m x 1,5 m, no caso das áreas de reposição florestal.

2.2 Coleta de dados

Para a coleta de dados foram construídos andaimes de madeira por entre as copas de cada árvore (com altura média de 17 metros), proporcionando visualização de aproximadamente 80% de toda a copa, de forma a permitir a coleta dos dados referente às abelhas visitantes florais e coleta de material para as análises de deposição de pólen no estigma.

Para a verificação do efeito do entorno, foram utilizadas duas áreas de plantio de castanheiras com a mesma matriz circundante composta de fragmentos de floresta nativa (Figura 1), porém manejadas sob diferentes formas (configuração da paisagem): 1) área de monocultivo de castanheira-do-brasil e com faixas vegetação secundária no interior do plantio (“capoeira”) de aproximadamente 10 metros de largura e comprimento do mesmo tamanho dos talhões de cultivo (Figura 2a); 2) área de consórcio de castanheira com pupunha (*Bactris gasipaes*) sem faixas vegetação no interior do plantio (“capoeira”) (Figura 2b).

Com auxílio de um GPS Garmin 60CSx, seis árvores (3 árvores para a área 1 e 3 árvores para a área 2) foram escolhidas aleatoriamente, georreferenciadas e suas distâncias registradas a partir da borda do fragmento florestal mais próximo (Figura 2).

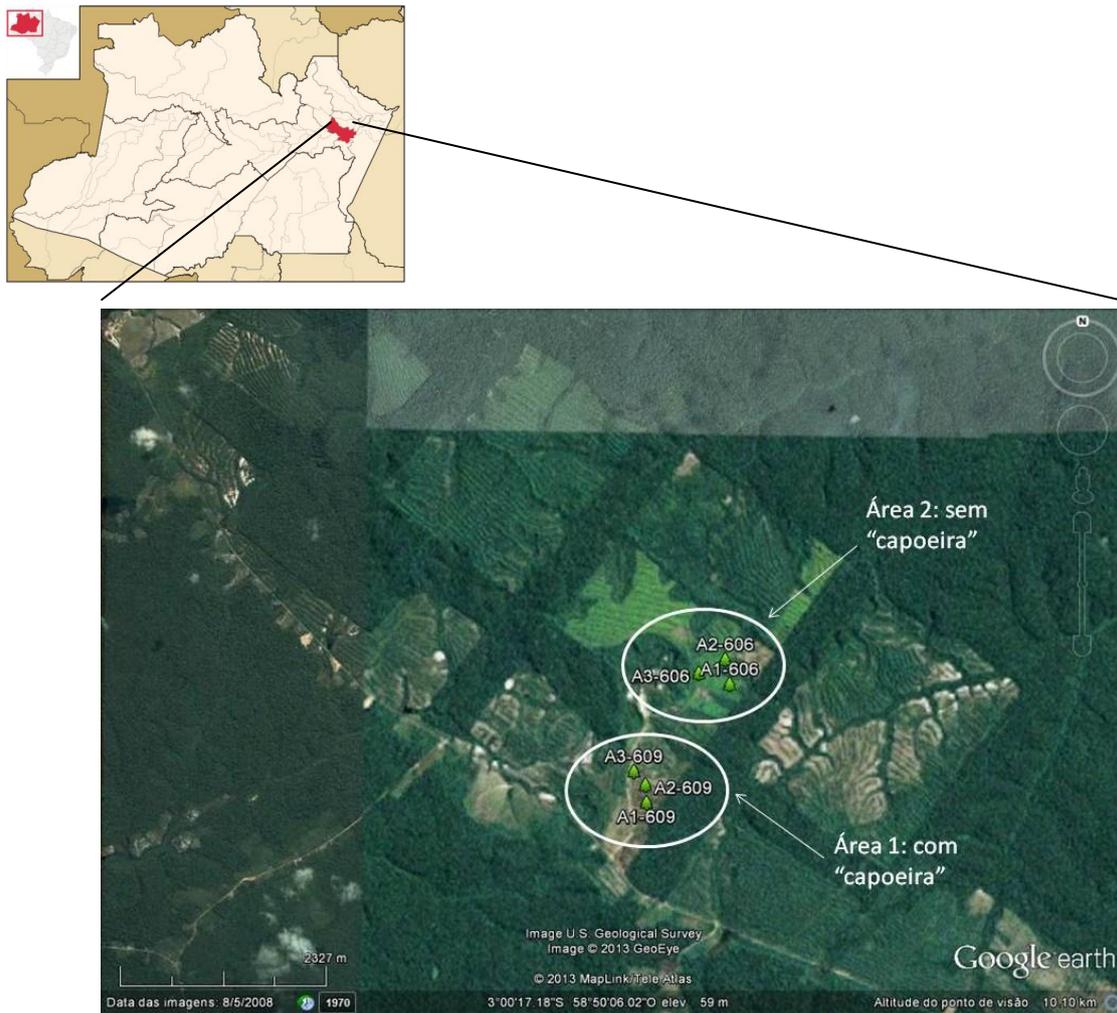


Figura 1: Imagem de satélite das áreas de cultivo de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) na Fazenda Aruanã, destacando os dois ambientes e a localização espacial das árvores utilizadas no experimento.

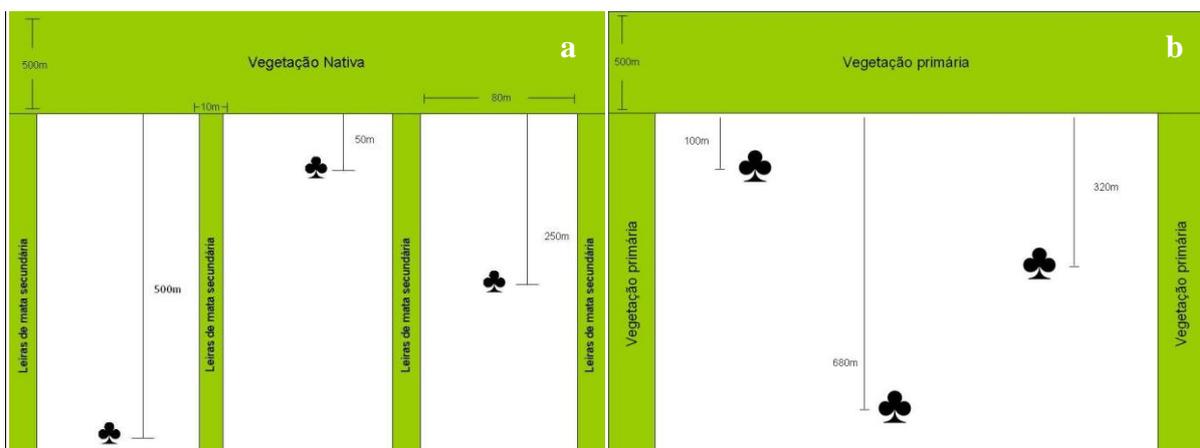


Figura 2: Croqui das áreas experimentais: a) área 1: monocultivo de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) com “capoeira” e b) área 2: consórcio de castanheira com pupunha (*Bactris gasipaes*) sem “capoeira” entre as fileiras do cultivo.

2.2.1 *Visitantes florais*

Durante todo o período de florescimento, buscou-se determinar quais os visitantes florais que poderiam desempenhar o papel de polinizadores deste castanhal, e assim ser objeto de estudo mais detalhado. Em cada árvore coletava-se amostras de todos os insetos que estivessem nas flores destas castanheiras com auxílio de rede entomológica, a intervalos de uma hora, observando-se seu comportamento durante essas visitas. As amostragens foram iniciadas por volta de 5:00 h e finalizadas às 17:00 h. Foram realizadas três repetições de coleta em cada árvore, em diferentes momentos da floração, evitando subamostrar, uma vez que a diversidade e riqueza varia em função do período de florescimento (FREITAS e CAVALCANTE, 2008). Posteriormente, os insetos foram mortos em uma câmara mortífera utilizando acetato de etila, montados em quadro entomológico, para posterior identificação quanto ao gênero e a espécie, e determinada a sua abundância. A identificação dos mesmos foi realizada pela Professora Dra. Favízia de Oliveira Freitas, entomologista da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

2.2.2 *Deposição de pólen*

Pistilos de flores de *B. excelsa* foram coletados 24 horas após a antese e preservados em FAA (5% de formaldeído: 5% de ácido acético: 90% álcool etílico a 70%). Após 24h e 48 horas os pistilos foram transferidos para solução de álcool 70%. No laboratório, os pistilos foram lavados em água corrente e tratados com solução de NaOH 8N para suavizar, clarificar e facilitar a penetração do corante, utilizando uma estufa Yamato DX 600 à temperatura de 60 °C. O tempo de permanência dos pistilos na solução de NaOH variou entre 20 a 30 minutos. Em seguida, os pistilos foram lavados em água corrente para a completa remoção do NaOH, ficando imersos em recipientes com água que era trocada a cada 60 min por até 4 horas. Depois os pistilos foram submersos em solução 0,1% de Azul de Anilina, diluída em tampão de fosfato por pelo menos 4 horas, podendo pernoitar neste corante para melhor resultado (MARTIN, 1959). Após esse procedimento, os pistilos foram dispostos em lâminas de microscopia e cobertos com lamínula, sendo suavemente pressionados para permitir o afastamento do tecido do estilete e facilitar a visualização do pólen e tubos polínicos em microscópio com epifluorescência Leica DMLS e filtro Ultravioleta de 460 nm. Como o

pistilo da castanheira-do-brasil é muito carnosos, foi feito um corte longitudinal dispondo as duas metades com a parte interna voltada para cima na lâmina, antes de receber a lamínula e da suave pressão, para melhor evidenciar os tubos polínicos e óvulos. A análise dos pistilos foi feita em sala escura para melhor visualização dos tubos polínicos e óvulos fertilizados.

Buscou-se avaliar a influência do entorno (faixas de capoeira) sobre a quantidade de pólen depositado pelas abelhas na superfície estigmática, presença de tubo polínico no tecido de transmissão do estilete e a penetração (fertilização) do(s) tubo(s) polínicos no(s) óvulo(s).

2.3 Estimativa de Diversidade

Para análise da diversidade de espécies de abelhas presentes em cada período da florada utilizou-se o Índice de Diversidade de Shannon-Weaver (H') usando o logaritmo neperiano (Shannon e Weaver, 1949). As três amostras foram comparadas uma a uma pelo teste t. Este índice é dado pela fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Onde:

H' = Índice de diversidade

n_i = O número dos indivíduos em cada espécie; a abundância de cada espécie.

S = O número de espécies. Chamado também de riqueza.

N = O número total de todos os indivíduos: $\sum_{i=1}^S n_i$

p_i = A abundância relativa de cada espécie, calculada pela proporção dos indivíduos de uma espécie pelo número total dos indivíduos na comunidade: $\frac{n_i}{N}$

2.4 Equabilidade

Para estimar a uniformidade, ou homogeneidade, da distribuição de abundância de espécies em cada período da florada, utilizou-se o Índice de Equabilidade de Pielou (J') (PIELOU, 1975). Este índice é dado pela fórmula:

$$\mathbf{J'} = \mathbf{H'} / \ln \mathbf{S}$$

Onde:

H' = Índice de Shannon-Weaver

S = O número de espécies.

2.5 Delineamento estatístico

Os dados relacionados à abundância e riqueza das abelhas visitantes florais, foram analisados através de análise de variância (ANOVA) com comparação das médias a posteriori pelo teste de Tukey, através do software GraphPad InStat.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Visitantes florais

Uma grande quantidade de abelhas foi observada visitando as flores da castanheira-do-brasil, totalizando 1035 abelhas de 19 espécies (Tabela 1) ao longo de todo o período de florescimento da cultura. A quase totalidade são abelhas pertencente a família Apidae, dos gêneros *Xylocopa*, *Eufriesea*, *Epicharis*, *Centris* e *Bombus* (Figura 3), com exceção de uma espécie representante da família dos Megachilidae. Resultados semelhantes foram observados em outros estudos (MAUÉS, 2002; SANTOS E ABSY, 2010; CAVALCANTE *et al.*, 2012). Essa grande riqueza e abundância das abelhas verificadas variaram em função do período de florescimento, da distância da mata e do entorno das parcelas de cultivos da castanheira-do-brasil.

Tabela 1: Visitantes florais e potenciais polinizadores da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em cultivo na Amazônia central.

Família	Espécies	Sexo	Abundância total	Abundância relativa (%)
Apidae	<i>Xylocopa frontalis</i>	♂♀	607	58.6
Apidae	<i>Xylocopa</i> sp.1	♀	6	0.6
Apidae	<i>Xylocopa</i> sp.2	♀	3	0.3
Apidae	<i>Eufriesea flaviventris</i>	♂♀	205	19.8
Apidae	<i>Eufriesea purpurata</i>	♀	4	0.4
Apidae	<i>Eulaema mocsaryi</i>	♂♀	113	10.9
Apidae	<i>Eulaema meriana</i>	♂♀	22	2.1
Apidae	<i>Eulaema cingulata</i>	♀	2	0.2
Apidae	<i>Epicharis umbraculata</i>	♀	3	0.3
Apidae	<i>Epicharis flava</i>	♀	10	1.0
Apidae	<i>Epicharis conica</i>	♂♀	6	0.6
Apidae	<i>Epicharis zonata</i>	♀	4	0.4
Apidae	<i>Epicharis</i> sp.	♀	2	0.2
Apidae	<i>Centris ferruginea</i>	♂♀	15	1.4
Apidae	<i>Centris denudans</i>	♂♀	24	2.3
Apidae	<i>Centris americana</i>	♀	2	0.2
Apidae	<i>Centris longimana</i>	♂	1	0.1
Apidae	<i>Bombus transversalis</i>	♀	2	0.2
Megachilidae	<i>Megachile</i> sp.	♀	4	0.4
Total	19		1035	100



Xylocopa frontalis (♀)



Xylocopa sp. (♀)



Bombus transversalis (♀)



Centris denudans (♀)



Centris americana (♀)



Eulaema mocsaryi (♀)



Eulaema meriana (♀)



Eulaema cingulata (♂)



Eufriesea flaviventris (♀)



Eufriesea flaviventris (♂)



Eufriesea purpurata (♀)



Epicharis zonata (♀)

Figura 3: Abelhas visitantes florais e potenciais polinizadores da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada na Amazônia central.

Considerou-se como matriz a vegetação primária, com as faixas de fragmentos florestais que circundam as parcelas de cultivo. E, como entorno a vegetação dos sistemas de cultivo, mas precisamente nomeada de mata de “capoeira”.

De acordo com a figura 4, observa-se que a abundância dos visitantes florais variou bastante em função dos dois ambientes (com e sem capoeira), com predominância absoluta da espécie *Xylocopa frontalis*, representando mais de 58% do total de abelhas amostradas, principalmente na área com capoeira onde quase 88% das abelhas ali presentes foram dessa espécie, apesar de representar apenas 12% do total de abelhas na área sem capoeira. Destaca-se também *Eufriesea flaviventris* com mais de 64% de participação na área sem capoeira e pouco mais de 35% na área com capoeira. Assim, parece haver uma preferência da *X. frontalis* por ambientes mais heterogêneos, talvez por utilizarem madeiras dessas vegetações secundárias no interior do plantio como locais de nidificação. Contrariamente, *Ef. flaviventris* preferiu áreas mais abertas (Figura 4).

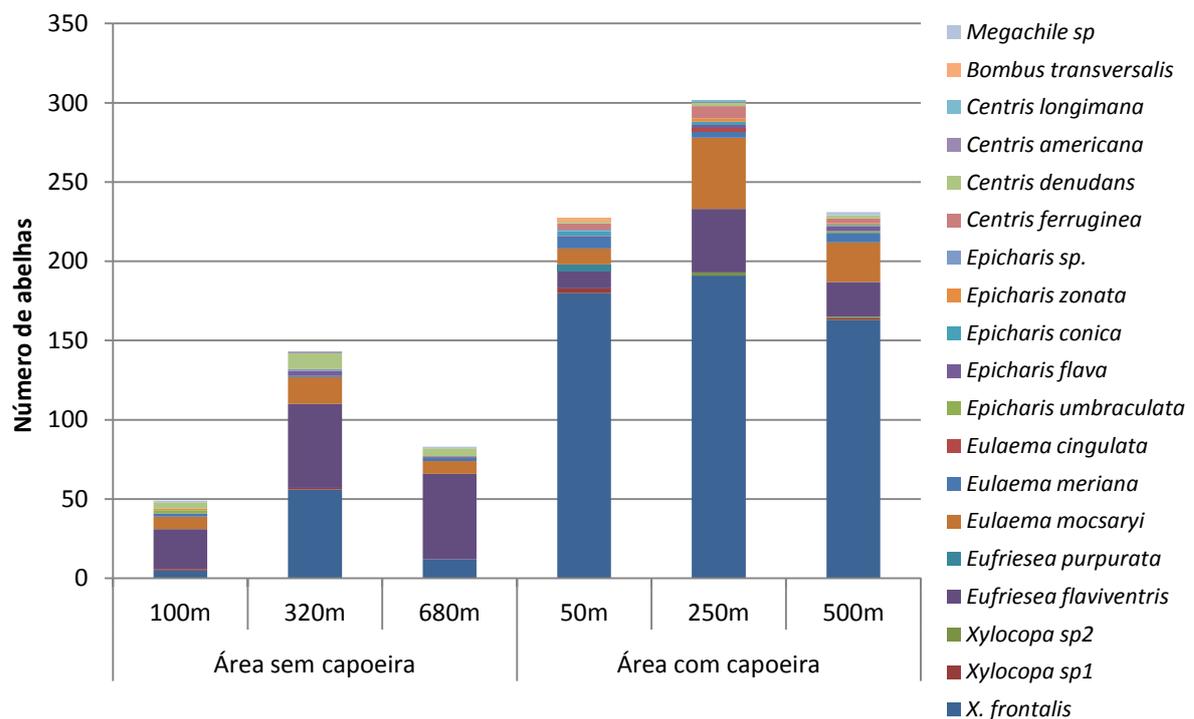


Figura 4: Abundância total de espécies visitantes florais em árvores de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada em ambientes com diferentes entorno e distâncias de fragmentos de vegetação natural, na Amazônia central.

Estas abelhas de maior porte, como *Ef. flaviventris*, que nidificam em cavidades no solo, têm maior autonomia de voo e, portanto, estariam mais aptas a viver em ambientes mais antropizados (MICHENER, 2000). No entanto, existem exceções como as abelhas que exigem maior qualidade ambiental, a exemplo das abelhas carpinteiras do gênero *Xylocopa* que nidificam em troncos (HURD, 1978; CAMILLO e GARÓFALO, 1982; FREITAS e OLIVEIRA-FILHO, 2001) e as mamangavas de solo sociais, que nidificam não somente no solo, mas também na vegetação herbácea (MICHENER, 2000; OSBORNE et al., 2008), que pode ter ocasionado essa maior abundância no ambiente com a capoeira.

Alia-se ao fato dessas abelhas solitárias apresentarem uma estação reprodutiva mais curta e serem capazes de completar seu ciclo durante o período produtivo do cultivo, que no caso de *B. excelsa* é de aproximadamente 90 dias, podendo então nidificar dentro do próprio campo ou nas imediações de áreas cultivadas (CANE, 1997), possibilitando aumentar rapidamente suas populações.

3.2 Efeito do entorno e da distância dos fragmentos de vegetação nativa

Considerando a abundância total e riqueza de espécies de abelhas visitantes florais no cultivo de castanheira-do-brasil durante o florescimento, a área com faixas de vegetação secundária “capoeira” no interior do plantio (áreas com leiras) apresentou valores significativamente superiores para as duas variáveis ($p < 0,01$) e ($p < 0,05$), respectivamente, em relação a área sem “capoeira”, demonstrando a importância dessa vegetação que funciona como corredor ecológico, locais de nidificação e fontes alternativas de recursos mantendo a população de abelhas no período de entressafra da cultura (IMPERATRIZ-FONSECA, 2004). Essa situação sugere que plantios com maiores áreas uniformes de uma única vegetação (monocultivos) mantêm populações de polinizadores menos abundantes e ricas do que em áreas com plantios consorciados com vegetação natural, proporcionando condições mais propícias para a manutenção dessas populações, conforme observado em outros estudos (STEFFAN-DEWENTER *et al.*, 2001; KREMEN *et al.*, 2004, 2007). Por essa razão, para manter ou aumentar a diversidade e abundância de polinizadores, habitats seminaturais tem

sido tradicionalmente implantados em medidas de conservação e em projetos agro-ambientais (INSTITUTE FOR EUROPEAN ENVIRONMENTAL POLICY, 2002).

Comparando árvores com distâncias equivalentes entre os dois ambientes, percebe-se uma diferença altamente significativa ($p < 0,01$) na abundância de abelhas entre árvores mais próximas dos fragmentos de vegetação nativa na área com capoeira (50m e 100m); nas árvores medianamente distantes (250m e 320m) não houve diferença estatística ($p > 0,05$); e nas árvores amostradas mais distantes dos fragmentos de vegetação nativa (500m e 680m) observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os ambientes. Por outro lado, a riqueza não diferiu estatisticamente em nenhum dos casos ($p > 0,05$).

Entretanto, considerando apenas o efeito da distância entre árvores no mesmo ambiente sobre a abundância e riqueza de abelhas, não houve diferença estatística em nenhum dos dois ambientes ($p > 0,05$), apesar das diferenças visíveis observadas, conforme constatado na Figura 5. Ou seja, a distância das árvores aos fragmentos vegetais nativos não influencia na comunidade de polinizadores, mostrando que essas abelhas conseguem voar longas distâncias dentro do cultivo em busca dos recursos, corroborando com os resultados encontrados por FREITAS e CAVALCANTE (2008). A composição da vegetação no entorno, no caso da castanheira, é muito mais importante na abundância e riqueza do que a distância da mata. Esses resultados estão de acordo com outros estudos que encontraram várias evidências de efeitos da composição e disposição de elementos da paisagem na produção agrícola (DE MARCO e COELHO, 2004; KLEIN *et al.*, 2003; RICKETTS *et al.*, 2004).

Uma avaliação similar do impacto da paisagem na polinização de cultivos foi feita recentemente por RICKETTS *et al.* (2008) apontando, porém, um declínio nas taxas de visitação dos polinizadores com o aumento da distância dos seus habitats, refletindo o potencial da ameaça da destruição de áreas naturais. Esse contraste pode ter sido em função das distâncias estudadas na castanheira-do-brasil não terem sido suficientes para proporcionar tais diferenças, uma vez que essas abelhas visitantes florais têm maior autonomia de voo.

Dessa forma, não apenas o isolamento entre manchas de habitats naturais é importante para determinar como os polinizadores e, conseqüentemente, o pólen se movimentam pela paisagem. O entorno dessas áreas, comumente composto por diferentes tipos de cultivos e

estratégias de manejo agrícola, também exerce grande influência no comportamento e manutenção local de polinizadores (OSBORNE *et al.*, 1999).

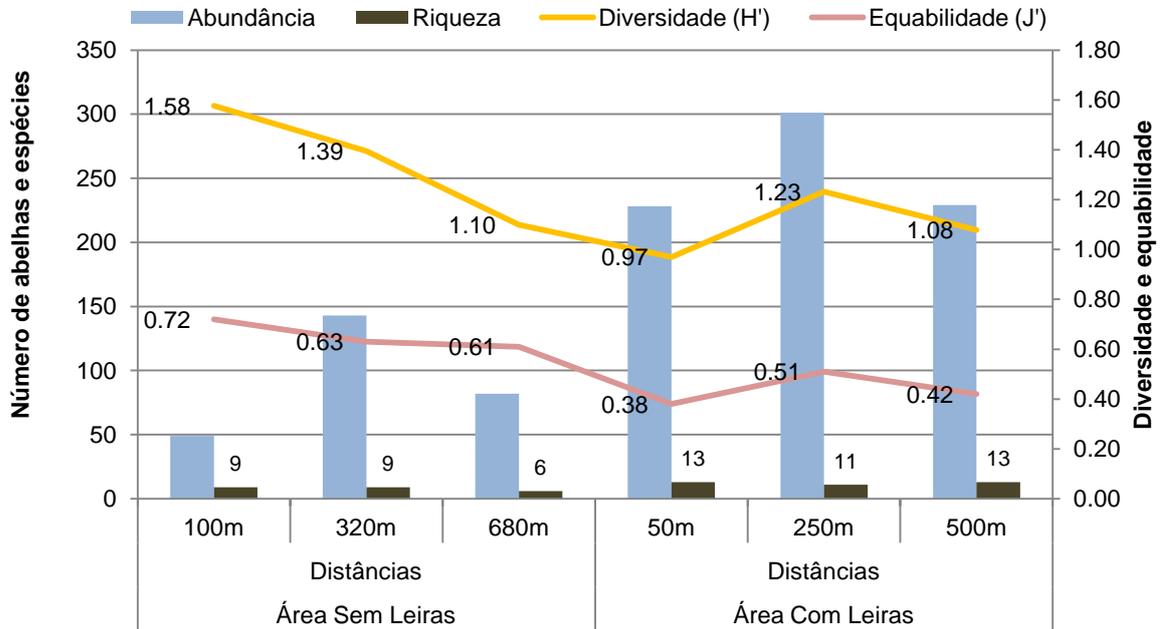


Figura 5: Riqueza e abundância totais e índice de diversidade (H') de espécies visitantes florais e potenciais polinizadoras da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em cultivo a diferentes distâncias de fragmentos florestais (vegetação nativa) em áreas com e sem “capoeira” dentro do plantio na Amazônia central.

O índice de diversidade de Shannon (H') e a equabilidade de Pielou (J') na área sem “capoeira” diminuíram na medida em que as plantas se distanciavam da vegetação primária do entorno da cultura, mostrando que nesse ambiente as plantas mais próximas da borda mantêm uma maior diversidade de abelhas e de forma mais equitativa (J'), podendo ser beneficiadas pela variabilidade da eficiência de polinização das diferentes espécies. Já na área com a “capoeira”, apesar da maior abundância de abelhas, verifica-se através do índice de Pielou que há uma dominância de algumas espécies, proporcionando uma distribuição menos equitativa nas árvores amostradas (Figura 5). Isso pode sugerir, dentre outros fatores, que as faixas de capoeira podem estar sendo efetivamente utilizadas como locais de nidificação por algumas espécies de abelhas, permitindo assim uma maior colonização daquela área e,

consequentemente, proporcionando um maior número de indivíduos por espécie em atividade de forrageio.

3.3 Deposição de pólen no estigma

Há evidências empíricas mostrando que modificações no hábitat afetam a ação de polinizadores e deposição de pólen no estigma (CASCANTE *et al.*, 2002). Comparando a quantidade de pólen depositado no estigma e a intensidade de germinação nas flores das árvores localizadas à diferentes distâncias dos fragmentos florestais, verificou-se que as mais distantes (500m) apresentaram maior quantidade de pólen ($p < 0,05$) do que naquelas mais próximas (50m e 250m). Assim, a distância não influenciou negativamente na quantidade e germinação de pólen depositado pelas abelhas nas flores, talvez pelas faixas de vegetação secundária no interior do plantio (“capoeira”) terem apresentado funcionalidades semelhantes na manutenção das abelhas no interior do plantio.

E, quando comparado as árvores mais distantes (500m e 680m) nos dois ambientes, observou-se que a quantidade de pólen e intensidade de germinação não diferiram ($p > 0,05$), mostrando que o ambiente do entorno não afetou esses parâmetros.

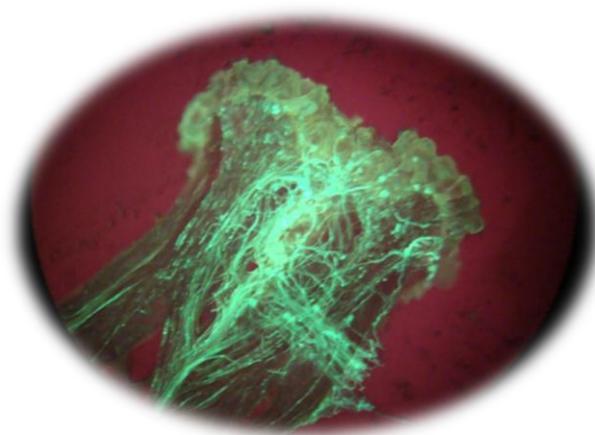


Figura 6: Germinação de grãos de pólen na superfície estigmática e crescimento de tubos polínicos no tecido transmissor em estigma de flor de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada na Amazônia central, sob microscopia de fluorescência.

Independente da distância, em todas as flores onde houve deposição de pólen ocorreu germinação e crescimento de tubo polínico. Dessa forma, o pólen depositado pelas abelhas estava viável, tendo sido verificado crescimento de tubo polínico em todo o tecido transmissor, porém não foi possível a visualização da penetração nos óvulos.

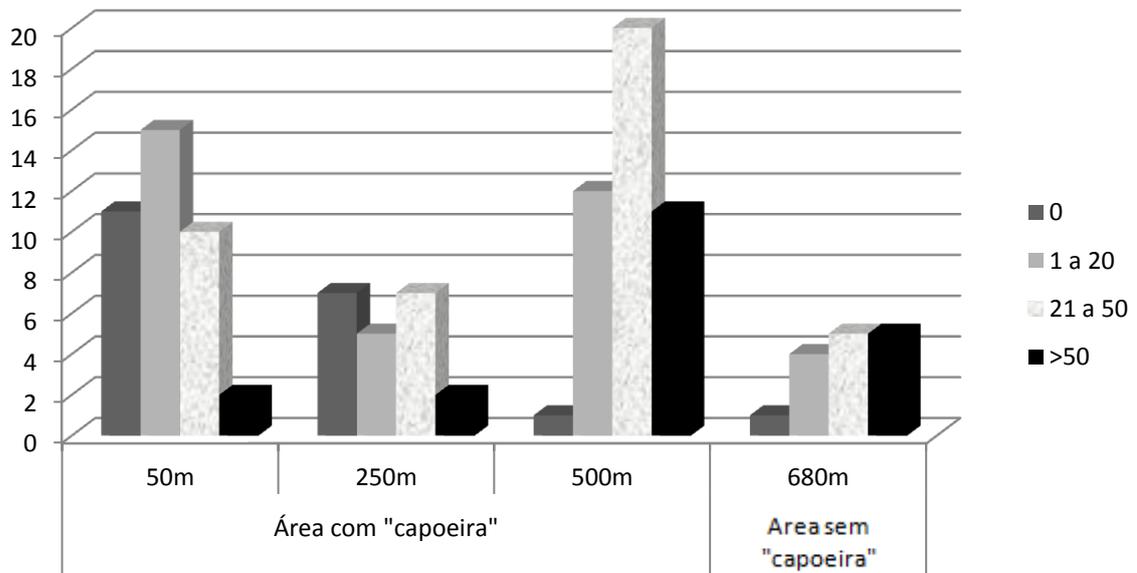


Figura 7: Quantidade de grãos de pólen depositado no estigma das flores de castanheira-do-brasil em cultivo, localizadas a diferentes distâncias dos fragmentos florestais.

Há necessidade de mais estudos nesse sentido, procurando associar a deposição de pólen às espécies de abelhas, visando conhecer sua eficiência de polinização e potenciais manejos desses polinizadores dentro do cultivo.

4. CONCLUSÕES

A distância das árvores aos fragmentos de vegetação nativa não afetou a abundância e riqueza de abelhas visitantes florais, tanto no ambiente com capoeira quanto no desprovido desta. Da mesma forma que não afetou a quantidade de pólen depositado no estigma e intensidade de germinação e crescimento de tubos polínicos.

O sistema de manejo da paisagem que mantém faixas de vegetação secundária “capoeira” no interior do plantio mantém uma maior riqueza e abundância de abelhas polinizadoras, favorecendo assim a polinização da cultura, especialmente pela maior atividade das abelhas e deposição de pólen verificada no estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALTIERI, M.A. **The scientific basis of alternative agriculture**. Westview Press, Inc., Boulder, Colorado, 1987.

ALTIERI, M.A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture Ecosystems e Environment**, 74:19-31, 1999.

CAMILLO, E. e GARÓFALO, C. A. On the bionomics of *Xylocopa frontalis* (Oliver) in southern Brazil: I - Nest construction and biological cycle. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, 42(3):571-582, 1982.

CANE, J.H. Ground-nesting bees: the neglected pollinator resource for agriculture, pp. 309-324 In K. W. Richards [ed.], *Pollination: from theory to practice*. **Acta Horticulturae**, Leiden, 1997.

CAVALCANTE, M.C.; OLIVEIRA, F.F.; MAUÉS, M.M; FREITAS, B.M. Pollination requirements and the foraging behavior of potential pollinators of cultivated brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) Trees in Central Amazon Rainforest. **Psyche: A Journal of Entomology**, 2012: 1-9, 2012.

CASCANTE, A.; QUESADA, M.; LOBO, J.J. e FUCHS, E.A. Effects of dry tropical fragmentation on the reproductive success and genetic structure of the tree *Samanea saman*. **Conservation biology**, Washington, 16(1): 137-147, 2002.

CHACOFF, N.P. e AIZEN, M.A. Edge effects on flower visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. **Journal of Applied Ecology**, 43(1): 18-27, 2006.

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

DELAPLANE, K.S. e MAYER, D.F. **Crop Pollination by bees**. Cambridge: CABI. 2000.

FREITAS, B.M. e CAVALCANTE, M.C. Visitantes florais e polinização da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em cultivo comercial na Floresta Amazônica. In: VIII Encontro Sobre Abelhas. **Anais...** 2008, CD-ROM.

FREITAS, B.M. e OLIVEIRA FILHO, J.H. **Criação racional de mamangavas para polinização em áreas agrícolas**. Fortaleza : Banco do Nordeste. 96p, 2001.

GATHMANN, A. e TSCHARNTKE, T. Foraging ranges of solitary bees. **Journal of Animal Ecology** 71: 757 – 764, 2002.

FUCHS, E.J.; LOBO, J.A. e QUESADA, M. Effects of forest fragmentation and flowering Phenology on the reproductive success and mating patterns of the dry forest tree *Pachira quinata*. **Conservation Biology** 17:149-157, 2003.

HARRIS, F.L. e JOHNSON, S. D. The consequences of habitat fragmentation for plant-pollinator mutualisms. **Journal of Tropical Insect Science** 24:29-43, 2004.

HURD, P. D. **An annotated catalog of the carpenter bees (genus *Xylocopa* Latreille) of the western hemisphere (Hymenoptera, Anthophoridae)**. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 106p, 1978.

IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. **Serviços aos ecossistemas, com ênfase nos polinizadores e polinização**. 2004. Disponível em:

<http://www.ib.usp.br/vinces/logo/servicosaosecosistemas_polinizadores_vera.pdf>. Acesso em: 10/08/2012.

INSTITUTE FOR EUROPEAN ENVIRONMENTAL POLICY. 2002.

<<http://www.ieep.eu/projectminisites>> (Acesso em 10/07/2009).

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

KREMEN, C.; WILLIAMS, N.M.; BUGG, R.L.; FAY, J.P. e THORP, R.W. The area requirements of an ecosystem service: Crop pollination by native bees communities in California. **Ecology Letters**, 7(11):1109-1119, 2004.

KREMEN, C.; WILLIAMS, N. M.; AIZEN, M. A.; GEMMILL-HERREN, B.; LEBUHN, G.; MINCKLEY, R.; PACKER, L.; POTTS, S.; ROULSTON, T.; STEFFAN-DEWENTER, I.; VÁSQUEZ, D. P.; WINFREE, R.; ADAMS, L.; CRONE, E. E.; GREENLEAF, S. S.; KEITT, T. H.; KLEIN, A. M.; REGETZ, J. e RICKETTS, T. H. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. **Ecology Letters**, 10: 299-314, 2007.

MARTIN, F. W. Staining and observing pollen tubes in the style by means of fluorescence. **Stain Technology**, 34: 125-128, 1959.

MATSON, P.A., PARTON, W.J., POWER, A.G., e SWIFT, M.J. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. **Science**, 277:504-509, 1997.

MAUÉS, M. M. Reproductive phenology and pollination of the brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb.e Bonpl.) in eastern Amazônia. In: Kevan P e Imperatriz Fonseca. **Pollinating Bees-The conservation link between agriculture and nature**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.245-254, 2002.

MAUÉS, M.M. **Estratégias reprodutivas de espécies arbóreas e a sua importância para o manejo e conservação florestal: Floresta Nacional do Tapajós (Belterra-PA)**. Universidade de Brasília. Tese de Doutorado. 206p, 2006.

MICHENER, C.D. **The bees of the world**. Johns Hopkins, Baltimore, London. 913p, 2000.

OSBORNE, J. L., S. J. CLARK, R. J. MORRIS, I. H. WILLIAMS, J. R. RILEY, A. D. SMITH, D. R. REYNOLDS, AND A. S. EDWARDS. A landscape-scale study of bumble bee

foraging range and constancy, using harmonic radar. **Journal of Applied Ecology** 36:519–533, 1999.

OSBORNE, J. L., MARTIN, A.P.; SHORTALL, C.R.; TODD, A.D.; GOULSON, D.; KNIGHT, M.E.; HALE, R.J. e SANDERSON, R.A. Quantifying and comparing bumblebee nest densities in gardens and countryside habitats. **Journal of Applied Ecology** 45:784–792, 2008.

PIELOU, E.C. **Ecological diversity**. New York: Wiley, 1975.

QUESADA, M. e STONER, K.E. Effects of habitat disruption on the activity of nectarivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in a dry tropical forest: implications for the reproductive success of the Neotropical tree *Ceiba grandiflora*. **Oecologia** 135:400-406, 2003.

RICKETTS, T.H.; DAILY, G.C.; EHRLICH, P.R. e MICHENER, C.D. Economy value of tropical forest to coffee production. **Proceedings of the Natural Academy of Sciences of the United States of America**, 101(34): 12597-12582, 2004.

RICKETTS, T.H.; 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. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? **Ecology Letters**, 11: 499-515, 2008.

SANTOS, C.F. e ABSY, M.L. Polinizadores de *Bertholletia excelsa* (Lecythidales: Lecythidaceae): interações com abelhas sem ferrão (Apidae: Meliponini) e nicho trófico. **Neotropical Entomology**, 39(6): 854–861, 2010.

SHANNON, C.E. e WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1949.

STEFFAN-DEWENTER, I. MÜNZENBERG, U. e TSCHARNTKE, T. Pollination, seed set and predation on a landscape scale. **Proceedings of the Royal Society of London, Series B**, 268: 1685-1690, 2001.

VANDERMEER, J. e PERFECTO, I. A keystone mutualism drives pattern in a power function. **Science**, 311:1000-1002, 2006.

VANDERMEER, J. e PERFECTO, I. The Agricultural Matrix and a Future Paradigm for Conservation. **Conservation Biology**, 21:274-277, 2007.