

Capítulo 6

Biologia floral e polinização de *Bertholletia excelsa* na Amazônia brasileira

Marcelo Casimiro Cavalcante; Márcia Motta Maués; Lúcia Helena de Oliveira Wadt; Cristiane Krug; Fernanda Fonseca; Andrea Cristina dos Santos Carneiro; Jessica Yoshino; Maico de Oliveira Pimentel.

Introdução

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma árvore nativa da Amazônia que depende exclusivamente da polinização cruzada, realizada por abelhas, para que ocorra a fecundação da planta e, conseqüentemente, a produção de frutos e sementes. Portanto, toda a cadeia de comércio dessa castanha depende das castanheiras e de seus polinizadores. É ainda importante enfatizar que o rendimento da castanha-da-amazônia é condicionado pela atividade das abelhas polinizadoras, e qualquer desequilíbrio que afete a população desses insetos nas florestas nativas, em monocultivos ou em sistemas agroflorestais (SAFs), refletirá diretamente na diminuição da produção de castanhas (Maués, 2002).

A maioria das espécies da família Lecythidaceae, que inclui a castanheira-da-amazônia, depende da polinização cruzada (alógama), predominantemente neotropical, e tendem a florescer na estação seca (Mori; Prance, 1987; Mori, 1987; Endress, 1994). O período de floração de *B. excelsa* ocorre, principalmente, durante os meses de menor precipitação pluviométrica e a frutificação, no período chuvoso (Moritz, 1984; Maués, 2002). Entretanto, florações menos expressivas fora desse período já foram registradas (Maués, 2002).

As flores das espécies neotropicais da família Lecythidaceae apresentam morfologia bastante peculiar. Nelas, o androceu, que é conjunto dos órgãos masculinos da flor (estames e anteras com os grãos de pólen), sofreu alterações, evoluindo de totalmente aberto e radialmente simétrico, nos gêneros *Allantoma*, *Gustavia* e *Grias*, para fechado e zigomórfico, com uma estrutura composta por

estaminódios (estames rudimentares sem anteras) curvos e concrecidos, em *Couratari*, *Corythophora*, *Coroupita*, *Escheweilera* e *Bertholletia* (Mori, 1987). Essa especialização no androceu tem estreita relação com os polinizadores; no caso da *B. excelsa*, aparentemente é adaptada à visita de abelhas de língua (glossa) longa, pois o néctar é produzido na base dos estaminódios (Nelson et al., 1985). Aliado à essa característica morfológica do androceu, a robustez dessa estrutura protege as recompensas florais (pólen e néctar) em estruturas complexas que influenciam e restringem a visitação de insetos (Mori et al., 1978) e demanda polinizadores com língua longa e/ou vigor físico para levantar o conjunto de estaminódios concrecidos e alcançar os recursos florais, selecionando, dessa forma, os visitantes florais e polinizadores efetivos (Mori et al., 1978; Mori; Prance, 1990; Maués, 2002). Assim, somente visitantes florais capazes de manipular essas estruturas florais complexas ou inserir sua língua até a base da câmara nectarífera têm a oportunidade de coletar recursos florais (Moritz, 1984; Maués, 2002; Santos; Absy, 2010) e, por consequência, realizar a polinização cruzada da planta.

As flores de *B. excelsa* são visitadas por diversas espécies de animais, como himenópteros (abelhas), lepidópteros (borboletas e mariposas) e pássaros (beija-flores), entretanto, somente algumas espécies de abelhas, que apresentam alta frequência de visitação, tamanho corporal e comportamento adequado, são consideradas polinizadores efetivos (Cavalcante et al., 2012). Essas abelhas de grande porte, dos gêneros *Bombus*, *Centris*, *Xylocopa*, *Eulaema* e *Epicharis* (Müller et al., 1980; Moritz, 1984; Maués, 2002; Cavalcante et al., 2012), são comuns na região amazônica, e algumas, inclusive, apresentam distribuição geográfica em outros ecossistemas brasileiros.

Os principais polinizadores efetivos podem variar em diversidade e abundância de acordo com a região, a forma de cultivo (monocultivos ou sistemas agroflorestais) e a proximidade de áreas nativas, ou, ainda, de acordo com a localização do castanhal nativo. Em função da importância das abelhas na formação de frutos e sementes da castanheira-da-amazônia, é imprescindível a adoção de práticas amigáveis aos polinizadores como estratégia para manter ou aumentar a produção de castanhas. Além de ajudar a aumentar a produção, favorece a qualidade de vida dos agricultores e extrativistas e praticamente não exige investimentos monetários.

Este capítulo apresenta resultados científicos inéditos de projetos e alguns já publicados em artigos, dissertações, teses, resumos expandidos e simples, desenvolvidos em distintas regiões da Amazônia brasileira. Aqui estão abordados quatro tópicos complementares da biologia da polinização da castanheira-da-

amazônia: fenologia, biologia floral, polinização e, para concluir, práticas agrícolas amigáveis aos polinizadores.

As áreas contempladas nos estudos são: Rio Branco-AC (Campo Experimental da Embrapa Acre); Itacoatiara-AM (plantio comercial monocultural, Fazenda Aruanã); Belém-PA (Jardim Clonal, Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental); Capitão Poço-PA (plantio experimental monocultural, antigo Campo Experimental da Embrapa); Tomé-Açú-PA (sistema agroflorestal, Fazenda Sasahara); Altamira-PA (sistema agroflorestal, Sítio São Vicente); e Oriximiná-PA (pastagem, Comunidade Santa Maria). Essas áreas estão inseridas em diferentes paisagens, com históricos de uso da terra distintos. Rio Branco, Belém e Capitão-Poço são áreas de cultivos experimentais em ambientes periurbanos, com remanescentes de floresta em unidades de conservação no entorno. A Fazenda Aruanã, em Itacoatiara, tem 3,6 mil hectares de plantio de castanheiras em blocos de 500 ha, separados por faixas de 500 m de vegetação natural, circundados por floresta ombrófila nativa em bom estado de conservação. A Fazenda Sasahara, em Tomé-Açú, possui 50 ha, com 25 ha de floresta nativa alterada e o restante composto por cerca de 5,6 ha de área cultivada com castanheira-da-amazônia consorciada com cacau (*Theobroma cacao*), além de plantios solteiros de pimenta-do-reino e cacau; plantios consorciados de fruteiras (cupuaçu, bacuri, açai, ingá) e essências florestais (sapucaia, mogno). Essa propriedade e o Sítio São Vigente, em Altamira, são sistemas agroflorestais situados em municípios que fazem parte de uma fronteira agrícola antiga no Pará, com paisagem bastante antropizada. Na área de Oriximiná, a única nativa, as castanheiras estão isoladas em uma pastagem, com fragmentos florestais nas proximidades.

Fenologia

O estudo da fenologia compreende tanto a ocorrência como as causas de eventos biológicos repetitivos em plantas, considerando interações de forças bióticas e abióticas e sua influência sobre a frutificação e a dispersão de sementes (Lieth, 1974; Pedroni et al., 2002). A época de ocorrência, duração e sincronia entre as fases fenológicas (fenofases) influenciam a quantidade e a qualidade de recursos disponíveis para polinizadores, dispersores e predadores, determinando a estrutura e a dinâmica de populações ou comunidades (Williams et al., 1999). Dessa forma, é importante conhecer e descrever a fenologia de espécies florestais frutíferas com interesse econômico, especialmente quando se pensa em manejo sustentável, domesticação ou aumento de produtividade.

A castanha-da-amazônia ocorre em uma ampla área geográfica, que ocupa florestas nativas em todo o bioma Amazônia, com diferentes tipologias florestais e características climatológicas. Neste subtópico, serão apresentados resultados de estudos sobre a fenologia da castanha em diferentes regiões amazônicas, a comparação dos períodos de floração e dispersão dos frutos e a sincronia dos eventos entre as plantas de uma mesma população. Essas informações são importantes para previsão de safra (produção) e melhor entendimento da distribuição da frutificação, bem como da dinâmica fenológica local dos castanhais.

No Acre, Amazonas e Mato Grosso, a floração tem início no mês de outubro; enquanto em Rondônia e no Pará, existem observações da floração que inicia em setembro, um mês em que os níveis de precipitação ainda são baixos. Os castanhais de Roraima e do Amapá ficam muito próximos à linha do Equador, iniciando a floração um pouco mais tarde, dezembro e janeiro, respectivamente (Tabela 1). Ainda em relação à floração, observa-se nos poucos estudos existentes que a duração dessa fenofase é variável, sendo registrado três meses no Amazonas e sete meses no Pará.

Na maioria dos estados, a floração tem início logo após o período de estiagem, quando se iniciam as mudanças no regime de chuvas. No centro-sul da região Norte, o período chuvoso inicia-se nos meses de outubro e novembro, com o aumento gradativo das pancadas de chuva (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2020).

A floração da castanha é anual e relativamente sincronizada entre as plantas. Os frutos iniciam a formação no mesmo período da floração e se desenvolvem por 12 (Reis, 2015) a 14 meses (Maués, 2002). Dessa forma, é possível observar na mesma planta: flores, frutos novos e frutos maduros, iniciando a dispersão – queda dos frutos maduros (Figura 1).

A dispersão dos frutos maduros ocorre simultaneamente com a nova floração, tendo início no mês de outubro no Mato Grosso; novembro para o Acre e Rondônia; dezembro para o Amapá; janeiro para o Amazonas e o Pará; e fevereiro em Roraima (Tabela 1). Considerando toda essa variação e que a coleta dos ouriços/castanhas ocorre um pouco depois do início da queda dos frutos, pode-se definir que a safra da castanha-da-amazônia no Brasil ocorre no período de dezembro a junho, variando de estado para estado.



Fotos: (A) Márcia Maués; (B, C e D) Marcelo Cavalcante

Figura 1. Fenologia da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*, Lecythydaceae). A – floração maciça na copa; B – flores em inflorescências; C – presença de frutos novos; e D – presença de frutos maduros durante o período de florescimento.

Da mesma forma que a floração, a dispersão dos frutos ocorre anualmente e de forma sincronizada. Com base nos poucos estudos de fenologia, o período de dispersão dos frutos ocorre de quatro a seis meses (Tabela 1).

Biologia floral

A biologia floral é elemento-chave para o conhecimento dos mecanismos reprodutivos da castanheira-da-amazônia e para a compreensão das estratégias de coleta dos recursos utilizados pelas abelhas polinizadoras e de suas interações ecológicas. Esse conhecimento vem sendo construído tanto em castanheiras em condições naturais como na forma de cultivo, seja em monocultivos (plantas enxertadas ou não), seja em sistemas agroflorestais. As plantas cultivadas oriundas

Tabela 1. Ocorrência de floração (sinalizados com flores) e de dispersão dos frutos (sinalizados com frutos) da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*).

Estados	Meses												
	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maió	Jun.	Jul.	Ago.	
Acre													
													
Amazonas													
													
Rondônia													
													
Mato Grosso													
													
Pará													
													
Amapá													
													
Roraima													
													

de enxertos têm proporcionado maiores possibilidades de investigação, uma vez que, normalmente, apresentam porte mais reduzido, variando entre 12 e 25 m, o que possibilita a construção de estruturas como andaimes e escadas para acessar as copas, contrariamente àquelas que ocorrem em florestas nativas, que podem atingir até 50 m de altura, o que limita ou mesmo impossibilita observações mais precisas do que acontece no dossel, onde estão as flores. Avanços científicos significativos têm elucidado aspectos relevantes da biologia reprodutiva da castanheira-da-amazônia e serão aqui apresentados.

A evolução floral na família Lecythidaceae neotropical ocorreu, em grande parte, no androceu, que, devido à sua estrutura especializada, serve prontamente para distinguir essa família de todas as outras (Miers, 1874). Na castanheira, essa estrutura é composta por estaminódios curvados e concrecidos (Mori, 1987) e tem a função de proteger as estruturas reprodutivas bem como os recursos florais (néctar e pólen), restringindo o acesso de outros visitantes que não sejam seus polinizadores (Maués, 2002; Santos; Absy, 2010; Cavalcante et al., 2012). Supõe-se também que o androceu possa ter a função de reduzir efeitos climáticos danosos sobre a viabilidade polínica e a receptividade estigmática. A interação com os polinizadores é influenciada por diversas características florais, como antese (período no qual ocorre a abertura das flores e o amadurecimento dos órgãos reprodutivos), recurso ofertado, cor, forma, tamanho, entre outras características, que devem trabalhar harmonicamente para o bom funcionamento das interações (Endress, 1994).

As flores de *B. excelsa* possuem duas a três sépalas de cor verde-amarelada e seis pétalas variando do amarelo-ouro ao amarelo-pálido (Figura 2). O tamanho varia muito em função da etapa do florescimento (flores localizadas na parte mais apical da inflorescência, ou seja, as últimas flores a abrirem, tendem a ser menores), da variedade (clone) e da localidade, apresentando diâmetro médio entre 2,3 cm e 3,7 cm (Tabela 2). As flores são hermafroditas e zigomorfas, possuindo tanto androceu (estames e anteras) quanto gineceu (estigma e ovário) na mesma flor, e se apresentam dispostas em panículas retas verticais, racemosas (Figuras 1A e 1B) nas extremidades dos ramos e com tamanho variando entre 15 cm e 45 cm (Figura 2D). O ovário é ínfero e está dividido em quatro lóculos, contendo aproximadamente 20 óvulos por flor. Uma árvore possui, em média, 695 ramos, cada um subdividido em 5,66 inflorescências, que, por sua vez, apresentam cerca de 38 flores, totalizando quase 150 mil flores/árvore em uma única florada (Cavalcante et al., 2018). Diariamente, abrem entre 0,59 e 0,76 flor/inflorescência, sempre da base para o ápice da inflorescência (Maués, 2002; Cavalcante, 2008), com longevidade de menos de um dia, pois o processo de senescência da flor inicia cerca de dez horas após a antese, com o desprendimento e a queda da corola (pétalas) e do androceu, restando o cálice (sépalas) e o gineceu, que irão também cair dentro de 2 ou 3 dias se a flor não for fecundada.

Tabela 2. Análise morfométrica (média e desvio-padrão) de flores de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) de três áreas cultivadas (Itacoatiara-AM; Tomé-Açú-PA e Rio Branco-AC) e de uma área de floresta nativa (Rio Branco-AC). P = Plantio; e F= Floresta.

Parâmetros	Itacoatiara (P)	Tomé-Açú (P)	Rio Branco (P)	Rio Branco (F)
Comprimento da flor (mm)	38,73 ± 1,07	21,76 ± 1,67	-	-
Diâmetro da borda floral (mm)	35,63 ± 0,40	24,43 ± 3,00	-	-
Comprimento do pistilo (mm)	-	12,99 ± 1,77	-	-
Comprimento do estilete (mm)	8,22 ± 0,19	8,19 ± 1,24	8,34 ± 0,91	7,39 ± 1,21
Comprimento das anteras (mm)	-	0,83 ± 0,11	-	-
Comprimento dos estames (mm)	3,94 ± 0,05	4,52 ± 0,63	-	-
Comprimento dos estaminódios (mm)	11,23 ± 0,26	7,71 ± 2,29	-	-
Número de estames	94,78 ± 1,43	92,07 ± 7,61	112,55 ± 36,10	108,73 ± 6,44
Número de estaminódios	134,30 ± 2,19	90,21 ± 6,90	-	-
Diâmetro do capuz (mm)	23,88 ± 0,29	13,96 ± 1,50	-	-
Comprimento do ovário (mm)	7,53 ± 0,11	4,91 ± 0,47	3,48 ± 0,31	4,03 ± 0,33
Largura da base do estilete (mm)	0,8 ± 0,03	1,09 ± 0,17	1,17 ± 0,07	0,98 ± 0,20
Largura do estigma (mm)	1,02 ± 0,03	0,80 ± 0,17	0,64 ± 0,07	0,62 ± 0,09
Número de lóculos	4,00 ± 0,06	4,12 ± 0,37	4,12 ± 0,33	4,00 ± 0,00
Número de total de óvulos	17,94 ± 0,45	19,00 ± 1,94	-	-

As características morfométricas de flores de castanheira-da-amazônia em diferentes localizações geográficas e uso da terra apresentam pouca variação entre flores da mesma árvore e entre flores de árvores na mesma localidade (Tabela 2), com exceção do número de estames do plantio em Rio Branco-AC. Comparando as diferentes áreas, observa-se que essa variação é proporcional em termos de tamanho floral, ou seja, mesmo numericamente existindo variações importantes,

como o comprimento dos estaminódios e do ovário, essas variações não são detectadas em função da sua proporcionalidade em relação ao tamanho da flor.

O estigma está inserido dentro de um anel estaminal (média de 107,8 estames, Tabela 1) e está disposto em um plano superior às anteras (Figuras 1C e 2A), dificultando e/ou impedindo a autopolinização, ou seja, que o estigma receba pólen da própria flor, sendo, portanto, uma espécie preferencialmente alógama, que necessita da polinização cruzada para a produção de frutos e descendentes férteis. A superfície estigmática é composta por inúmeras papilas, que aumentam a superfície de contato e facilitam a aderência dos grãos de pólen (Maués, 2002; Cavalcante, 2008), além de, ao longo do dia, sofrem desidratação e oxidação, reduzindo a receptividade do estigma (Maués, 2002). Logo após a antese, por volta das 5h30, já se observa um percentual de receptividade do estigma de 20%, aumentando rapidamente para atingir os maiores valores entre 8h e 8h30 (acima de 85%) em castanheiras cultivadas.

Em uma área de floresta no Acre, o horário de maior receptividade foi observado mais tardiamente, por volta das 10h. De forma geral, o estigma permanece receptivo durante quase todo o dia, com valores superiores a 70% pela manhã e reduzindo para valores próximos de 50% durante a tarde; somente no final do ciclo floral, às 16h, já não está mais receptivo. A depender do método utilizado para verificação (peróxido de hidrogênio H_2O_2 ou peroxtesmo KO), podem ocorrer variações nesses valores.

A antese acontece logo ao amanhecer, por volta das 5h30, na maioria dos estudos (Müller et al., 1980; Maués, 2002; Cavalcante, 2008; Cavalcante et al., 2018), podendo iniciar ainda com ausência do sol (às 3h), conforme observado em um plantio no Acre (Lima, 2009). A flor tem duração de aproximadamente 12 horas após a antese (Figura 3), quando as pétalas caem, e permanecem na inflorescência apenas as sépalas e a estrutura feminina, ovário e estilete (Figura 2D). Havendo fecundação, o fruto será formado; caso contrário, em no máximo 48 horas, esse conjunto se desprende e cai. Na senescência floral, por volta das 15h30, as pétalas já se encontram ressecadas e com o capuz sem a elasticidade necessária para retomar a condição normal após sucessivas aberturas. Nesse momento, as estruturas reprodutivas encontram-se expostas aos efeitos do clima, assim como aos visitantes oportunistas, que não conseguem abrir a flor normalmente.

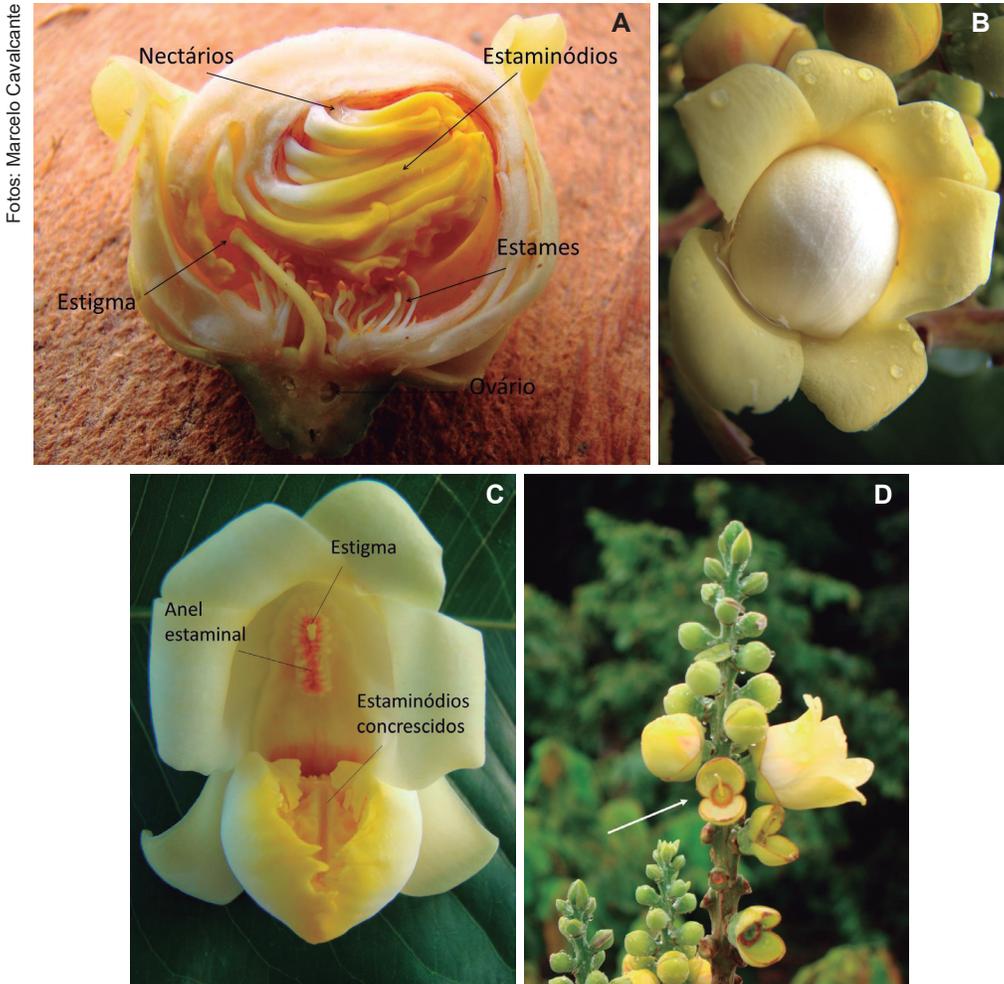


Figura 2. Florescimento da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*). 2A – corte transversal da flor evidenciando todas as estruturas reprodutivas; 2B – detalhe da flor; 2C – exposição das estruturas reprodutivas na flor (anel estaminal, estigma e estaminódios concrescidos); e 2D – estrutura que permanece no ramo após a senescência floral para, potencialmente, se transformar no fruto.

O pólen é produzido em grande quantidade nas anteras do anel estaminal, mas – apesar de começar a ser liberado por volta das 6h, momento em que ocorre a deiscência das anteras (abertura das anteras para liberação do pólen) – somente estará viável entre 7h e 11h30, conforme observado para a maioria das áreas estudadas (plântio e floresta no Acre e em SAF no Pará), coincidindo, assim, com

o período de maior receptividade do estigma. Entretanto, em área de monocultivo com plantas enxertadas, a viabilidade polínica permaneceu ao longo de toda a vida da flor com elevados percentuais (acima de 70%). Uma pequena quantidade de pólen também é produzida nos estaminódios, porém não são viáveis (Mori et al., 1980) e sua função ainda é desconhecida.

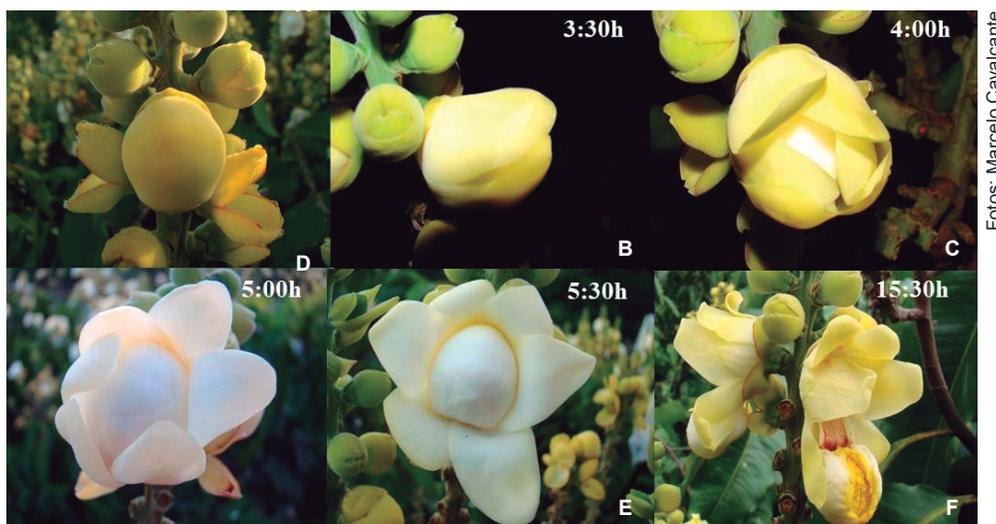


Figura 3. Sequência dos eventos florais na castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*), de acordo com o horário do dia. (A) botão floral; (B, C e D) desprendimento das pétalas; (E) antese: abertura total das pétalas; (F) senescência da flor.

Diversos testes foram conduzidos no intuito de compreender aspectos relacionados à germinação do pólen, crescimento de tubo polínico e fertilização dos óvulos (Figura 4). Essas etapas são cruciais para a formação dos frutos e sementes da castanheira. O fato de existirem em média 20 óvulos divididos nos quatro lóculos do ovário requer que, pelo menos, 20 grãos de pólen viáveis cheguem ao estigma para que possam germinar e fertilizar os óvulos, produzindo, assim, as sementes (castanhas). Entretanto, esse caminho percorrido pelos tubos polínicos no estilete é marcado por um processo de competição entre eles (Figura 4A), para que os mais vigorosos possam penetrar nos óvulos e fecundá-los. Em todos os testes de polinização controlada realizados na castanheira (polinização cruzada, autopolinização e geitonogamia) e na polinização livre, os grãos de pólen germinaram e o tubo polínico cresceu em direção ao ovário, mas em raras ocasiões observou-se a fertilização

(penetração). Comparando a taxa de germinação entre esses testes de polinização, não foram encontradas diferenças significativas, assim como na intensidade do crescimento dos tubos polínicos, levando a crer que a autoincompatibilidade existente na castanheira-da-amazônia seja ovariana ou pós-zigótica.

Não foi observada diferença comparando o tempo de germinação e o crescimento do tubo polínico ao longo de 24, 48 e 72 horas, demonstrando que nas primeiras 24 horas após a chegada do pólen ao estigma já ocorre a germinação e o crescimento do tubo polínico. A única fertilização observada no monocultivo no Amazonas ocorreu nas primeiras 24 horas (Figura 4B), corroborando, assim, a observação acima.

Fotos: Marcelo Cavalcante

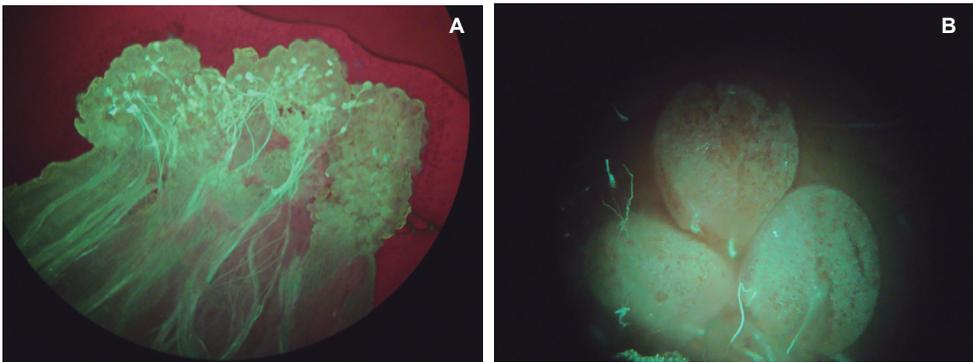


Figura 4. Microscopia de fluorescência no gineceu de flores de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*). A) grãos de pólen germinados na superfície estigmática e tubos polínicos crescendo ao longo do estilete em direção aos óvulos; e (B) tubos polínicos penetrando em óvulos pela micrópila (fertilização do óvulo).

Estudos detalhados sobre o néctar, o principal recurso coletado pelos visitantes florais, permitiram compreender o padrão de secreção e como essa substância energética está relacionada com o processo reprodutivo da castanheira e com os visitantes florais (Cavalcante et al., 2018). O néctar é secretado na base dos estaminódios ao longo de todo o período viável da flor, com padrão de secreção variando bastante em função do sistema de plantio e do local avaliado.

Em um monocultivo com plantas enxertadas no Amazonas (Figura 5A), Cavalcante et al. (2018) observaram um volume médio de 26,1 $\mu\text{L}/\text{flor}$ e uma concentração total de açúcares de 34,4% e de 9,9 mg de açúcar, sendo composto quase que em sua totalidade de sacarose (98%), o restante consiste em 1,8% de glicose e 0,2% de

frutose. No SAF no Pará, os valores médios foram de 1,06 $\mu\text{L}/\text{flor}$, 26,9% e 0,35 mg de açúcares (Figura 5B). Em outro sistema de plantio no Acre, esses valores foram de 8,2 $\mu\text{L}/\text{flor}$, 31,3% e 3,0 mg de açúcares (Figura 5C), enquanto que em condição de floresta natural foi de 4,2 $\mu\text{L}/\text{flor}$, 42,3% e 8,3 mg de açúcares (Figura 5D). Essa grande diferença nos volumes (Figura 5) e, conseqüentemente, na quantidade de açúcares registrados nas diferentes localidades pode estar associada à própria fisiologia das plantas, mas também ao número de flores amostradas e ao efeito do coletor.

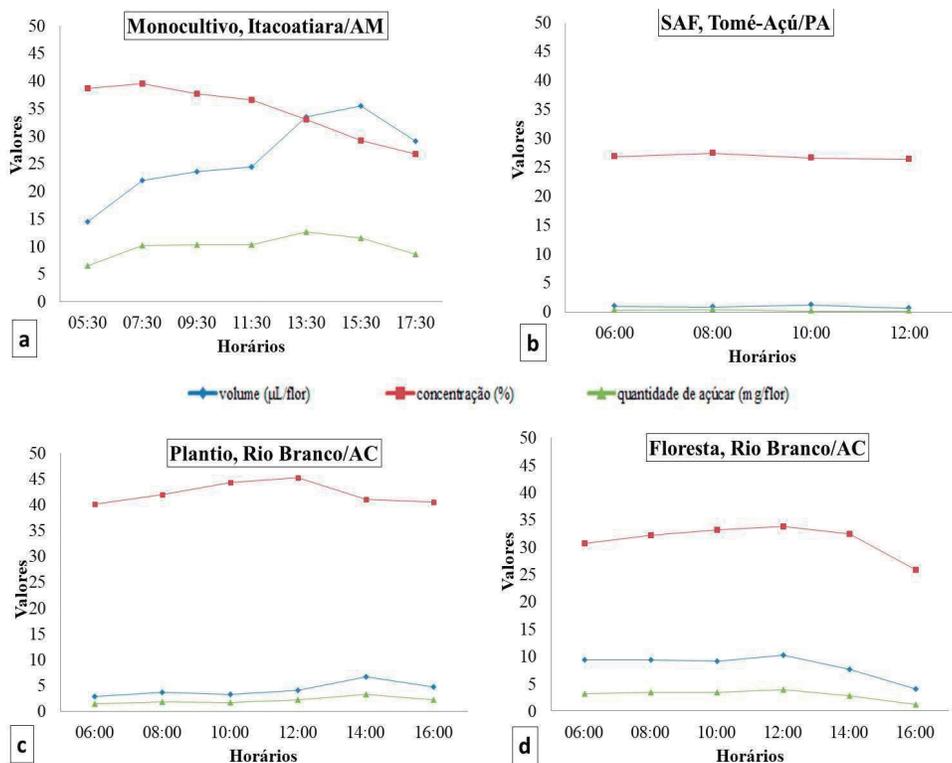


Figura 5. Padrão de secreção do néctar (volume, concentração e quantidade de açúcar) na castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*). (A) monocultivo (Itacoatiara-AM); (B) sistema agroflorestal (Tomé-Açú-PA); (C) plantio (Rio Branco-AC); e (D) floresta (Rio Branco-AC).

A produção de néctar durante todo o dia parece ser uma estratégia para manter a atividade dos visitantes florais durante longos períodos, assim como a grande variação na quantidade de néctar produzida em cada flor no mesmo horário do

dia (por exemplo, às 13h30: de 3,5 a 60,0 $\mu\text{L}/\text{flor}$) estimularia os visitantes a forragearem flores distintas e em diferentes árvores em busca desse recurso, aumentando a polinização cruzada e garantindo, assim, maior sucesso reprodutivo. Quando comparamos as taxas de secreção ao longo do dia, tanto em volume quanto em quantidade de açúcares, observamos que, no período da manhã, as taxas aumentam em 1,67 $\mu\text{L}/\text{h}$ e 0,6mg de açúcares/h, respectivamente. Enquanto isso, à tarde, as taxas médias de secreção diminuíram para esses parâmetros, sendo observado 1,09 $\mu\text{L}/\text{h}$ e 1,0 mg de açúcar/h, respectivamente. Parece haver, portanto, um início de processo de reabsorção desses solutos, uma vez que a flor cai ao final do dia, ainda com néctar, caso ela não seja visitada e tenha esse recurso sido coletado pelos visitantes (Cavalcante et al., 2018) – Figura 5A.

Há um sincronismo na secreção desse recurso com a frequência de visitação dos polinizadores, conforme veremos à frente. O investimento da castanheira nesse recurso é muito alto, tendo sido calculado, com base nesses parâmetros, que uma planta produz o equivalente a 3,91 L de néctar e 1,55 kg de açúcares durante o período de florescimento anual (Cavalcante et al., 2018). Todo esse investimento energético é resguardado pela morfologia floral, de forma que a localização do néctar funciona como uma barreira seletiva, pois exige que os visitantes tenham uma língua de no mínimo 10,48 mm de comprimento para acessá-lo (Cavalcante et al., 2018), favorecendo os polinizadores efetivos dessa espécie.

O fluxo de néctar também foi observado na base das anteras (Cavalcante, 2008), porém com características diferentes daquele da base dos estaminódios, com volume médio de 7,0 μL e concentração de açúcares 30,6% desde a antese, perdurando por todo o ciclo de vida da flor. Sua função parece estar relacionada à manutenção das condições de umidade dentro da flor, de modo a conferir ambiente propício para o pólen se manter viável e o estigma, receptivo. A menor quantidade de açúcar nesse soluto (2,4 mg de açúcares/flor) parece não despertar interesse nos visitantes, uma vez que não se observa a coleta desse recurso. Porém, a sua composição não foi investigada, podendo essa composição também ter influência nesse desinteresse.

A morfologia floral, na qual as estruturas reprodutivas estão fortemente protegidas das intempéries climáticas pelo androceu (capuz), provavelmente favorece essa ampla faixa de receptividade e viabilidade polínica. Manter o estigma receptivo e os grãos de pólen viáveis por longo período é uma estratégia reprodutiva importante para as espécies florestais que naturalmente ocorrem em pequenos agrupamentos,

distantes uns dos outros, como é o caso da castanheira-da-amazônia. Em um ambiente competitivo de floresta, o investimento em floradas maciças com grande disponibilidade de recursos possibilita maior atratividade aos polinizadores e, em conjunto com essas características da biologia floral, aumenta o sucesso reprodutivo da castanheira.

Polinização

A polinização da castanheira-da-amazônia envolve mecanismos complexos de interação entre as flores e seus visitantes. A estrutura floral, já descrita em detalhes anteriormente, evidencia a estreita relação e a dependência dos polinizadores bióticos adaptados e especializados para o processo reprodutivo da castanheira. O baixo percentual de frutificação de *B. excelsa* observado em áreas de floresta na Bolívia – 0,28% das flores se transformou em frutos (Zuidema, 2003) – e no Acre (de 0,26 a 1,6%) demonstra que são necessários mais estudos sobre os requerimentos de polinização dessa espécie. Ou seja, compreender como a polinização acontece e qual o grau de dependência da castanheira dos polinizadores é extremamente importante do ponto de vista tanto do sucesso reprodutivo da espécie quanto do econômico, especialmente para avaliar e colocar em prática programas de polinização otimizada para a espécie, principalmente quando em cultivo, para potencializar a frutificação e a obtenção de altas produtividades.

Os requerimentos de polinização da castanheira vêm sendo estudados a partir de testes de polinização controlados, que avaliam o grau de dependência dos polinizadores e os possíveis *deficit* de polinização presentes nas áreas de ocorrência e/ou de plantios. Em área de monocultivo de castanheiras no Amazonas, Cavalcante et al. (2012) demonstraram que essa espécie florestal é autoincompatível, não sendo possível, portanto, a produção de frutos e sementes a partir do pólen da própria flor (autopolinização), e, quando a polinização ocorre entre distintas flores da mesma planta (geitonogamia), o percentual é baixo, apenas 3,85%. Porém, quando a polinização é realizada entre plantas distintas (polinização cruzada), esse percentual aumenta para 19,33%.

Em função de os níveis de polinização natural que ocorreram nessa área (3,05%) terem sido muito abaixo da polinização cruzada e serem semelhantes aos de geitonogamia, os autores sugeriram que a cultura estava com *deficit* de polinização e que a polinização verificada para aquela área era praticamente entre plantas

aparentadas ou dentro da mesma planta, devendo, portanto, haver uma mudança no layout do plantio de forma a favorecer a polinização cruzada entre clones diferentes. Esses valores de geitonogamia observados foram obtidos em frutos recém-formados, com 45 dias de vingamento, podendo ser ainda menores para a frutificação final (frutos maduros), que é atingida entre 12 e 14 meses, já que o índice de frutos abortados no decorrer da maturação é muito elevado.

Em castanheiras em floresta nativa no Acre, observações de dois anos consecutivos (2008 e 2009) revelaram formação inicial de frutos apenas nos testes de polinização cruzada (2,5 e 12,5%, respectivamente) e na polinização natural (12,5 e 23,2%, respectivamente), tendo sido observada a formação de dois frutos maduros na polinização natural, perfazendo uma taxa de frutificação de 1,6%. Já em árvores cultivadas na mesma localidade (2008), houve vingamento apenas na polinização natural (3,7%), com uma taxa de frutificação de 0,26%. Esses resultados corroboram trabalhos anteriores e reforçam a autoincompatibilidade da castanheira-da-amazônia (Müller et al., 1980; Maués, 2002). É importante destacar que os níveis de polinização observados em áreas de floresta, apesar de baixos, foram ainda superiores aos do ambiente cultivado, podendo o entorno e a composição genética terem efeitos decisivos nesses índices.

Já em um sistema agroflorestal no Pará, considerando os anos de 2010 e 2011, valores bem distintos foram observados no primeiro ano, tendo sido registrados vingamentos em todos os tratamentos, apesar de baixos: autopolinização espontânea (1,6%), autopolinização induzida (1,0%), polinização cruzada (1,1%), geitonogamia (0,27%) e polinização livre (0,17%). No ano seguinte, apenas houve formação inicial de frutos com a polinização cruzada (0,1%), em uma taxa bastante reduzida em comparação com os resultados das outras áreas anteriormente mencionadas.

Existem ainda lacunas de conhecimento sobre os fatores que afetam o vingamento e o desenvolvimento dos frutos da castanheira. Além da polinização, é possível que outros fatores fisiológicos da planta afetem a taxa de conversão flor-fruto, como a nutrição da planta e o vigor dos ramos da inflorescência (Reis, 2015).

A proeminência do estigma em relação às anteras (Figuras 2A e 2C) faz que o pólen seja depositado logo na chegada do potencial polinizador à flor, o que favorece a polinização cruzada. Um pequeno percentual de flores apresenta os estiletos no mesmo nível das anteras, e pode potencialmente receber pólen da própria flor (autopolinização), porém os testes de polinização controlada demonstram não haver

frutificação nessa situação. Há, entretanto, germinação dos grãos de pólen, mas não se observa a fertilização dos óvulos, o que leva a crer que a incompatibilidade seja ovariana ou pós-zigótica.

Os visitantes florais da castanheira-da-amazônia são himenópteros (abelhas), lepidópteros (borboletas e mariposas) e pássaros, como os beija-flores (Maués, 2002; Santos; Absy, 2010; Cavalcante et al., 2012), sendo as abelhas de médio e grande porte, principalmente dos gêneros *Xylocopa*, *Bombus*, *Eulaema*, *Epicharis*, *Euglossa* e *Centris*, os polinizadores mais abundantes e frequentes nas áreas estudadas (Tabela 3; Figura 6). A riqueza, a abundância e a diversidade de espécies de abelhas variam em função do uso da terra do entorno no qual a castanheira está inserida, do período do florescimento, da ocorrência e da distância das áreas de floresta primária, entre outros (Cavalcante, 2013). A maior riqueza de espécies observadas que visitam a castanheira foi encontrada em área de monocultivo – Fazenda Aruanã, Itacoatiara-AM, conforme Figura 6B (Cavalcante et al., 2012; Cavalcante, 2013), área que contou também com o maior esforço amostral de coletas e observações quando comparada com castanheiras cultivadas em sistema agroflorestal (Fazenda Sasahara, Tomé-Açú-PA), Figura 6C, e com castanheiras em pequeno cultivo bem como em área de floresta nativa (Embrapa Acre, Rio Branco-AC), Figura 6D, e nas árvores nativas em área de pastagem (Santa Maria, Oriximiná-PA; Figura 6E; Tabela 3). Entretanto, observa-se que algumas espécies (*Xylocopa frontalis*, *Eulaema meriana* e *Eulaema cingulata*) são de ocorrência comum a todas as áreas, enquanto outras ocorrem em mais de uma área e uma grande maioria apenas foi observada na área de monocultivo. Até o momento, já foram registradas 36 espécies de abelhas que visitam as flores da castanheira e atuam como polinizadores efetivos ou ocasionais, pilhadores de pólen ou néctar, ou ainda apenas coletam os recursos florais – visitantes florais propriamente ditos (Tabela 3).

A abundância relativa das abelhas de médio e grande porte varia muito entre as localidades e dentro da mesma área quando comparados anos consecutivos. Em Itacoatiara-AM, considerando todo o período de florescimento da castanheira, *Xylocopa frontalis* (63%) foi a espécie mais abundante, seguida por *Eulaema mocsaryi* (12%), *Eulaema meriana* (7%), *Centris denudans* (6%) e, em menores proporções, as demais (Cavalcante et al., 2012). Entretanto, esses valores variam ao longo do florescimento, de forma que, com o aumento da abundância de flores, novas espécies aparecem e outras já não são mais observadas, bem como as abundâncias relativas se tornam mais bem distribuídas (equitativas).

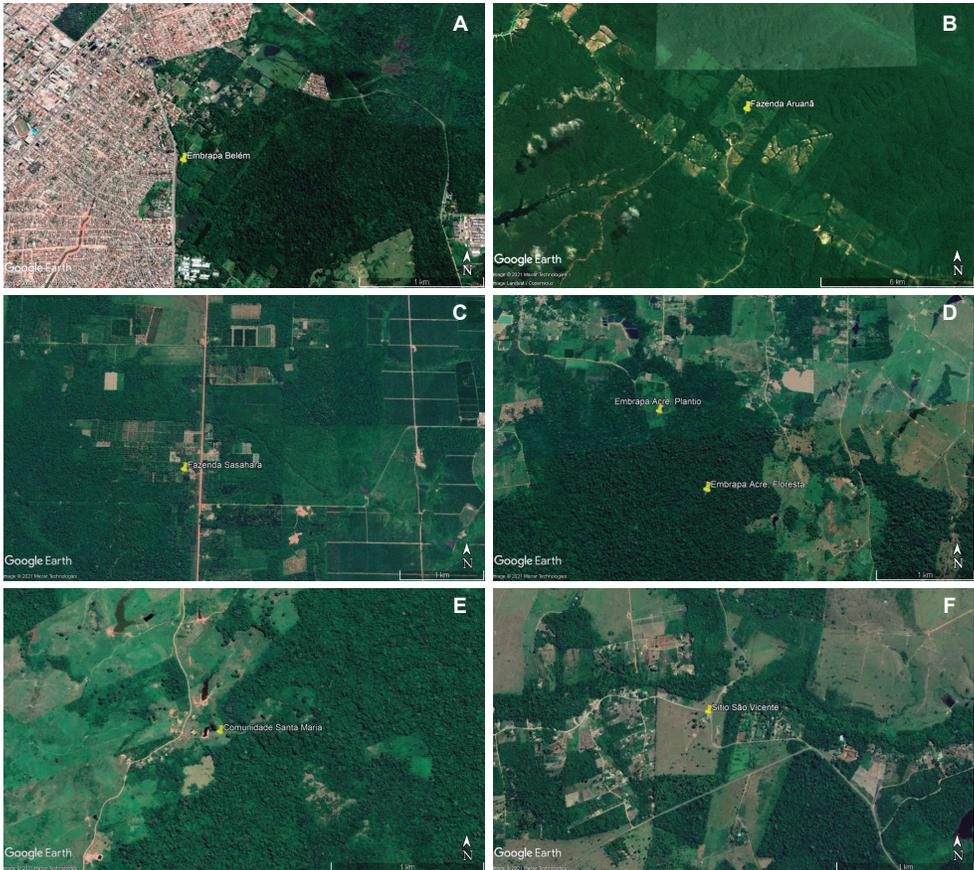


Figura 6. Imagens de satélite das áreas de estudo, destacando seus entornos. (A) Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA; (B) Fazenda Aruanã, Itacoatiara-AM; (C) Fazenda Sasahara, Tomé-Açu-PA; (D) Embrapa Acre, Rio Branco-AC; (E) Comunidade Santa Maria, Oriximiná-PA; e (F) Sítio São Vicente, Altamira-PA.

Em anos posteriores, essa proporção mudou, mas *X. frontalis* permaneceu a mais abundante (58%), seguida de *Eufriesea flaviventris* (20%) e *Eulaema mocsaryi* (8%), e o restante apresentou percentuais abaixo de 2% (Cavalcante, 2013). Já em Rio Branco-AC, a espécie mais abundante foi *Centris* sp.1 (49%), seguida por *Xylocopa frontalis* (22%), *Eulaema meriana* (8,16%), *Xylocopa* sp.1 (6%), *Centris* sp.2 (6%), *Xylocopa* sp.3 (4%), *Eulaema cingulata* (2%), além de uma espécie não identificada (2%). No castanhal nativo em Oriximiná-PA, *X. frontalis* representou 55% das abelhas coletadas, seguida por *Centris superba* (18%), *Eulaema nigrita*,

X. ordinaria e *Megachille* sp., com 9% cada uma. *Xylocopa frontalis* também foi a espécie mais comum no SAF (Tomé-Açú-PA), porém a frequência de todas as outras abelhas observadas nesta foi inferior à das outras áreas estudadas.

Essa elevada riqueza e abundância na área de monocultivo (Itacoatiara-AM) pode estar influenciada pela grande quantidade de flores disponíveis de forma contínua no momento da floração bem como pela manutenção de faixas de vegetação secundária (12 m de largura) entre os blocos de plantio e pelo entorno da fazenda ser composto por uma grande área de floresta primária (Figura 6B), de modo a permitir a manutenção da comunidade de abelhas nos períodos de não florescimento da cultura (Cavalcante et al., 2010). Esperava-se uma maior riqueza de espécies no sistema agroflorestal pela alta diversidade de espécies cultivadas na forma de consórcio; no entanto, essa área é uma antiga fronteira agrícola situada na Estrada da Colônia da JAMIC, atual PA-252 (Figura 6C), onde houve a colonização japonesa no Pará na década de 1960 (Homma, 2016), e o entorno mais antropizado e a menor abundância de flores de castanheira podem ter influenciado na riqueza e na abundância da comunidade de abelhas. Já nos castanhais nativos dentro de pastagem, a baixa riqueza e abundância era esperada em função do forte processo de fragmentação e supressão vegetal no entorno da área de estudo.

As abelhas menores, como os meliponíneos e as *Apis mellifera* (Figuras 7T e 7U), não conseguem acessar os recursos florais de *B. excelsa*, sendo relatado comportamento de roubo de pólen das corbículas das abelhas maiores enquanto estas forrageiam as flores (Cavalcante et al., 2012), Figura 7M, e coleta de pólen que caiu do corpo das abelhas sobre as pétalas após a visita. Santos e Absy (2010) associaram esse comportamento de roubo ao processo de polinização cruzada, uma vez que as abelhas importunadas frequentemente abandonavam as flores e até mesmo a planta na qual estavam forrageando, buscando outras flores ou árvores próximas.

Uma interessante interação de competição, com ataques agressivos, de um meliponíneo (*Trigona* sp.) a alguns visitantes florais, especialmente com *X. frontalis*, foi observada em castanheiras localizadas em uma área agrícola (Altamira-PA), Figura 6F, acompanhado por um elaborado processo de acesso à câmara de néctar das flores, por meio de perfuração na flor. Embora as estruturas reprodutivas não fossem danificadas, as flores perfuradas (14,4% das observadas) pelas *Trigona* sp. para retirada do néctar deixaram de ser atrativas e visitadas pelas abelhas

de grande porte ou, ainda quando visitadas, reduziram o tempo e a frequência de visita dos prováveis polinizadores efetivos. Estudos futuros devem ser realizados em outros locais da Amazônia para avaliar até que ponto os danos causados por *Trigona* sp. nas flores de castanheira interferem na polinização, bem como se esse comportamento pilhador de néctar se repete, se elas tocam os órgãos reprodutivos das flores e deixam pólen e se estas flores danificadas ainda frutificam.

Tabela 3. Espécies de abelhas visitantes florais e polinizadores da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*).

Obs.: As espécies foram coletadas em três sistemas de cultivo: monocultivo, em Itacoatiara-AM (ITA); Jardim Clonal da Embrapa, em Belém-PA; sistema agroflorestal, no município de Tomé-Açu-PA (TOA); e pequeno cultivo no município de Rio Branco-AC (RBR), e em árvores nativas em pastagem em Oriximiná-PA (ORI), respectivamente. Categoria: PE = polinizador efetivo, PO = polinizador ocasional, VI = visitante e PI = pilhador de pólen ou néctar. Os dados são de estudos realizados entre 2007 e 2019.

Família	Espécie	Categoria	ITA	BEL	TOA	RBR	ORI
Apidae	<i>Bombus (Fervidobombus) brevivillus</i> Franklin, 1913	PE		X			
Apidae	<i>Bombus (Fervidobombus) transversalis</i> Olivier, 1789	PE	X	X	X		
Apidae	<i>Centris (Heterocentris) carikeri</i> Cockerell, 1919	PE	X				
Apidae	<i>Centris (Ptilotopus) denudans</i> Lepeletier, 1841	PE	X				
Apidae	<i>Centris (Ptilotopus) superba</i> Ducke, 1904	PE					X
Apidae	<i>Centris (Heterocentris) terminata</i> Smith, 1874	PO		X			
Apidae	<i>Centris (Ptilotopus) americana</i> Klug, 1810	PO	X				
Apidae	<i>Centris (Trachina) longimana</i> Fabricius, 1804	PO	X				
Apidae	<i>Centris (Xanthemisia) ferruginea</i> Lepeletier, 1841	PO	X				
Apidae	<i>Centris (Trachina) similis</i> Fabricius, 1804	PO		X			
Apidae	<i>Centris</i> sp.1	PO					X
Apidae	<i>Centris</i> sp.2	PO					X
Apidae	<i>Epicharis (Epicharana) flava</i> Friese, 1900	PE	X				
Apidae	<i>Epicharis (Epicharis) umbraculata</i> Fabricius, 1804	PE	X	X			

Continua...

Tabela 3. Continuação.

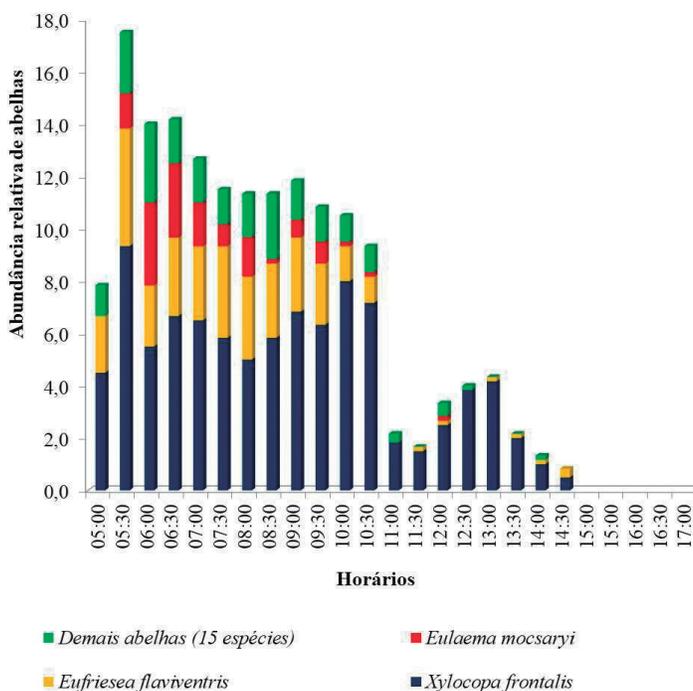
Família	Espécie	Categoria	ITA	BEL	TOA	RBR	ORI
Apidae	<i>Epicharis (Hoplepicharis) affinis</i> Smith, 1874	PE		X			
Apidae	<i>Epicharis (Triepicharis) analis</i> Lepeletier, 1841	PE		X			
Apidae	<i>Epicharis (Epicharana) conica</i> Smith, 1874	PO	X				
Apidae	<i>Epicharis (Parepicharis) zonata</i> Smith, 1854	PO	X				
Apidae	<i>Eufriesea flaviventris</i> Friese, 1899	PE	X				
Apidae	<i>Eufriesea purpurata</i> Mocsáry, 1896	PE	X				
Apidae	<i>Eulaema (Apeulaema) cingulata</i> Fabricius, 1804	PE	X	X	X	X	
Apidae	<i>Eulaema (Apeulaema) mocsaryi</i> Friese, 1899	PE	X				
Apidae	<i>Eulaema (Eulaema) meriana</i> Olivier, 1789	PE	X		X	X	
Apidae	<i>Eulaema (Apeulaema) nigrita</i> Lepeletier, 1841	PO		X			X
Apidae	<i>Xylocopa (Neoxylocopa) aurulenta</i> Fabricius, 1804	PE			X	X	
Apidae	<i>Xylocopa (Neoxylocopa) frontalis</i> Olivier, 1789	PE	X	X	X	X	X
Apidae	<i>Xylocopa (Neoxylocopa) ordinaria</i> Smith, 1874	PO					X
Apidae	<i>Xylocopa</i> sp.1	PO	X				
Apidae	<i>Xylocopa</i> sp.2	PO	X			X	
Apidae	<i>Xylocopa</i> sp.3	PO				X	
Megachilidae	<i>Megachile (Austromegachile)</i> sp.	PO	X				X
Apidae	<i>Euglossa</i> sp.	VI		X			
Apidae	<i>Apis mellifera scutellata</i> Lepeletier, 1836	VI	X	X	X		
Apidae	<i>Frieseomelitta longipes</i> Smith, 1854	VI	X				
Apidae	<i>Melipona (Michmelia) lateralis</i> Erichson, 1848	VI	X				
Apidae	<i>Trigona chanchamayoensis</i> Schwarz, 1948	PI		X	X		

Fonte: Cavalcante et al. (2012; 2018, com adaptação); Maués et al. (2015); e dados novos.



Figura 7. Abelhas visitantes florais e potenciais polinizadores abordando e visitando flores de castanha-da-amazônia (*Berholletia excelsa*). (A) *Centris denudans* (♀); (B) *Centris americana* (♀); (C) *Eulaema meriana* (♂); (D) *Eulaema mocsaryi* (♀); (E e F) *Eufriesea flaviventris* (♀ e ♂, respectivamente); (G e 7) *Xylocopa frontalis* (♀ e ♂, respectivamente); (I) *Bombus transversalis* (♀); (J) *Eulaema cingulata* (♀); (K) *Epicharis cônica* (♀); (L) *Xylocopa* sp. (♀); (M) *Frieseomelitta longipes* (♀) roubando pólen de *Eulaema mocsaryi* (♀); (N) *Centris ferrugínea* (♀); (O) *Eufriesea purpurata* (♀); (P) *Epicharis zonata* (♀); (Q) *Megachille* sp. (♀); (R) *Epicharis flava* (♀); (S) *Epicharis umbraculata* (♀); (T) *Melipona lateralis* (♀); (U) *Apis mellifera* (♀).

Cavalcante et al. (2012) descreveram com detalhes o comportamento de grande parte dessas espécies potenciais polinizadoras para a área de monocultivo em Itacoatiara-AM, tendo sido registrado o horário de visitação de cada uma delas, o número de flores visitadas, o tempo gasto em cada visita e o recurso coletado. Os autores observaram o início da atividade de forrageamento logo com os primeiros raios solares, às 5h15, com pico de visitação entre 5h30 e 6h (Figura 8). Após as 10h30, o número de abelhas forrageando nas flores caiu abruptamente, coincidindo com o aumento da temperatura e a redução da umidade relativa do ar, associado à diminuição do volume de néctar disponível, conforme relatado por Cavalcante et al. (2018). Entretanto, um pequeno grupo de abelhas permaneceu visitando as flores no período da tarde, especialmente *X. frontalis*, não sendo observado mais atividades de forrageamento a partir das 15h (Figura 6). Em árvores nativas com mais de 40 m de altura em área de pastagem, Pimentel (2018) observou a maior frequência de visitação nos horários entre 7h30 e 8h30, mas, devido ao



Fotos: Marcelo Cavalcante

Figura 8. Abundância relativa média por árvore de visitantes florais e potenciais polinizadores de *Bertholletia excelsa* em cultivo, Itacoatiara-AM (2009).

Fontes: Adaptado de Cavalcante (2013).

grande esforço de se manter nas copas pendurado em cordas, as observações se concentraram no período da manhã. Já no SAF em Tomé-Açú-PA, o período de maior visitação foi mais tardio, entre 9h e 10h. Observa-se, portanto, além da variação considerável no comportamento de forrageio das espécies na mesma área (Cavalcante et al., 2012), variação nos horários preferenciais de visita nas distintas áreas e ambientes. Acredita-se que a temperatura e a umidade relativa do ar podem alterar esses padrões de visitação, entretanto, parece haver um efeito conjunto desses fatores com a disponibilidade do recurso néctar nas flores, de forma que a concentração das visitas, em todas as áreas estudadas, ocorreu no período da manhã.

Os potenciais polinizadores efetivos, além de serem robustos o suficiente para abrir a flor, precisam ter uma língua com tamanho mínimo superior aos 10,48 mm para coletar o néctar (Cavalcante et al., 2018), Figura 9. Essa é a distância média entre os nectários e a base do capuz (lígula), local onde a cabeça da abelha permanece durante a visita. De todas as abelhas registradas com visitas efetivas (polinizador efetivo e/ou polinizador ocasional) nas flores da castanheira em área de monocultivo (Itacoatiara-AM), apenas *Megachille* sp. apresentou língua com tamanho inferior ($6,2 \text{ mm} \pm 0,15$), Figura 9. Entretanto, mesmo com tamanho corporal incompatível, ela apresenta o comportamento de forçar-se por entre as pétalas, adentrando na flor e, potencialmente, forçando os estaminódios até conseguir coletar o néctar. Todas as outras abelhas coletavam intencional e efetivamente o néctar. A coleta do pólen, por sua vez, é por contaminação, com exceção da *Eufriesea flaviventris*, que muitas vezes o coletava intencionalmente (Cavalcante et al., 2012). Essa disponibilidade de recursos em locais de difícil acesso parece ser uma estratégia da planta para restringir e selecionar os visitantes, aumentando, assim, as chances de que apenas visitantes legítimos realizem o processo de polinização.

Entretanto, ainda não foi possível investigar a eficiência dos polinizadores já identificados na castanha-da-amazônia. Estudos devem aprofundar-se no entendimento de quais espécies são mais eficientes na polinização em cada paisagem, avaliando a quantidade e a qualidade do pólen depositado por elas no estigma; os parâmetros de quantidade e qualidade de frutos e sementes decorrentes daquele polinizador; a germinação; e o vigor dessas sementes. Dessa forma, programas de polinização podem ser desenvolvidos levando em conta as especificidades de cada localidade e a conformação da paisagem agrícola, de modo a buscar os melhores polinizadores e as melhores formas de aumentar sua população de maneira mais adequada.

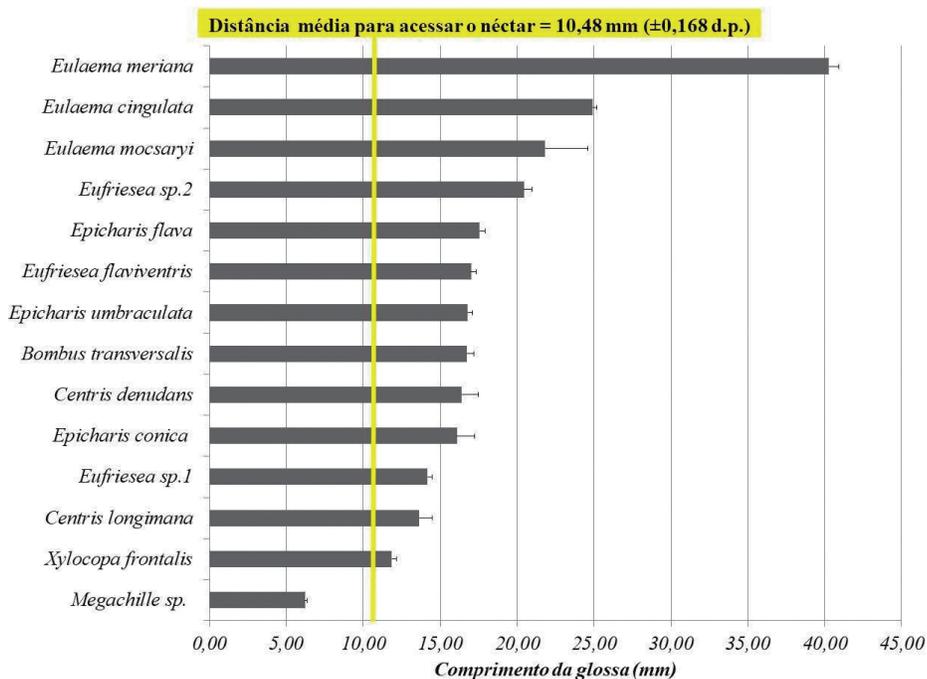


Figura 9. Comprimento médio das línguas (glossas) dos potenciais polinizadores da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*) em cultivo na Amazônia Central.

Fonte: Adaptado de Cavalcante et al. (2018).

Práticas amigáveis aos polinizadores

De acordo com o *Relatório Temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil* (Wolowski et al., 2019), o manejo adequado de polinizadores é uma alternativa para incrementar a produção agrícola e suprimir o déficit na polinização em plantas cultivadas, uma vez que esses polinizadores dependem de diversos recursos para sua manutenção, desde os recursos alimentares até locais para abrigo, para construção de ninhos e para acasalamento, assim como resinas e fragrâncias florais. Maués et al. (2015) publicaram um documento que teve como principal objetivo divulgar informações sobre o cultivo da castanheira-da-amazônia, as quais abrangeram vários aspectos da biologia da polinização e indicaram práticas amigáveis aos polinizadores que podem e devem ser associadas aos cultivos em agroecossistemas ou áreas extrativistas, com vistas a favorecer a polinização adequada e a produção de frutos. Essas práticas amigáveis

aos polinizadores da castanheira serão replicadas a seguir, com modificações e informações complementares.

A seguir estão listadas dez práticas amigáveis aos polinizadores da castanheira e o que pode ser feito para contribuir com esse serviço ambiental. É importante destacar que essas práticas podem e devem ser aplicadas a outros cultivos, com pequenas adaptações e variações das práticas de acordo com as especificidades de cada sistema agrícola.

1. Conhecer os polinizadores presentes na propriedade e os locais onde eles constroem o ninho – Como? É simples! Basta observar o movimento e as atividades das abelhas e dos polinizadores.
2. Evitar o uso de agrotóxicos, especialmente de inseticidas, dando preferência ao controle biológico – Caso necessite utilizá-los, aplique-os preferencialmente nos horários sem atividade das abelhas/polinizadores.
3. Evitar sempre o uso do(as) fogo/queimadas na limpeza de áreas e preparação de novas áreas para plantio. Essa prática pode promover a destruição de ninhos (no chão e em ocós de árvores) de abelhas polinizadoras e reduzir fontes alternativas de recursos florais.
4. Conservar as áreas de floresta e vegetação secundária na propriedade rural (áreas de proteção permanente – APPs e reserva legal – RL), de modo a respeitar a Lei sobre Proteção da Vegetação Nativa. Essas áreas são ricas em plantas nativas complementares, importantes para a alimentação e a nidificação das abelhas.
5. Oferecer locais para nidificação das abelhas (trancos de árvores, blocos de madeira, entrenós de bambu, moirões de cerca, barrancos e árvores de grande porte). Você pode construir locais específicos para isso ou reservar áreas adequadas na propriedade para que as abelhas, sozinhas, encontrem e construam seus ninhos.
6. Cultivar plantas produtoras de néctar e pólen atrativas aos polinizadores da castanha-da-amazônia, como urucum (*Bixa orellana*), maracujá (*Passiflora* spp.), cajá ou taperebá (*Spondias mombin*), acerola (*Malpighia emarginata*), ou qualquer outra planta que você perceba que as abelhas gostam e visitam com frequência.

7. Incentivar o plantio da castanheira em SAFs ou sistemas agroecológicos, beneficiando as abelhas com maior diversidade de recursos no período de não florescimento da castanha, mantendo-as na área ao longo do ano.
8. Manter a conectividade das áreas remanescentes de vegetação nativa para facilitar o fluxo de polinizadores, fortalecendo os corredores ecológicos.
9. Divulgar a importância das práticas agrícolas amigáveis aos polinizadores da castanheira e compartilhar experiências com seus conhecidos ajuda a ampliar a rede de incentivo à proteção das abelhas e dos polinizadores.
10. Estimular e exigir dos governantes políticas públicas que protejam os serviços de polinização e estimulem a agricultura sustentável.

Referências

- CAVALCANTE, M. C. **Visitantes florais e polinização da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em cultivo na Amazônia central**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- CAVALCANTE, M. C.; OLIVEIRA, M. O.; SOARES, A. A.; BOMFIM, I. G. A.; MILFONT, M. O.; FREITAS, B. M.; MAUÉS, M. M. O papel dos polinizadores e o layout do cultivo na baixa produtividade da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) na Amazônia Central. *In: Encontro sobre Abelhas*, 9., 2010, Ribeirão Preto, São Paulo. **Anais...** Ribeirão Preto: 2010. CD-ROM.
- 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**, Article ID 978019, May 2012. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/978019>.
- CAVALCANTE, M. C. **Abelhas polinizadoras da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada na Amazônia Central**: papel do néctar e do entorno do plantio na polinização da cultura. 2013. 79 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- CAVALCANTE, M. C.; GALETTO, L.; MAUÉS, M. M.; PACHECO FILHO, A. J. S.; BOMFIM, I. G. A.; FREITAS, B. M. Nectar production dynamics and daily pattern of pollinator visits in Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) plantations in Central Amazon: implications for fruit production. **Apidologie**, v. 49, p. 505-516, Aug. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13592-018-0578-y>.
- ENDRESS, P. K. **Diversity and evolutionary biology of tropical flowers**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 511 p.
- HOMMA, A. K. O. **A imigração japonesa na Amazônia**: sua contribuição ao desenvolvimento agrícola. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 255 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Estações**. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/estacoes/pt#>. Acesso em: 29 set. 2020.

LIETH, H. Purpose of a phenology book. *In*: _____. LIETH, H. (ed.). **Phenology and seasonality modeling**, Berlim, Deutschland: Springer, 1974. p. 3-19.

LIMA, L. M. S. **Biologia reprodutiva de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em um plantio no Acre**. 2009. 41 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

MAUÉS, M. M. Reproductive phenology and pollination of the brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.) in Eastern Amazônia. *In*: KEVAN, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. (ed.). **Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2002. p. 245-254.

MAUÉS, M. M.; KRUG, C.; WADT, L. H. O.; DRUMOND, P. M.; CAVALCANTE, M. C.; SANTOS, A. C. S. **A castanheira-do-brasil: avanços no conhecimento das práticas amigáveis à polinização**. 1. ed. Rio de Janeiro: Funbio, 2015. v. 1. 84 p.

MIERS, J. V. On the Lecythydaceae. **Transactions of the Linnean Society of London**, v. 30, p. n. 2, p. 157-318, Nov. 1874. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1874.tb00008.x>.

MORI, S.; PRANCE, G.; BOLTEN, A. B. Additional notes on the floral biology of Neotropical Lecythydaceae. **Brittonia**, v. 30, p. 113-130, Apr. 1978. DOI: <https://doi.org/10.2307/2806638>.

MORI, S. A.; ORCHARD, J. E.; PRANCE, G. T. Intrafloral pollen diferencial in the new world Lecythydaceae, subfamily Lecythydoideae. **Science**, v. 209, n. 4454, p. 400-403, July 1980. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.209.4454.400>.

MORI, S. A. Biologia da polinização em Lecythydaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 1, n. 2, p. 121-124, dez. 1987. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33061987000300012>.

MORI, S. A.; PRANCE, G. T. Phenology. *In*: MORI, S. A. (ed.). **The Lecythydaceae of a Lowland Neotropical Forest: La Fumée Mountain, French Guiana**. New York: The New York Botanical Garden, 1987. p. 124-136.

MORI, S. A.; PRANCE, G. T. **Taxonomy, ecology, and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*. Humb. & Bonpl.: Lecythydaceae)**. New York: New York Botanical Garden, 1990. p. 130-150. (Advances in economy botany, 8).

MORITZ, A. **Estudos biológicos da floração e da frutificação da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K)**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1984. 82 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 29). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/387228>. Acesso em: 15 jan. 2022.

MÜLLER, C. H.; RODRIGUES, I. A.; MÜLLER, A. A.; MÜLLER, N. R. M. **Castanha-do-brasil: resultados de pesquisa**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1980. 25 p. (EMBRAPA-CPATU. Miscelânea, 2). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/378091>. Acesso em: 15 jan. 2022.

NELSON, B. W.; ABSY, M. L.; BARBOSA, E. M.; PRANCE, G. T. Observations on flower visitors to *Bertholletia excelsa* H. & B. K. and *Couratari tenuicarpa* A. S. SM (Lecythydaceae). **Acta Amazonica**, v. 15, p. 225-234, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921985155234>.

PEDRONI, F.; SANCHEZ, M.; SANTOS, F. A. M. Fenologia da copaiba (*Copaifera langsdorffii* Desf. – Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 2, p. 183-219, jun. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042002000200007>.

PIMENTEL, M. O. **Estrutura populacional, padrões ecológicos e polinização de *Bertholletia excelsa* Bonpl em áreas antropizadas**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Biociências) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém.

REIS, S. F. **Formação e desenvolvimento de frutos de *Bertholletia excelsa* Bonpl (Lecythidaceae)**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

SANTOS, C. F.; ABSY, M. L. Polinizadores de *Bertholletia excelsa* (Lecythidales: Lecythidaceae): interações com abelhas sem ferrão (Apidae: Meliponini) e nicho trófico. **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 6, p. 854-861, Dez. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000600002>.

SARAIVA, A.; SILVA, C. I. **Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil**. São Carlos, SP: Cubo, 2019. 93 p. DOI: <http://doi.org/10.4322/978-85-60064-83-0>.

WILLIAMS, R. J.; MYERS, B. A.; EAMUS, D.; DUFF, G. A. Reproductive phenology of woody species in a North Australian Tropical savanna. **Biotropica**, v. 31, n. 4, p. 626-636, Dec. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1999.tb00411.x>.

WOLOWSKI, M.; AGOSTINI, K.; RECH, A. R.; VARASSIN, I. G.; MAUÉS, M. M.; FREITAS, L.; CARNEIRO, L. T.; BUENO, R. O.; CONSOLARO, H.; CARVALHEIRO, L.;

ZUIDEMA, P. A. **Demography and management of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*)**. Riberalta: Promab, 2003. 111 p. (Promab Scientific Series, n. 6).