

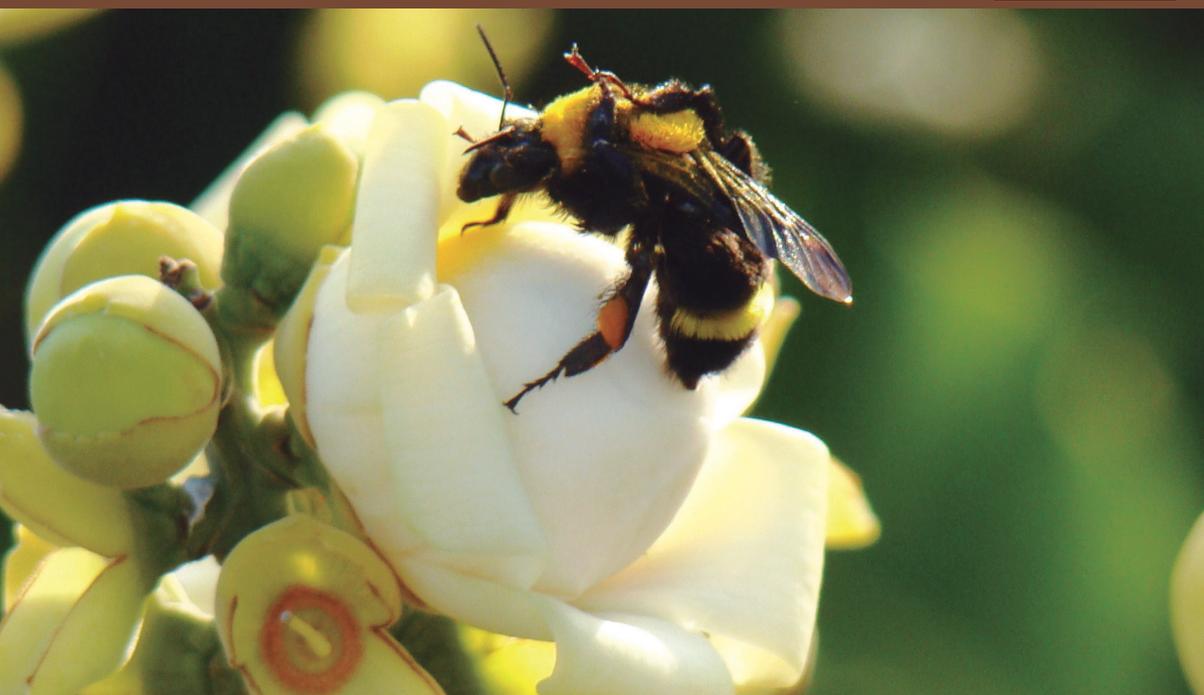
CASTANHA-DA-AMAZÔNIA

ESTUDOS SOBRE A ESPÉCIE E SUA CADEIA DE VALOR

ECOLOGIA E MANEJO
DE CASTANHAIS NATIVOS

Volume 3

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Lúcia Helena de Oliveira Wadt
Julianna Fernandes Marocco
Marcelino Carneiro Guedes
Kátia Emídio da Silva

Editores Técnicos

Embrapa 50 ANOS

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Rondônia
Ministério da Agricultura e Pecuária*

Castanha-da-amazônia

Estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor

Ecologia e manejo
de castanhais nativos

Volume 3

*Lúcia Helena de Oliveira Wadt
Julianna Fernandes Marocco
Marcelino Carneiro Guedes
Kátia Emídio da Silva*

Editores técnicos

*Embrapa
Brasília, DF
2023*

Embrapa

Parque Estação Biológica
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Rondônia
BR 364 Km 5,5, Caixa Postal 127
76815-800 Porto Velho, RO

Comitê Local de Publicações

Presidente

Pedro Gomes da Cruz

Secretário-executivo

Antônio Carlos Santana de Jesus

Membros

Victor Ferreira de Souza

Yara Santos Cioffi

Davi Melo de Oliveira

Maurício Reginaldo Alves dos Santos

Wilma Inês de França Araújo

Supervisão editorial

Lúcia Helena de Oliveira Wadt

Revisão de texto

Wilma Inês de França Araújo

Normalização bibliográfica

Renata do Carmo França Seabra

Foto da capa

Marcelo Cassimiro Cavalcante

Editoração eletrônica

André Luiz Garcia

1ª edição

Publicação digital (2023): PDF

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Acre

Castanha-da-amazônia : estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor : ecologia
e manejo de castanhas nativas / Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Julianna
Fernandes Marocco, Marcelino Carneiro Guedes, Kátia Emídio da Silva,
editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.
v. 3 (PDF 248 p.). il. color.

ISBN 978-65-89957-97-3 v. 3.

1. Castanha-da-amazônia - Extrativismo. 2. *Bertholletia excelsa*. 3.
Bioeconomia. 4. Sociobiodiversidade. 5. Manejo. 6. Cultivo. I. Wadt, Lucia Helena
de Oliveira. II. Marocco, Julianna Fernandes. III. Guedes, Marcelino Carneiro.
IV. Silva, Kátia Emídio da. V. Embrapa Rondônia.

CDD (21. ed.) 634.575

Editores Técnicos e Autores

Adriana Bariani

Engenheira florestal, mestre em Ciências de Florestas Tropicais, analista da Embrapa Amapá, Macapá, AP

Adriano Jerozolimski

Biólogo, doutor em Ecologia, assessor indigenista da Associação Floresta Protegida, Tucumã, PA

Aisy Botega Baldoni

Agrônoma, doutora em Biologia Molecular, pesquisadora da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Ana Cláudia Lira Guedes

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências da Engenharia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Amapá, Macapá, AP

Anderson Pedro Bernardina Batista

Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor do Instituto Federal do Amapá, Laranjal do Jari, AP

Anderson Vasconcelos Firmino

Engenheiro florestal, mestre em Ciências Florestais, doutorando em Biodiversidade Tropical na Universidade Federal do Amapá, Macapá, AP

Andrea Cristina dos Santos Carneiro

Engenheira-agrônoma. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA

Carolina Volkmer de Castilho

Bióloga, doutora em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Roraima, Boa Vista RR

Camila Santos da Silva

Engenheira florestal, mestre em Ciências Ambientais e Florestais, doutoranda em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Ciro Augusto de Souza Magalhães

Engenheiro agrícola, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Cristiane Krug

Bióloga, doutora em Entomologia, pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM

Cristiane Ramos de Jesus

Bióloga, doutora em Fitotecnia – Entomologia, pesquisadora da Embrapa Amapá, Macapá, AP

Daiana Carolina Monteiro Tourne

Engenheira florestal, doutora em Ecologia Aplicada, pós-doutoranda em Ambiente e Sociedade da Universidade de Campinas, Campinas, SP

Daniele Alencar Gonçalves

Engenheira florestal, mestre em Biodiversidade Tropical, Inova Manejo, Macapá, AP

Darlisson Bentes dos Santos

Engenheiro agrícola, mestre em Energia Rural, professor da Universidade da Amazônia, Santarém, PA

Dayane Nathália Barbosa Pastana

Engenheira florestal, mestranda em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

Ediglei Gomes Rodrigues

Engenheiro florestal, mestrando em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá, Macapá, AP

Edson Alves de Araújo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do Sul, AC

Érica de Souza Módena

Bióloga, doutora em Ecologia e Conservação, Gaia Edições

Evert Thomas

Biólogo, doutor em Etnobotânica, pesquisador da Bioversity International, Lima, Peru

Felipe Felix Costa

Cientista ambiental, mestre em Biodiversidade Tropical, consultor

Fernanda Lopes da Fonseca

Engenheira florestal, mestre em Agroecossistemas, analista ambiental da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Francisca Dioniza de A. Matos

Engenheira florestal, doutora em Fitossociologia e Sensoriamento Remoto, pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus - AM

Gérson Rodrigues do Santos

Matemático e cientista da computação, doutor em Estatística e Experimentação Agropecuária, professor da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

Gilsonley Lopes dos Santos

Engenheiro florestal, doutor em Ciências Ambientais e Florestais, pós-doutorando da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Jessica Yoshino

Bióloga. Universidade Federal do Pará. Belém, PA

Julianna Fernandes Marocco

Engenheira florestal, mestre em Ciências de Florestas Tropicais, assessora técnica do Observatório Castanha-da-Amazônia, Brasília, DF

Karine Dias Batista

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR

Kátia Emidio da Silva

Engenheira florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM

Leila Sheila Lisboa

Matemática, doutora em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Secretaria Municipal de Belém SEMEC, PA

Lúcia Helena de Oliveira Wadt

Engenheira florestal, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO

Lucielio Manoel da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Biodiversidade e Biotecnologia, analista da Embrapa Tabuleiros Costeiros - UEP Rio Largo, Rio Largo, AL

Lucieta Guerreiro Martorano

Meteorologista e engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia e Agrometeorologia, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Santarém, PA

Maico de Oliveira Pimentel

Biólogo, mestre em Biociências. Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA

Maria Beatriz Nogueira Ribeiro

Bióloga, doutora em Ecologia, assessora técnica do Instituto Socioambiental e Rede Xingu+, Brasília, DF

Marcelino Carneiro Guedes

Engenheiro florestal, doutor em Recursos Florestais, pesquisador da Embrapa Amapá, Macapá, AP

Marcelo Casimiro Cavalcante

Zootecnista, doutor em Produção Animal, professor da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE

Marcos Gervasio Pereira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Márcia Motta Maués

Bióloga, doutora em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Marcos Silveira

Biólogo, doutor em Ecologia, professor da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC

Maurício Lourenzoni Augusti

Engenheiro-agrônomo, doutorando em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR

Michelle Vasconcelos Cordeiro

Engenheira florestal, mestranda em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá, Macapá, AP

Nadiele Pereira Pacheco

Engenheira florestal e de segurança do trabalho, mestre em Ciências Florestais e Ambientais, chefe do Departamento de Assistência Técnica e Extensão Florestal no Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas, Manaus, AM

Patricia da Costa

Bióloga, doutora em Biodiversidade e Conservação, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Rafael Lucas Figueiredo de Sousa

Engenheiro florestal, mestre em Engenharia Florestal, doutorando em Recursos Florestais na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP

Raimundo Cosme de Oliveira Júnior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Geoquímica Ambiental, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Santarém, PA

Ricardo Adaime da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Amapá, Macapá, AP

Rodrigo Souza Santos

Biólogo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Rosiele dos Santos Vasconcelos

Engenheira florestal, mestre em Ciências Florestais

Uilian Costa de Araújo

Engenheiro florestal, mestre em Ciências Florestais, consultor da AD Engenharia e Consultoria Ambiental, Cruzeiro do Sul, Acre

Valdinar Ferreira Melo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR

Eu não tenho certeza se foram os índios que plantaram essas castanheiras para mim, mas sei que para agradecer pelo que recebi, preciso cuidar delas e deixar para aqueles que virão depois!

Sr. Miguel, agroextrativista da Resex Cajari, *in memoriam*

Dedicamos esta obra a todos os que trabalham com pesquisa, ensino, extensão rural e, especialmente, aos povos e às comunidades que vivem na Amazônia e conservam a majestosa castanheira.

Agradecemos aos colegas pesquisadores e analistas da Embrapa e de instituições parceiras, incluindo estudantes e técnicos que contribuíram para a realização desta obra na qual estão compilados resultados de estudos sobre a castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) e especialmente para este volume que trata de aspectos do melhoramento genético e cultivo da castanheira relacionados à sua cadeia de valor.

Agradecemos também a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta obra, especialmente aos produtores extrativistas e gestores de Unidades de Conservação que compartilharam suas casas, seus conhecimentos e motivaram a maioria dos estudos realizados.

Apresentação

A castanha-da-amazônia é um dos principais produtos do agroextrativismo brasileiro, ocupando o terceiro lugar em importância para produtos alimentícios. Envolve mais de 60 mil famílias de povos e comunidades tradicionais, cerca de 100 organizações comunitárias (cooperativas, associações e agroindústrias), e aproximadamente 60 empresas de beneficiamento e comercialização nacionais. É uma castanha que possui demanda crescente – aumentou em 700% nos últimos 15 anos – e um mercado mundial que movimentou de US\$ 300 a US\$ 400 milhões (R\$ 1,5 a R\$ 2,0 bilhões) por ano, em sua maior parte para a castanha descascada e beneficiada. Apesar de o Brasil ser o maior produtor primário da castanha-da-amazônia, ocupa o 6º lugar no mercado internacional, sendo a Bolívia o maior produtor de castanha beneficiada, com quase 50% do mercado. Vários estudos científicos têm sido conduzidos com a espécie *Bertholletia excelsa*, árvore que produz a castanha-da-amazônia, conhecida como castanheira, e com seus produtores, os castanheiros. No entanto, muitas informações estão disponibilizadas somente em linguagem científica e divulgadas em meios internacionais, ou estão dispersas em diversas formas de divulgação, dificultando o acesso e uso dos resultados em políticas públicas e por agentes envolvidos na cadeia de valor dessa castanha tais como órgãos do governo, ONGs, produtores e empresas. Esta obra, composta por quatro volumes, reuniu resultados de pesquisa e informações relevantes para a cadeia produtiva da castanha-da-amazônia, em linguagem acessível ao público em geral, embora não tenha esgotado o assunto. Com isso, esperamos facilitar o uso das informações disponíveis no fomento à políticas públicas, a produção e comercialização da castanha-da-amazônia, assim como a valorização dos serviços ecossistêmicos e ambientais prestados pelas florestas com castanheiras e pelos seus produtores castanheiros. Acreditamos que uma densa quantidade de informações, reunidas em uma única obra, proporcionará maior efetividade na apropriação dos resultados de pesquisas pelos principais atores dessa importante cadeia de valor. Assim, esperamos que esses quatro volumes sirvam de orientação para profissionais das áreas agrárias, econômica e de alimentos; estudantes universitários; empresas, órgãos públicos responsáveis pela gestão florestal e regulamentação; extensionistas; organizações de classe; agências de fomento e de crédito rural; dentre outros.

Ana Margarida Castro Euler

Diretora-Executiva de Negócios da Embrapa

Prefácio

O Projeto Bem Diverso tem o prazer de apoiar a publicação deste box com quatro volumes, o qual reúne resultados de uma diversidade de pesquisas sobre a castanheira-da-amazônia, também conhecida como castanheira-do-brasil, castanheira-do-pará, *Brazil nut* ou, na nomenclatura botânica, *Bertholletia excelsa* Bonpl. Nesse conjunto de livros, vimos que a castanheira, uma das maiores árvores da Amazônia, com mais de 50 metros de altura e 2 metros de diâmetro, não é só “excelsa” por seu porte, mas também por sua importância socioambiental, sustentando uma cadeia produtiva que envolve milhares de famílias de extrativistas. Descobrimos, ainda, a partir das informações reunidas – muitas delas pouco conhecidas pelo público leigo ou até pelos técnicos que trabalham com questões socioambientais e socioeconômicas amazônicas, ou, ainda, por aqueles que lidam com temas relacionadas à nutrição e à saúde – que é nessa gigante da floresta que repousa uma importante chave para o futuro sustentável da Amazônia.

A divisão desta obra em volumes procura equilibrar a discussão sobre aspectos da biologia e ecologia da castanheira com diversas questões ligadas à coleta e ao mercado de sua amêndoa, a castanha propriamente dita, o que vem sendo convencionado como “cadeia de valor”. Embora esses diversos temas sejam interconectados, o que torna difícil uma divisão totalmente satisfatória, um exercício de separação por temas fez-se necessário para facilitar o acesso e o entendimento do leitor. Assim, o volume I trata dos aspectos sociais, econômicos e organizacionais da cadeia de valor da castanha-da-amazônia; o volume II, de outro aspecto da cadeia, que é a pós-coleta e a tecnologia de alimentos; o volume III, da ecologia e do manejo de castanhais nativos; e o volume IV, do melhoramento genético e cultivo da castanheira – temas fundamentais para a inclusão da espécie em sistemas produtivos locais.

Neste conjunto de quatro livros, o leitor vai encontrar informações sobre a história do comércio da castanha desde os tempos coloniais; aspectos relacionados às restrições de mercado devido à qualidade; boas práticas de higienização e sanitização de frutos e sementes, desde a colheita até o armazenamento; características nutricionais e principais estudos sobre produtos à base de castanha; a relação de fatores bióticos e abióticos com a distribuição da espécie na Amazônia, bem como a influência desses fatores na produção de frutos; a análise da diversidade genética de populações nativas de castanheira em toda a Amazônia; e aspectos da ecofisiologia da castanheira e sua potencialidade para o cultivo.

Em um olhar rápido, podemos dizer que o caso da castanha-da-amazônia é um exemplo da tão procurada bioeconomia, com um produto da Floresta Amazônica que ganha qualidade e amplia espaços nos mercados por meio de inovações tecnológicas que agregam valor aos produtos derivados. No entanto, reconhece-se que essas melhorias derivam, em grande parte, do trabalho conjunto e paciente de organizações da sociedade civil, desde locais até internacionais, o que tem mudado paradigmas quanto à exploração dos recursos naturais e aos direitos das populações tradicionais, apoiando a incorporação dessas questões em políticas públicas. Ou seja, a bioeconomia, ou melhor, a economia da sociobiodiversidade no futuro da Amazônia não é só uma questão de mais pesquisa, investimentos e modernização. Ela exige atenção a toda a dimensão social; à valorização do trabalho, de conhecimentos e da cultura dos povos da floresta; e ao reconhecimento de seus direitos sociais e territoriais.

A castanheira, portanto, merece papel central nos esforços brasileiros para dialogar com iniciativas como a “Década da Restauração”, da ONU, e a Declaração dos Líderes de Glasgow sobre Florestas e Uso do Solo, da penúltima Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP-26), que estabelece a importância não só de frear o desmatamento, como também de promover a restauração de florestas e paisagens, mantida na COP-27.

Por fim, podemos dizer que os variados estudos apresentados nesta coleção de quatro volumes convergem para apontar a castanheira como elemento fundamental para pensar o futuro da Amazônia como paisagem rural sustentável, além de atenderem a cinco objetivos de desenvolvimento sustentável, da ONU, especificamente os ODS 2 - Fome zero e agricultura sustentável, ODS 3 - Saúde e bem estar, ODS 8 - Trabalho decente e crescimento econômico, ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis, ODS 12 - Consumo e produção sustentável, ODS 13 - Ação contra a mudança global do clima e o ODS 17 - Parcerias e meios de implementação. Assim, o objetivo é equilibrar a conservação da natureza, por meio da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, sem perder de vista o bem-estar humano, das gerações atuais e futuras.

Robert P. Miller

Assessor técnico do Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN)

Sumário

Capítulo 1

História ecológica e o papel das populações indígenas no manejo e conservação de castanhais – o caso dos Mebêngôkre-Kayapó no sul do Pará... 19

Capítulo 2

Dinâmica populacional e demografia de castanheiras nativas 51

Capítulo 3

Modelagem da distribuição potencial de castanhais nativos 79

Capítulo 4

Estrutura populacional, dinâmica da produção de frutos e produtividade..... 99

Capítulo 5

Fitossociologia e diversidade arbórea associada a castanheiras na Amazônia brasileira 129

Capítulo 6

Biologia floral e polinização de *Bertholletia excelsa* na Amazônia brasileira 145

Capítulo 7

Solos, clima e vegetação em áreas de ocorrência natural de castanheiras na Amazônia brasileira 175

Capítulo 8

Modelagem das relações bióticas e abióticas que influenciam a produção de frutos..... 219

Capítulo 9

Insetos-praga de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) na Amazônia brasileira 239

Capítulo 1

História ecológica e o papel das populações indígenas no manejo e conservação de castanhais – o caso dos Mebêngôkre-Kayapó no sul do Pará

Maria Beatriz Nogueira Ribeiro; Adriano Jerolimski

Amazônia: um mosaico de florestas manejadas

Por muito tempo a Amazônia foi considerada uma região praticamente intocada na época em que os primeiros colonizadores chegaram às Américas (Denevan, 1992). Nas últimas décadas, no entanto, têm surgido cada vez mais evidências de que ela é, na verdade, um mosaico de paisagens manejadas por povos indígenas que viveram e vivem na região há milênios (Balée, 1989; Heckenberger et al., 2008; Clement et al., 2015; Levis et al., 2017; Shock; Moraes, 2019). Dentre as diversas evidências da transformação realizada por populações indígenas pré-colombianas na paisagem Amazônica, como a presença dos solos antrópicos ou terra preta de índio (Denevan, 2004; Junqueira et al., 2010; Fraser et al., 2011) e registros arqueológicos de grandes e complexos assentamentos humanos ao longo de diferentes regiões de sua bacia hidrográfica (Heckenberger et al., 2008; Roosevelt, 1999; Saunaluoma et al., 2021), estudos ecológicos apontam que populações indígenas vêm influenciando, por meio do manejo direto ou indireto, intencional ou não, a diversidade de espécies de plantas e animais nas florestas da Amazônia (Clement et al., 2015; Levis et al., 2017; WinklerPrins; Levis, 2021).

As práticas de manejo que potencialmente beneficiaram e beneficiam as espécies de interesse humano incluem desde aquelas mais diretas, como seleção, transporte e plantio intencional de variedades mais adequadas ao consumo e/ou uso, até práticas indiretas, como a proteção das plantas de interesse e a supressão de

espécies competidoras ou que não são úteis, enriquecimento do solo e manejo do fogo (Levis et al., 2018). Estas práticas podem ocorrer simultaneamente, em diferentes intensidades e com múltiplas espécies, podendo alterar significativamente a distribuição e a abundância das mesmas, originando, assim, paisagens manejadas e, por vezes, dominadas por espécies de interesse humano - as chamadas florestas antropogênicas (Clement, 1999; Levis et al., 2017; Franco-Moraes et al., 2019).

A domesticação de espécies de plantas por populações humanas é resultado de processos contínuos de manejo, seleção e manipulação de populações com características desejáveis, de forma intencional ou acidental, que resultam em alterações na abundância e distribuição espacial das espécies e, em última instância, na modificação do genótipo de suas populações (Clement, 1999; Levis et al., 2017; Clement et al., 2021). O grau de domesticação das espécies de plantas pode variar, dependendo do grau de manejo, desde aquelas em estado “selvagem”, cujo fenótipo e genótipo não foram alterados pela ação humana, até aquelas totalmente “domesticadas”, cuja seleção foi tão intensa a ponto de terem perdido sua capacidade adaptativa e dependerem de ambientes cultivados por populações humanas para sua sobrevivência (Clement, 1999). A maior parte das espécies de árvores manejadas por populações humanas, como é o caso da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*), não é considerada plenamente domesticada, e estaria num estágio de “domesticação incipiente”, no qual as populações são manejadas ou sofrem algum tipo de intervenção humana, porém não diferem significativamente, em termos de fenótipo ou genótipo, das populações não manejadas, em especial quando são manejadas dentro da floresta e não de forma isolada de suas populações de origem (Clement, 1999; Levis et al., 2017). Isso não necessariamente significa que tais espécies se encontram em uma etapa de transição para a domesticação, sendo, provavelmente, na maioria dos casos, um estágio intermediário permanente de manejo que vem sendo praticado por populações indígenas da Amazônia há milhares de anos, sem necessidade de maiores adaptações (Fausto; Neves, 2018).

A diversidade de espécies de árvores, conceito que inclui o número de espécies e a abundância das mesmas, não é homogênea ao longo da Bacia Amazônica: poucas espécies são muito comuns (hiperdominantes) e muitas espécies são raras (Steege et al., 2013). Além da diversidade de espécies estar associada a processos evolutivos e fatores ambientais (Hoorn et al., 2010; Steege et al., 2013), incluindo características abióticas e bióticas, como tipos de solo, clima e atividade de polinizadores, predadores e dispersores, por exemplo, evidências arqueológicas

e ecológicas indicam que populações humanas pré-colombianas podem ter influenciado a distribuição geográfica e a abundância de diversas espécies de plantas na Amazônia. Levis *et al.* (2017) mostraram que quase 10% (20 espécies) das espécies de árvores hiperdominantes apontadas no estudo de Steege *et al.* (2013) apresentam evidências de seleção e dispersão por populações humanas e que suas riquezas e abundâncias estão associadas, além de a fatores ambientais, à presença de sítios arqueológicos (Levis *et al.*, 2017), e a castanheira-da-amazônia é uma dessas espécies. Embora não seja possível afirmar se essa correlação existe porque as populações indígenas pré-colombianas se estabeleceram preferencialmente em regiões onde as espécies úteis já eram abundantes ou se a abundância atual dessas espécies é resultado do manejo humano, é fato que as populações humanas vêm utilizando e manejando, de diversas formas, essas espécies e, portanto, as paisagens amazônicas, ao longo de milhares de anos.

Neste capítulo, apresentamos uma breve revisão da história ecológica da castanheira-da-amazônia (*B. excelsa*) e das evidências de que sua distribuição e abundância ao longo da Bacia Amazônica vêm sendo influenciadas pelo uso e manejo por populações indígenas pré-colombianas e contemporâneas. Aprofundamos a discussão abordando o manejo intencional e não intencional desta espécie pelo povo Mebêngôkre-Kayapó, nas florestas de transição do sudeste amazônico.

História ecológica

A castanheira-da-amazônia (*B. excelsa*) é uma espécie amplamente distribuída na Bacia Amazônica, ocorrendo desde o sudeste da Amazônia brasileira até a Bolívia, Peru, Colômbia, Venezuela e Guianas (Shepard Junior; Ramirez, 2011). Suas sementes, as castanhas-da-amazônia, vêm sendo consumidas pelas populações indígenas amazônicas há milhares de anos. Vestígios paleobotânicos encontrados em sítios arqueológicos na Amazônia indicam que populações indígenas já utilizavam esta espécie há mais de 11.000 anos (Roosevelt *et al.*, 1996; Furquim, 2018). Além disso, há evidências crescentes de que os povos pré-colombianos foram importantes agentes dispersores da castanheira-da-amazônia, o que tem feito com que esta espécie seja considerada uma das principais indicadoras de florestas antropogênicas (Shepard Junior; Ramirez, 2011; Levis *et al.*, 2017).

A ocorrência da castanheira-da-amazônia em diversas regiões da Bacia Amazônica está associada a manchas de solo antropogênico ("*terra preta*") e a sítios arqueológicos (Balée, 1989; Clement *et al.*, 2003; Thomas *et al.*, 2015; Levis *et al.*,

2017), associação que parece ser mais forte nas regiões da Amazônia Central e Oriental, sugerindo ser a região sudoeste da Amazônia o centro de dispersão dessa espécie (Thomas et al., 2015). Essa hipótese parece ser corroborada pelo padrão de distribuição espacial não agregado na região sudoeste da Amazônia (Wadt et al., 2005), enquanto a distribuição agregada é predominante nas regiões central e oriental (Baider, 2000; Salomão, 2009; Scoles; Gribel, 2011; Ribeiro et al., 2014a), formando os chamados castanhais, que seriam um indicativo da dispersão por populações humanas (Thomas et al., 2015). Entretanto, estudos também demonstram a importância de roedores de médio porte, principalmente de cutias (*Dasyprocta* sp.), na formação e manutenção de castanhais. As cutias, consideradas o principal predador e dispersor não humano da castanheira-da-amazônia, possuem o hábito de enterrar parte das sementes para consumo futuro, contribuindo para a dispersão da espécie em escala local e, conseqüentemente, para a regeneração das populações dessa castanheira (Peres; Baider, 1997; Haugaasen et al., 2010; Jansen et al., 2012).

Alguns estudos buscaram compreender o processo de dispersão e diferenciação da castanheira-da-amazônia na Bacia Amazônica a partir de comparações da estrutura e diversidade genética entre populações de castanheiras de diferentes localidades e regiões (O'Malley et al., 1988; Kanashiro et al., 1997; Gribel et al., 2007; Sujii et al., 2015; Thomas et al., 2015). De forma geral, estes estudos encontraram uma baixa diversidade genética entre populações de *B. excelsa* ao longo da Bacia Amazônica, considerando populações distantes centenas ou alguns milhares de quilômetros umas das outras, o que sugere uma irradiação rápida desta espécie na região que não poderia ser explicada apenas pela ação de dispersores não humanos, corroborando com a hipótese de que as populações indígenas pré-colombianas tiveram um importante papel expansão da distribuição desta espécie na Amazônia.

Adicionalmente, populações de castanheira-da-amazônia parecem ser mais jovens em áreas com ocupação humana pré e pós-colonial mais intensa, sugerindo que a atividade e o manejo humano favorecem o recrutamento de castanheiras (Scoles; Gribel, 2011; ver Thomas et al., 2015), hipótese corroborada pela análise de anéis de crescimento de castanheiras de uma localidade na Amazônia Central, que indicou que os pulsos de recrutamento da população nos últimos 300 anos coincidiram com períodos de alta atividade indígena e, posteriormente, de seringueiros na região (Andrade, 2017). A alta proporção de plântulas e jovens encontrados em alguns castanhais explorados em comparação com áreas pouco ou não exploradas atualmente (Ribeiro et al., 2014a; Sousa et al., 2014; Scoles; Gribel, 2015) reforça

o papel das populações indígenas e extrativistas para a formação e manutenção dos castanhais.

Variações fenotípicas encontradas entre distintas populações de castanheiras-da-amazônia, incluindo populações que produzem sementes extremamente grandes (> 7 cm de comprimento) ou populações cujas castanheiras apresentam copas excepcionalmente baixas, sugerem ainda que populações indígenas tenham atuado na seleção destas características (H. C. Müller, comunicação pessoal citado por Shepard Junior; Ramirez, 2011). Embora o manejo intencional por populações indígenas passadas, como a seleção de sementes, o plantio e a proteção de mudas, pode ter tido uma influência direta na distribuição e abundância das castanheiras, as práticas não intencionais desses povos provavelmente também tiveram papel fundamental (ver Shepard Junior; Ramirez, 2011; Ribeiro et al., 2014a; Thomas et al., 2015; Levis et al., 2018). Diversos estudos indicam que o crescimento dessa espécie é favorecido em áreas com alta incidência de luz, como clareiras, roçados e florestas secundárias (Myers et al., 2000; Cotta et al., 2008; Paiva et al., 2011; Guedes et al., 2014; Scoles et al., 2014; Scoles; Gribel, 2015), o que reforça o papel que a atividade humana não intencional provavelmente teve e tem na distribuição atual das populações de castanheira-da-amazônia.

Embora haja um conjunto expressivo de evidências que indicam a importância dos seres humanos como dispersores da castanheira-da-amazônia ao longo da Bacia Amazônica nos últimos milhares de anos, é fundamental destacar que a distribuição geográfica atual desta espécie é provavelmente resultado de uma complexa combinação de fatores ecológicos e históricos, incluindo, além da influência humana e de condições ambientais, dinâmicas de mudanças climáticas nos períodos glaciais e interglaciais, que resultaram em retrações e expansões das fisionomias florestais amazônicas (Thomas et al., 2014), assim como da presença de outros predadores e dispersores de sementes ao longo do espaço e do tempo. Espécies da megafauna amazônica atualmente extintas, em especial grandes roedores (Guimarães et al., 2008), provavelmente também influenciaram o padrão de dispersão desta espécie em larga escala desde muito antes da chegada das populações humanas na região amazônica, além de terem moldado a evolução das características dos frutos e sementes dessa castanheira (Thomas et al., 2015). É possível que a extinção dos grandes herbívoros na região amazônica, a qual parece ter sido influenciada pela chegada das primeiras populações humanas às Américas (Sandom et al., 2014), possa ainda ter tido um impacto indireto na distribuição e abundância das castanheiras-da-amazônia,

já que a pressão que estes animais exerciam sobre as comunidades vegetais, principalmente por meio da herbivoria e de impactos físicos sobre a estrutura da vegetação, provavelmente representava um fator de controle para as populações de muitas espécies de plantas lenhosas (Malhi et al., 2016). Thomas et al. (2015) sugerem que as alterações climáticas, a megafauna e gradientes ambientais em escala continental moldaram a distribuição dessa espécie de castanheira na Amazônia desde tempos remotos e formaram o pano de fundo sobre o qual as populações indígenas amazônicas atuaram, modificando e expandindo sua distribuição ao longo da Bacia Amazônica.

É importante ainda ressaltar que as hipóteses de dispersão da castanha-da-amazônia ao longo da região amazônica são dependentes do conhecimento sobre a ocorrência, densidade e distribuição geográfica desta espécie, assim como de outros fatores, como a distribuição das áreas de terra preta e de sítios arqueológicos, o que, por sua vez, são dependentes do esforço de coleta de dados em cada região. Apesar de apresentar grandes extensões e altas densidades de castanheiras com distribuição tanto agregada, quanto não agregada (ver Ribeiro et al., 2014b), assim como sítios arqueológicos abundantes não documentados (MBNR e AJ, obs. pessoal; Schwartzman et al., 2013), o sudeste do Pará, em especial os territórios indígenas do médio Rio Xingu, é geralmente subrepresentado na maioria dos mapas de distribuição da castanha-da-amazônia e de sítios arqueológicos.

Manejo por povos indígenas contemporâneos: o caso dos Kayapó do sudeste do Pará

Devido à sua ampla distribuição geográfica, alta abundância e valor nutricional, a castanha-da-amazônia é amplamente utilizada por povos indígenas contemporâneos da Amazônia para alimentação, como fonte de óleos, proteína e vitaminas (Clement, 1999). Estes povos, assim como outras populações tradicionais que habitam a região amazônica, como quilombolas e ribeirinhos (Duchelle et al., 2014; Scoles; Gribel, 2012; Santos, 2021), vêm manejando os castanhais para a subsistência de suas famílias. Além disso, por ser um produto consolidado e valorizado tanto no mercado nacional quanto no internacional e devido ao fato de a grande maioria dos castanhais serem silvestres, a castanha é um dos principais produtos florestais não madeireiros comercializados na região amazônica, contribuindo para o sustento de milhares de famílias (Toledo et al., 2016).

Na porção paraense da Bacia do Rio Xingu, a castanha-da-amazônia é um dos principais produtos extrativistas consumidos e comercializados pelas populações indígenas e ribeirinhas que habitam essa região. As florestas do Xingu apresentam uma alta densidade de castanhais (Ribeiro et al. 2014b, Santos 2021), provavelmente manejados há séculos por populações indígenas ancestrais que habitaram a região. Hoje, esses castanhais representam uma importante fonte de alimento e de renda para diversos povos que habitam e manejam as florestas do Corredor de Áreas Protegidas do Xingu (Schwartzman et al., 2013; Villas-Bôas, 2012; Ribeiro; Villas-Bôas, 2019; Balée et al., 2020; Santos, 2021), entre eles, os Mebêngôkre-Kayapó.

O Povo Mebêngôkre-Kayapó e sua relação com a castanha-da-amazônia

Os Mebêngôkre-Kayapó são um povo indígena pertencente ao tronco linguístico Macro-Jê, família linguística Jê, que provavelmente originou-se na região de cerrados entre os rios Araguaia e Tocantins. De hábitos tradicionalmente seminômades, migraram para a margem oeste do Tocantins há, pelo menos, 170 anos, após cisões internas que deram origem a outros grupos Mebêngôkre, dentre eles o grupo ancestral dos atuais Mebêngôkre-Xikrin. A partir de então, se espalharam ao longo da Bacia do Rio Xingu, alcançando a margem direita do Rio Tapajós (Arnaud, 1987; Turner, 1992). Hoje, os Mebêngôkre-Kayapó - ou Kayapó - habitam mais de 100 aldeias localizadas em sete Terras Indígenas (TIs) que, juntas, ocupam uma área de cerca de 11 milhões de hectares no centro-sul do estado do Pará e norte de Mato Grosso (Figura 1). Apesar de os primeiros contatos dos Kayapó com a sociedade não indígena terem ocorrido antes da década de 50 (Arnaud, 1987) e da intensificação das relações com a mesma nas últimas décadas, este grupo indígena ainda mantém uma forte identidade cultural: falam sua própria língua, possuem uma organização social e política próprias, mantém uma grande variedade de práticas tradicionais, incluindo complexos rituais, a pintura corporal, a confecção de uma grande diversidade de adornos, práticas tradicionais de prevenção e cura, agricultura de subsistência, a coleta de uma grande variedade de produtos do extrativismo, a caça e a pesca (Ribeiro; Villas-Bôas, 2019).

A travessia do grupo ancestral dos Kayapó contemporâneos para a margem esquerda do Rio Araguaia consolidou sua íntima relação com a floresta Amazônica e com suas espécies, incluindo a castanheira-da-amazônia. No entanto, os Kayapó provavelmente já perambulavam nas regiões florestais da Amazônia antes de se estabelecerem de fato nela, já que muitos de seus mitos tradicionais incluem elementos florestais (Vidal, 1977). Anciões Kayapó contam que, antes do contato com a sociedade não indígena, quando ainda habitavam regiões de cerrado, o

povo Kayapó costumava fazer longas incursões às florestas para coletar castanha-da-amazônia, espécie utilizada para subsistência e presente em mitos e histórias há gerações (Robert, 2009).

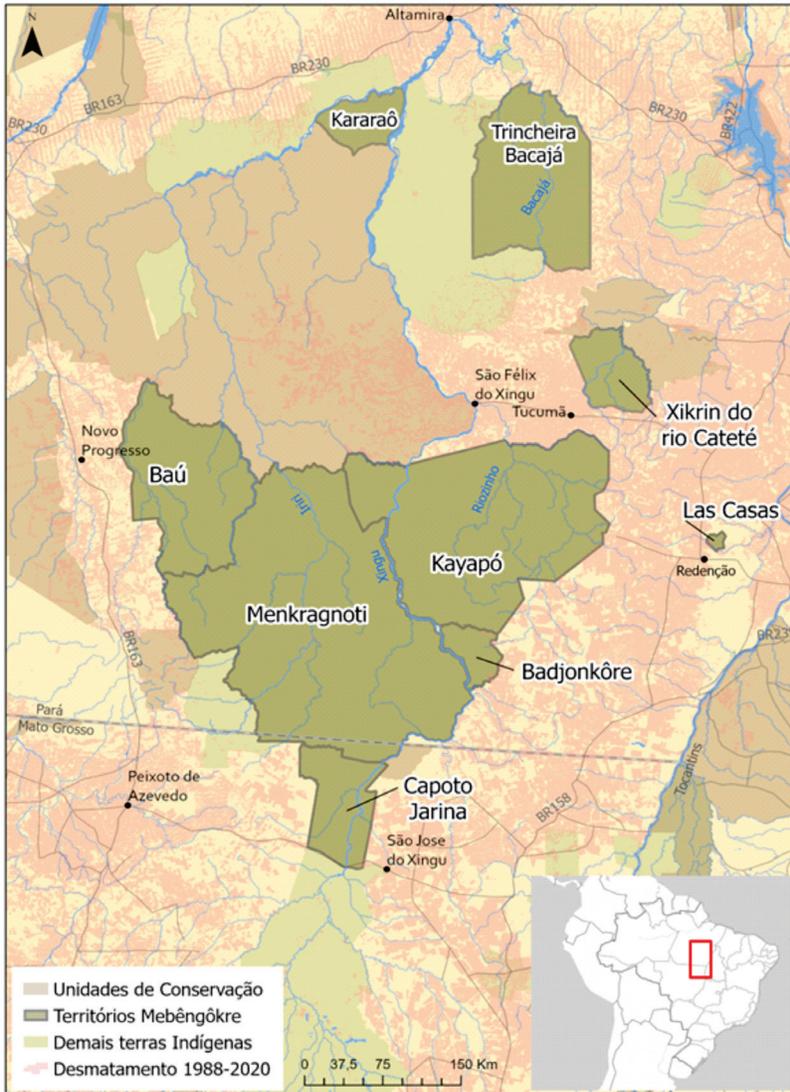


Figura 1. Localização das Terras Indígenas do povo Mebêngôkre, no sudeste da Amazônia.

Fonte: Associação Floresta Protegida/Desmatamento, com base no Prodes (INPE).

Na Bacia do Xingu, os Kayapó tiveram uma longa história de conflitos com populações extrativistas nas primeiras décadas do século XX. Após os primeiros contatos pacíficos com equipes do Serviço de Proteção ao Índio (SPI - órgão do governo substituído pela FUNAI em 1967), nas décadas de 40 e 50, os conflitos entre índios e a sociedade envolvente foram reduzidos. Foi por intermédio do SPI que os Kayapó iniciaram a comercialização de castanha-da-amazônia em meados da década de 50 (Arnaud, 1987). A partir da década de 70, os territórios Kayapó passaram a ser ameaçados pela expansão da fronteira de colonização associada à política do governo brasileiro de incentivo à colonização da região Norte, que fomentou a abertura de estradas, o estabelecimento de assentamentos, a expansão da pecuária, do garimpo de ouro e da exploração madeireira (Arnaud, 1987). Nas décadas de 80 e 90, os Kayapó se envolveram com a exploração de ouro e a extração de mogno (*Swietenia macrophylla*) em seus territórios (Zimmerman et al., 2001), período em que a comercialização da castanha-da-amazônia foi reduzida significativamente, chegando a cessar nas comunidades mais envolvidas com essas atividades. Em meados de 2000, a exploração de ouro e a extração de mogno foram interrompidas na maioria das comunidades, como resultado da queda do preço do ouro, da repressão por parte dos órgãos governamentais, de barreiras comerciais impostas pelos mercados internacionais, assim como pelo próprio esgotamento dos estoques de mogno na região (Schwartzman; Zimmerman, 2005). Nesse período, o governo e organizações socioambientais da sociedade civil passaram a apoiar o desenvolvimento de alternativas sustentáveis de geração de renda junto às comunidades Kayapó como estratégia para reduzir a vulnerabilidade destas ao envolvimento com atividades ilegais (Zimmerman et al., 2001).

A comercialização de castanha-da-amazônia e seus derivados passou a figurar neste cenário como a alternativa de geração de renda mais promissora para muitas das comunidades Kayapó por vários motivos, dentre os quais destacam-se: (i) o fato de sua exploração ser uma atividade tradicional sobre a qual os Kayapó têm profundo conhecimento e domínio; (ii) a castanha-da-amazônia ser um recurso abundante nas florestas da região, o que favorece a sustentabilidade de sua coleta, assim como sua viabilidade econômica; (iii) a existência de mercados consumidores consolidados para essa castanha, tanto no Brasil quanto no exterior; (iv) a compatibilidade entre o volume de recursos gerados pela comercialização dessa castanha e a capacidade de gestão das comunidades Kayapó; (v) e o fato de a maioria das famílias e de seus membros, tanto mulheres e homens quanto jovens, adultos e idosos, participarem da coleta de castanha, o que contribui para que a renda gerada seja bem distribuída nas comunidades (Jerzolimski; Ribeiro, 2011).

Como a coleta de castanha é realizada em florestas nativas preservadas e os castanhais apresentam ampla distribuição nos territórios Kayapó, esta atividade também contribui para o monitoramento territorial, inibindo a ocorrência de atividades ilegais e predatórias e contribuindo, portanto, para a proteção das florestas da região. Devido ao fato de muitos castanhais estarem localizados em regiões distantes das aldeias, durante a coleta de castanha, os Kayapó têm acesso a recursos florestais que não ocorrem nas proximidades das aldeias e, assim, também desenvolvem outras atividades extrativistas, como a caça, a pesca e a coleta de mel, frutos, remédios tradicionais, fibras e outros materiais utilizados na confecção de artesanatos. Por fim, a longa permanência das famílias nos acampamentos de coleta de castanha proporciona oportunidades para o fortalecimento e a transmissão de conhecimentos tradicionais entre gerações, incluindo o manejo de diversos recursos naturais, assim como práticas da cultura material e imaterial Kayapó, incluindo a pintura corporal, cantos e a contação de histórias e mitos (Robert, 2009; Jerozolimski; Ribeiro, 2011).

Nas últimas três décadas, além da venda da castanha-da-amazônia pelos Kayapó nos mercados locais, algumas iniciativas merecem ser destacadas: entre 1991 e 2003, as comunidades Kayapó de A'Ukre (TI Kayapó) e Pukany (TI Menkragnoti) produziram e comercializaram óleo de castanha para a The Body Shop, empresa de cosméticos inglesa (Clay, 2002; Morsello, 2002). Na segunda metade dos anos 2000, as comunidades Kayapó de Baú (TI Baú), Kubenkókre e Pukany (TI Menkragnoti) também participaram de iniciativa de produção e comercialização de óleo de castanha a ser destinado, essencialmente, a empresas do setor de cosméticos (Silva; May, 2011). O fato de o setor de cosméticos absorver apenas uma pequena fração da produção total de castanha-da-amazônia, associado à intensa dinâmica de alterações de produtos cosméticos e de seus componentes, contribuíram para uma interrupção precoce destas iniciativas. A maioria das comunidades Kayapó dos três territórios mencionados continuou a explorar a castanha, mas direcionando suas produções ao mercado alimentício, setor responsável por absorver a maior parte da produção total de castanha e que tem demonstrado maior estabilidade, apesar das grandes flutuações de preços associadas às igualmente grandes variações de oferta e demanda. Atualmente, iniciativas de fortalecimento da coleta e comercialização de castanha para o mercado alimentício vêm sendo desenvolvidas na TI Kayapó e região nordeste da TI Menkragnoti, assim como nas demais regiões da TI Menkragnoti e da TI Baú, pela Associação Floresta Protegida e pelo Instituto Kabu, respectivamente.

A coleta e o manejo pelos Kayapó

Nesta seção são apresentadas informações sobre o manejo realizado por populações contemporâneas do povo Kayapó obtidas entre os anos de 2007 e 2011, nas aldeias Kayapó de A'Ukre, Moikarakô e Kikretum, na TI Kayapó, sul do Pará, no âmbito do Projeto de doutorado de Maria Beatriz N. Ribeiro (Ribeiro, 2011). São apresentados também dados não publicados coletados no período do projeto, a partir de (i) 98 entrevistas realizadas entre outubro de 2007 e fevereiro de 2009 com coletores e coletoras Kayapó - 37 da aldeia A'Ukre, 32 da aldeia Moikarakô e 29 da aldeia Kikretum; e do (ii) acompanhamento de duas expedições de coleta de castanha durante os anos de 2009 e 2010, em 11 castanhais destas três aldeias. No total foram acompanhados 60 indígenas de 36 famílias diferentes.

Existem dezenas de castanhais nos territórios das aldeias estudadas (Ribeiro et al., 2014b) e a organização social dos Kayapó para a coleta da castanha varia dependendo de um conjunto de fatores como a distância e a facilidade de acesso ao castanhal a partir da aldeia, o tamanho do castanhal e o reconhecimento da posse do castanhal por uma liderança ou grupo familiar. A coleta da castanha é realizada por homens e mulheres, normalmente organizados em grupos familiares ou por categoria de idade (Figura 2).



Foto: Adriano Jerozolimski / Associação Floresta Protegida

Figura 2. Casal Kayapó durante a quebra de ouriços da castanheira-da-amazônia na Terra Indígena Kayapó, PA.

Em castanhais localizados próximos das aldeias, a coleta é normalmente feita por indivíduos ou grupos familiares em expedições diárias. Já em castanhais grandes e distantes das aldeias, a coleta é normalmente feita de forma coletiva, podendo envolver quase a totalidade das famílias de uma comunidade, por períodos mais longos, permanecendo acampados na floresta por algumas semanas.

Durante o processo de coleta da castanha, diferentes práticas de manejo, intencionais e não intencionais, com potencial de interferir no recrutamento e na distribuição de castanheiras são realizadas pelos Kayapó, as quais são detalhadas a seguir.

a. **Seletividade na coleta**

Os Kayapó são seletivos, intencionalmente ou não, na coleta de castanha-da-amazônia em diversas escalas espaciais: paisagem, castanhais e castanheiras. Embora castanhais sejam muito abundantes nos territórios das aldeias Kayapó estudadas, estimou-se que apenas cerca de 30% deles estavam sendo explorados (Ribeiro et al., 2014b), em geral, aqueles mais acessíveis e aqueles com as maiores quantidades e densidades de castanheiras. Com o uso de imagens de satélite de alta resolução e expedições de checagem *in loco*, foi possível localizar diversos castanhais nos territórios das mencionadas aldeias que não eram conhecidos pelas comunidades Kayapó e que, portanto, não estavam sendo explorados, normalmente localizados em regiões mais distantes das aldeias e dos principais rios e igarapés (Ribeiro et al., 2014b).

Dentro dos castanhais, os Kayapó normalmente selecionam as castanheiras mais próximas à trilha principal e aquelas com alta produção de frutos. Em geral, quando o objetivo é a coleta para subsistência da própria família, os Kayapó apresentam preferência por castanheiras que produzem castanhas grandes, cuja localização já é de conhecimento e, muitas vezes, propriedade de determinadas famílias. Nas entrevistas, 80% dos entrevistados declararam coletar apenas castanhas grandes para subsistência. Para comercialização, no entanto, 61,6% dos entrevistados declararam não serem seletivos quanto ao tamanho das castanhas (Figura 3).

Os Kayapó também selecionam intencionalmente frutos e sementes por critérios de qualidade. Os coletores descartam frutos e sementes novos quando identificam um odor característico, normalmente causado pelo acúmulo de água da chuva por longos períodos dentro de frutos que caem com o orifício (opérculo) voltado para cima, assim como sementes consideradas estragadas. Quando, a partir de

uma amostragem inicial dos frutos e sementes de uma castanheira, identificam a totalidade ou grande proporção de frutos com sementes predadas por pica-paus (Figura 4), interrompem a coleta de frutos daquela castanheira e mudam para outra. A contagem do número de sementes em uma amostra de 25 frutos de uma árvore onde a coleta pelos Kayapó foi abandonada por considerarem que havia uma alta taxa de sementes danificadas por pica-paus, revelou que 57,3% das mesmas estavam intactas.



Foto: Adriano Jerolimski / Associação Floresta Protegida

Figura 3. Variedade de tamanhos de sementes de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*) encontrada na Terra Indígena Kayapó, PA.

Apesar de a maioria dos coletores (86,5% dos entrevistados) declarar que coleta todos os frutos das castanheiras que inspecionam, na prática sobram frutos sob praticamente todas elas. Imediatamente após a coleta, havia frutos não coletados sob 100% das 34 castanheiras em que a coleta foi acompanhada. Destas, a porcentagem média de frutos coletados foi de $66,4 \pm 28,6\%$ de todos os frutos da safra encontrados abaixo da copa, incluindo frutos intactos e aqueles já abertos por cutias (média de 7,7% do total). Considerando que apenas $52,7 \pm 23,6\%$ das castanheiras ($n=65$) foram exploradas nesses castanhais nas safras de 2009 e 2010, a quantidade de frutos coletados equivale a aproximadamente 35% dos frutos

totais produzidos nos castanhais. Não foram consideradas, nessa estimativa, as sementes constantemente descartadas ou perdidas durante o processo de quebra dos ouriços (Ribeiro, 2011), nem os frutos que ainda não haviam caído quando a coleta ocorreu, pois na TI Kayapó a queda dos ouriços ocorre por um período de cerca de três meses, entre o final de novembro e o início de março.

Foto: Adriano Jerozolimski / Associação Floresta Protegida



Figura 4. Ouriço de castanha-da-amazônia com sinal típico de predação por pica-pau (orifício da esquerda, ao lado do opérculo localizado à direita), na Terra Indígena Kayapó, PA.

Embora a coleta dos frutos no final da safra, quando todos os frutos já caíram, seja mais prudente para reduzir riscos de acidentes devido à queda de ouriços, as castanhas utilizadas para subsistência geralmente são coletadas mais cedo. Dependendo da demanda por recursos pelos indígenas no final do ano e de oportunidades de comercialização, as castanhas também são coletadas no início da safra. Se a produção de frutos for alta na safra, um mesmo indivíduo ou família pode coletar castanhas de uma mesma castanheira por mais de uma vez. Entretanto, como os coletores inevitavelmente avaliam a relação custo/benefício de retornar à uma árvore na qual já coletou frutos, árvores nas quais restaram poucos frutos para cair provavelmente não serão mais visitadas naquela safra. Independente da época

em que a coleta ocorre durante a safra, o fato de o período de frutificação ser longo para esta espécie faz com que muitos dos frutos produzidos não sejam colhidos e fiquem, no solo da floresta, passíveis à ação de predadores e/ou dispersores não humanos. De forma geral, os Kayapó coletam apenas ouriços da safra, não explorando ouriços das safras passadas que são eventualmente encontrados sob as copas.

Em 2009 e 2010, com base nos registros da quantidade de castanha coletada pelas comunidades associadas à Associação Floresta Protegida e na estimativa do estoque total de castanha dos castanhais explorados e do território, estimou-se que os Kayapó tenham coletado de 7,2 a 43% das sementes produzidas nos castanhais explorados das três aldeias estudadas. Isto representaria apenas de 2,5 a 12,7% do total de sementes produzido pelas castanheiras de todo o território destas aldeias (Ribeiro et al. 2014b), já que muitos castanhais não são explorados. Uma das práticas de manejo mais sugeridas para garantir a sustentabilidade da exploração de espécies cujos frutos e sementes são coletados consiste em deixar uma porcentagem dos frutos/sementes intactos (Peters, 1994). As distintas formas de seletividade que os Kayapó praticam na coleta da castanha mostram que isso tem sido feito pelos Kayapó, intencionalmente ou não.

b. *Dispersão de sementes*

Durante o transporte das sementes dos castanhais para os acampamentos e aldeias pelos coletores Kayapó (Figura 5) foram identificadas sementes que caíram dos paneiros (cestos) e/ou sacos nas trilhas e nos acampamentos (Ribeiro et al., 2014a), mostrando que ocorre uma dispersão não intencional de sementes de castanheira-da-amazônia pelos Kayapó. A densidade de plântulas de castanheira em trilhas que conectam os castanhais e a aldeia foi significativamente maior, em uma faixa de 2 m para cada lado da trilha ($28,6$ plântulas/ha \pm $67,09$), do que em transecções paralelas 100 m distantes destas ($1,2$ plântulas/ha \pm $2,1$). A densidade estimada de plântulas ao longo das trilhas fora dos castanhais foi de 2 a 4 vezes maior do que as densidades médias encontradas dentro dos próprios castanhais, enquanto as taxas de crescimento e mortalidade entre estes locais não foram significativamente diferentes (Ribeiro et al., 2014a).

Durante os trabalhos de campo, foram registradas, pelo menos, 15 plântulas e indivíduos jovens de castanheiras nos locais próximos ao rio onde os Kayapó fazem seus acampamentos e estocam temporariamente castanha-da-amazônia durante a época de coleta.



Figura 5. Castanhas-da-amazônia sendo transportadas em um “paneiro” tradicional por mulher Kayapó na Terra Indígena Kayapó, PA.

Foram encontradas também uma plântula e cinco indivíduos jovens de castanheira (de 6 a 10 cm DAP) ao longo de uma trilha utilizada há mais de 50 anos pelos Kayapó para transpor uma cachoeira do rio Riozinho, em localidade onde não há qualquer castanheira próxima. A dispersão de sementes por longas distâncias em trilhas dentro dos castanhais e entre castanhais, acampamentos, roças e aldeias, indica que a dispersão não intencional de sementes de castanheiras-da-amazônia pelos Kayapó é um importante mecanismo de expansão ou fundação de novos castanhais na paisagem (Ribeiro et al., 2014a).

c. *Plantio de castanheiras*

Além de as castanhas-da-amazônia serem dispersadas de forma não intencional e, eventualmente, se estabelecerem como plântulas nas trilhas e aldeias, a espécie também é intencionalmente plantada pelos Kayapó nas aldeias e roças. Foram encontrados vários indivíduos de castanheira nas três aldeias Kayapó estudadas, todos localizados a, no mínimo, 2 km de distância do castanhal mais próximo. Em um único dia de busca por indivíduos de castanheira-da-amazônia apenas nos quintais localizados imediatamente atrás das casas, foram encontrados um total de seis,

oito e 51 indivíduos nas aldeias Moikarakô, Kikretum e A'Ukre, respectivamente. Destes, 41,5% eram plântulas entre 30 e 150 cm de altura, 30,8% eram jovens entre 150 cm de altura e 10 cm de DAP, e três indivíduos eram adultos já produzindo sementes (Ribeiro et al. 2014a). Muitos Kayapó disseram ter plantado essas castanheiras, enquanto outros disseram que as mesmas cresceram no local onde usualmente armazenam as sementes nos quintais das casas. Um dos caciques de A'Ukre declarou que nas roças que havia aberto recentemente junto com outras famílias, a cerca de 7 km da aldeia, as mulheres haviam plantado várias mudas de castanheiras.

Dos 98 Kayapós entrevistados, 20,4% declararam que já plantaram pelo menos uma castanheira. Destes, 45% afirmaram ter plantado na aldeia, 45% nas roças e 15% na floresta quando encontraram castanhas germinando dentro de ouriços. Quanto ao motivo que os levou a plantar, 40% disseram que plantaram para ter castanhas mais perto de casa, 10% plantaram para ter mais castanheiras na floresta e 20% disseram ter plantado para seus filhos e netos terem castanha. Durante as entrevistas, os Kayapó citaram dois métodos principais de plantio de castanheiras. O primeiro é o plantio de sementes encontradas na floresta que já estão germinando. O segundo é citado principalmente pelos mais velhos e consiste em enterrar as castanhas coletadas em um grande buraco no solo, tanto nas roças quanto na aldeia, para mantê-las frescas e conservá-las para consumo ao longo do ano, prática citada também por Haugassen et al. (2012) como comum entre extrativistas coletores de castanha, e provavelmente herdada de populações indígenas. Eventualmente, algumas dessas sementes germinam nesses locais e são, então, transplantadas para outro local desejado. 41,7% dos Kayapós entrevistados afirmaram ter conhecimento sobre ancestrais que plantaram castanheiras e destes, 37,5% disseram que os ancestrais costumavam plantar as sementes que germinavam após terem sido enterradas, como descrito acima, e 32,5% afirmaram que seus ancestrais plantaram castanheiras em Pykatôtí, antigo aldeamento que foi abandonado antes do contato pacífico dos Kayapó com o SPI. Estes resultados corroboram a afirmação de Posey (1985) de que os Kayapó tradicionalmente plantam castanheiras-da-amazônia.

d. *Interação com predadores / dispersores de sementes*

Os castanhais, especialmente aqueles mais próximos às aldeias, são muito utilizados pelos Kayapó para a caça, em grande parte devido à extensa rede de trilhas interligando as castanheiras (Figura 6). Um estudo conduzido na

aldeia A'Ukre mostrou que a densidade de espécies de animais caçados nas proximidades da aldeia, incluindo áreas de castanhais, é significativamente menor que em áreas distantes da aldeia (Peres; Nascimento, 2006). As cutias, principal predador e dispersor de castanhas, figuram entre as espécies caçadas dentro dos castanhais. Em entrevistas realizadas com 64 homens Kayapó, 93,8% dos entrevistados afirmaram que costumam caçar em castanhais e 48,8% afirmaram já ter abatido cutias nos castanhais; destes, 53,8% abateram de uma a três cutias e 46,2% abateram mais de quatro cutias. Apesar de os entrevistados relatarem não ter preferência pelo consumo de carne de cutia, estes afirmaram abater cutias oportunisticamente com o objetivo de eliminar uma competidora pela coleta de sementes de castanheira-da-amazônia e uma eficiente predadora dos roçados de mandioca.

Foto: Adriano Jerzolinski / Associação Floresta Protegida



Figura 6. Indígena Kayapó leva sua arma para se proteger de onças e caçar durante a coleta de castanhas-da-amazônia na Terra Indígena Kayapó, PA.

Em experimentos de remoção de sementes de castanha, a taxa de remoção registrada em castanhais explorados foi a metade da taxa observada em castanhais não explorados e não sujeitos à caça, e a porcentagem de sementes removidas foi negativamente relacionada à densidade de plântulas nos castanhais (Ribeiro,

2011). Esses resultados sugerem que a redução de predadores de sementes em castanhais sujeitos à coleta pelos Kayapó, tanto devido à caça, quanto à simples presença dos Kayapó, pode aumentar a taxa de sobrevivência das sementes e resultar em um aumento na densidade de plântulas. A caça de cutias associada à coleta de castanha pode também contribuir para um aumento na probabilidade de estabelecimento de plântulas, a partir das sementes enterradas pelas cutias abatidas. Segundo Haugaasen et al. (2010), as cutias são muito eficientes para recuperar sementes de castanha que enterram, o que reduziria a probabilidade das mesmas se estabelecerem como plântulas. Entretanto, a probabilidade de estabelecimento de plântulas a partir de sementes enterradas poderia aumentar significativamente com o abate de cutias pelos Kayapó. O fato de a cutia ser tanto o principal o predador quanto o principal dispersor não humano de castanheiras faz com que novos estudos com foco nas relações entre este roedor, a castanheira-da-amazônia e os seres humanos sejam necessários para que os mecanismos que influenciam a regeneração de castanheiras em florestas manejadas por populações humanas sejam melhor compreendidos (Peres; Baider, 1997; Haugaasen et al., 2010, 2012; Jansen et al., 2012)

e. Outras práticas de manejo que podem favorecer as populações de castanheiras

A castanheira-da-amazônia é uma espécie heliófila, que se desenvolve bem em ambientes com grande disponibilidade de luz, incluindo ambientes florestais que tiveram sua estrutura alterada pela ação do ser humano (Myers et al., 2000; Scoles et al., 2012). Embora não quantificadas, outras formas de manejo intencional ou não intencional praticadas pelos Kayapó podem favorecer as populações de castanheiras por aumentarem a disponibilidade de luz para plântulas, jovens e adultos. O uso frequente dos castanhais para outras atividades além da coleta de castanha, como a caça e a coleta de produtos extrativistas, como frutas, mel, plantas medicinais e fibras para a confecção de artesanatos, provavelmente resulta em pequenos distúrbios na estrutura da floresta que podem aumentar a quantidade de luz disponível nos estratos mais baixos de vegetação, favorecendo o crescimento dos indivíduos de castanheira (Myers et al., 2000; Scoles et al., 2012).

Além disso, foi observado o corte ocasional de lianas (cipós) ao redor de castanheiras pelos Kayapó, prática de manejo que tem sido realizada também por outras populações extrativistas na Amazônia com o objetivo de aumentar a produção das castanheiras (Kainer et al., 2006; Duchelle et al., 2014; Santos, 2021). Kainer et

al. (2014) mostraram que o corte de lianas pode aumentar em até três vezes a produção de frutos, provavelmente por meio da diminuição da competição por luz nas copas e por nutrientes e água nas raízes.

f. Práticas de manejo que podem prejudicar as populações de castanheiras

Além do consumo da castanha madura, os Kayapó relataram que seus antepassados costumavam consumir a castanha ainda verde (*piy karó*), um recurso tradicionalmente utilizado e para o qual existem, inclusive, lendas e músicas mebêngôkre (Robert, 2009). Em uma das aldeias estudadas, foram observados três indivíduos de castanheira derrubados pelos Kayapó dentro dos castanhais para coleta de frutos verdes, o que gerou grande discussão na comunidade e repreensão dos autores por parte das lideranças desta aldeia. Tradicionalmente, os Kayapó não derrubavam castanheiras e seus frutos verdes eram obtidos escalando-se a árvore. Porém, segundo relataram, desde que uma pessoa caiu de uma castanheira, eles pararam de escalar e o consumo de *piy karó* tornou-se raro (Ribeiro, 2011). Também foi observada, em algumas ocasiões, a derrubada de indivíduos de castanheira para uso de sua madeira em construções nas aldeias, especialmente para a produção de tábuas, devido ao porte desta espécie. Por representar, até o momento, um evento raro, a derrubada de indivíduos adultos de castanheira pelos indígenas Kayapó provavelmente tem um impacto reduzido na população dessa espécie na região. A derrubada de castanheiras também foi relatada para indígenas isolados do Povo Hi-Merimã do interflúvio do médio Juruá-Purus (Cangussu, 2021). Entretanto, ao contrário do que ocorre no território Kayapó, entre os Hi-Merimã essa parece ser uma prática comum, sendo inclusive apontada como uma das possíveis causas da baixa densidade de castanheiras encontrada naquela região (Cangussu, 2021).

Adicionalmente, os Kayapó ocasionalmente utilizam a envira (entrecasca) de indivíduos jovens de castanheiras para fazer a alça de cestos utilizados para o transporte da castanha e de outros produtos do extrativismo, como açáí, pequiá, bacaba e carne de caça (Ribeiro, 2011). Embora os Kayapó digam que a retirada da casca não afeta o crescimento da castanheira, não se sabe se a retirada intensiva de envira poderia influenciar a produção de frutos no futuro (ver Gaoue et al. 2013) ou aumentar a taxa de mortalidade dos indivíduos explorados.

Impactos da coleta para as populações de castanheiras

A avaliação dos impactos da coleta de castanha na regeneração de 20 castanhais da TI Kayapó com diferentes históricos e intensidades de exploração, incluindo cinco castanhais não explorados, mostrou que o número de anos durante o qual cada castanhal esteve sujeito à coleta de castanha está positivamente relacionado à densidade de plântulas de castanheiras de 30 cm a 1,5 m de altura (Figura 7; Ribeiro et al., 2014a). Ou seja, a coleta não intensiva de castanha, associada às práticas de manejo e/ou outras atividades desenvolvidas de maneira constante dentro dos castanhais pelos Kayapó, como a caça e a abertura de trilhas, parece favorecer a regeneração das populações de castanheiras ao invés de ameaçá-la. Esse resultado não apenas corrobora outros estudos que demonstraram que a coleta de castanha é uma atividade sustentável até mesmo sob intensidade média a alta de coleta (Zuidema; Boot, 2002; Wadt et al., 2008), mas também fornece evidências de que o manejo por populações indígenas teve e ainda tem um papel positivo no recrutamento e na dispersão dessa espécie.



Foto: Adriano Jerzolimski / Associação Floresta Protegida

Figura 7. Plântula de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*) encontrada em castanhal na Terra Indígena Kayapó, PA.

Implicações para a conservação da castanheira-da-amazônia

Os resultados apresentados neste trabalho se somam a uma série de evidências que fortalecem a hipótese de que o manejo da castanheira-da-amazônia praticado ao longo dos últimos milhares de anos influenciou a distribuição geográfica desta espécie na Bacia Amazônica, influência que se soma a outros fatores, como as alterações climáticas e a atividade de dispersores atuais e extintos. Os padrões de regeneração observados nos castanhais na TI Kayapó indicam que os Kayapó potencialmente influenciaram e influenciam a abundância local e a distribuição desta espécie na paisagem. Dentre as práticas de manejo intencionais e não intencionais realizadas pelos Kayapó, destacam-se a coleta seletiva de sementes de castanha em diferentes escalas espaciais (Ribeiro et al., 2014b), a dispersão não intencional de sementes em trilhas e próximo das aldeias, o plantio de castanheiras (Posey, 1985; Ribeiro et al., 2014a) e o corte de lianas ao redor das castanheiras. Enquanto a coleta seletiva, o corte de lianas e a dispersão de sementes localmente favorecem o recrutamento de indivíduos dentro dos castanhais, a dispersão de sementes em trilhas e o plantio de castanheiras fora dos castanhais têm o potencial de ampliar sua distribuição na paisagem. Considerando que os Kayapó coletam castanha na região do Xingu há mais de um século e meio, e que muitas aldeias Kayapó mudaram de local várias vezes (Turner, 1992; Verswijver, 2018), é provável que a dispersão e o plantio de castanheiras pelos Kayapó tenham influenciado sua distribuição espacial em uma área significativa da Bacia do Rio Xingu.

Algumas outras práticas realizadas pelos Kayapó com potencial de influenciar indiretamente e de forma positiva o recrutamento das castanheiras são a caça e, de forma geral, o manejo de outros recursos florestais. Estas atividades podem resultar tanto em perturbações na estrutura da floresta, aumentando a disponibilidade de luz, quanto em alterações na presença e atividade de predadores e dispersores de castanheiras. Apesar de ter sido um evento raramente observado neste estudo, o corte de castanheiras, por sua vez, é a atividade que mais poderia afetar negativamente as populações de castanheiras, por causar a morte de indivíduos adultos em idade reprodutiva. Entretanto, é inquestionável que, atualmente, as atividades que mais ameaçam os castanhais na TI Kayapó são a exploração madeireira e a potencial extração ilegal de castanheiras, assim como o garimpo de ouro, atividade que causa, além da destruição e contaminação de rios, a supressão de florestas em regiões de ocorrência de castanhais. Apenas entre 2018 e 2020,

4.763 hectares de floresta foram desmatados devido ao garimpo de ouro na TI Kayapó (Rede Xingu+, 2021), fato que explicita a necessidade urgente de adoção de estratégias mais efetivas de proteção deste território, tanto por parte do Estado, quando das comunidades Kayapó das regiões afetadas.

Apesar de a castanheira-da-amazônia ser uma espécie amplamente explorada pelas populações indígenas, tanto para subsistência quanto para comercialização, há poucos estudos avaliando as práticas de manejo realizadas por outros povos com potencial de beneficiar as populações de castanheiras. As práticas de manejo relatadas em outros estudos com povos indígenas e ribeirinhos incluem, principalmente, o corte de lianas (Kainer et al., 2006; Santos, 2021; Duchelle et al., 2014; Shepard Junior; Ramirez, 2011), a proteção de indivíduos de castanheira (Pereira; Lescure, 1994; Paiva et al., 2011) e o plantio de mudas (Shepard Junior; Ramirez, 2011; Levis et al., 2018). Pelo fato de as práticas de manejo de castanheiras utilizadas pelos Kayapó serem simples e, de certa forma, previsíveis no contexto de populações com relativo grau de isolamento, como a dispersão não intencional de castanhas em trilhas e acampamentos, é provável que outros povos indígenas ou tradicionais realizem manejo semelhante desta espécie em diversas outras regiões da Amazônia, uma vez que as práticas de manejo observadas são comuns às realizadas com outras espécies de plantas úteis na Amazônia (Levis et al., 2018).

A avaliação do impacto da coleta para fins comerciais nos castanhais da TI Kayapó mostrou que a coleta de baixa a média intensidade realizada pelos Kayapó não impacta negativamente as populações de castanheiras exploradas. Pelo contrário, castanhais explorados com maior frequência apresentam maior densidade de plântulas, indicando que as práticas de manejo utilizadas pelos Kayapó afetam os castanhais de forma positiva (Ribeiro et al., 2014a). Apesar das grandes quantidades de castanha-da-amazônia comercializadas, os Kayapó coletaram uma proporção relativamente baixa da produção dos castanhais, pelo menos até o ano de 2010. Nos últimos anos, no entanto, houve um aumento expressivo na comercialização de castanha pelas comunidades da TI Kayapó e ainda não conhecemos os possíveis impactos do aumento da intensidade da coleta sobre o recrutamento dessa espécie nos castanhais explorados (ver Peres et al., 2003). Espera-se que em anos com alta demanda e baixa produção de frutos, a pressão sobre os castanhais seja maior (Ribeiro et al., 2014b), apesar de o esforço de coleta da castanha e, por consequência, a eficiência de coleta em diferentes escalas, depender não apenas da demanda de mercado e da produtividade naquele ano, mas também de diversos

outros fatores culturais e econômicos que podem variar de ano para ano, como por exemplo a disponibilidade de recursos de outros projetos para suprir as demandas financeiras das comunidades Kayapó. No entanto, estudos indicam que até níveis bem mais altos de coleta parecem ser sustentáveis em castanhais de outras regiões (Zuidema; Boot, 2002; Wadt et al., 2008).

Na TI Kayapó, é provável que a alta abundância de castanhais na paisagem (Ribeiro et al., 2014b) e as práticas de manejo intencionais ou não de castanheiras realizadas pelos coletores Kayapó possam compensar uma maior intensidade de exploração. Adicionalmente, características intrínsecas da biologia desta espécie podem contribuir para a manutenção do recrutamento nas populações exploradas, mesmo diante de uma maior pressão de exploração. O fato de o seu período de frutificação ser longo (mais de 3 meses) favorece a atuação dos dispersores não humanos, já que dificilmente os coletores Kayapó conseguem coletar todos os frutos da mesma árvore na safra. Além disso, diferentemente do corte de indivíduos adultos, a coleta de sementes não traz um impacto imediato à população de castanheiras, mas sim à disponibilidade de sementes que poderão originar plântulas que, por sua vez, poderão se estabelecer e gerar indivíduos adultos. O fato da castanheira ser uma espécie extremamente longeva faz com que o impacto de anos, ou mesmo décadas, de coleta de sementes seja diluído ao longo do extenso período reprodutivo de cada castanheira. Por fim, a baixa densidade de plântulas encontrada em castanhais não explorados pode indicar (a) que as taxas de recrutamento nestes locais podem ser naturalmente baixas, mas suficientes para garantir a substituição de indivíduos, ou (b) que é necessário algum nível de interferência humana para a manutenção dos castanhais no longo prazo, o que pode ter implicações para o manejo e a conservação dessa espécie, especialmente dentro de Unidades de Conservação que não permitem em seu interior a presença de populações humanas.

Os Territórios Indígenas legalmente reconhecidos representam hoje aproximadamente 23% da Amazônia Legal brasileira (Instituto Socioambiental, 2021) e 30% da Bacia Amazônica (Walker et al., 2020), e incluem áreas significativas da distribuição geográfica da castanheira. Apesar das crescentes ameaças à sua integridade, essas áreas têm desempenhado um papel fundamental no controle do avanço do desmatamento, em grande parte devido ao protagonismo das populações indígenas em sua proteção. Além de protegerem as florestas e os castanhais de seus territórios contra as pressões resultantes das dinâmicas econômicas predatórias dos entornos, os povos indígenas vêm manejando intencional e não

intencionalmente as populações de castanheiras, o que, no caso dos Kayapó, parece impactar positivamente esta espécie. Para os povos indígenas, a coleta da castanha tem contribuído não apenas para a soberania alimentar, saúde e autonomia econômica de suas populações, mas também para a manutenção de suas culturas e práticas tradicionais de manejo das florestas. Esta relação mútua vem sendo construída há milênios e deve ser respeitada e preservada para as gerações futuras.

Referências

- ANDRADE, V. L. C. **A história humana através dos padrões de recrutamento e trajetórias de crescimento de *Bertholletia excelsa* em um castanhal na Amazônia Central**. 2017. 38 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais: Manejo Florestal) - Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.
- ARNAUD, E. A expansão dos índios Kayapó-Gorotire e a ocupação nacional (Região Sul do Pará). In: ARNAULD, E. (ed.). **O Índio e a expansão nacional**. Belém, PA: Cejup, 1987. p. 427-495.
- BAIDER, C. **Demografia e ecologia de dispersão de frutos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (Lecythidaceae) em castanhais silvestres da Amazônia Oriental**. 2000. 231 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BALÉE, W. The culture of Amazonian forests. In: POSEY, D. A.; BALÉE, W. (ed). **Resource management in Amazonia: indigenous and folk strategies**. New York: New York Botanical Garden, 1989. p. 1-21. (Advances in economic botany, v. 7).
- BALÉE, W.; OLIVEIRA, V. H.; SANTOS, R.; AMARAL, M.; ROCHA, B.; GUERRERO, N.; SCHWARTZMAN, S.; TORRES, M.; PEZZUTI, J. Ancient transformation, current conservation: Traditional forest management on the Iriri River, Brazilian Amazonia. **Human Ecology**, v. 48, n. 1, p. 1-15, Mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-020-00139-3>.
- CANGUSSU, D. **Manual Indigenista Mateiro: princípios de botânica e arqueologia aplicados ao monitoramento e proteção dos territórios dos povos indígenas isolados na Amazônia**. 2021. 136 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Áreas Protegidas na Amazônia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.
- CLAY, J. Os Kayapó e a Body Shop: a parceria de comércio com ajuda. In: ANDERSON, A.; CLAY, J. (ed.). **Esverdeando a Amazônia**. São Paulo: Peirópolis; Brasília, DF: IIEB, 2002. p. 31-51.
- CLEMENT, C. R. 1492 and the loss of amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. **Economic Botany**, v. 53, n. 188, p. 188-202, Apr. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02866498>
- CLEMENT, C. R.; MCCANN, J. M.; SMITH, N. J. H. Agrobiodiversity in Amazonia and its relationships with dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.; GLASE, B.; WOODS, W. (ed.). **Amazonian dark earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 159-178.

CLEMENT, C. R.; DENEVAN W. M.; HECKENBERGER M. J.; JUNQUEIRA A. B.; NEVES, E. G.; TEIXEIRA W. G.; WOODS W. I. The domestication of Amazonia before European conquest. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1812, p. 1-9, Aug. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0813>.

CLEMENT, C. R.; CASAS, A.; PARRA-RONDINEL, F. A.; LEVIS, C.; PERONI, N.; HANAZAKI, N.; CORTÉS-ZÁRRAGA, L.; RANGEL-LANDA, S.; ALVES, R. P.; FERREIRA, M. J.; CASSINO, M. F.; COELHO, S. D.; CRUZ-SORIANO, A.; PANCORBO-OLIVERA, M.; BLANCAS, J.; MARTÍNEZ-BALLESTÉ, A.; LEMES, G.; LOTERO-VELÁSQUEZ, E.; BERTIN, V. M.; MAZZOCHINI, G. G. Disentangling domestication from food production systems in the Neotropics. **Quaternary**, v. 4, n. 1, p. 1-35, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/quat4010004>

COTTA, J. N.; KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1-2, p. 28-35, July 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.026>

DENEVAN, W. M. The pristine myth: the landscape of the Americas in 1492. **Annals of the Association of American Geographers**. v. 82, n. 3, p. 369–385, Sept. 1992. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1992.tb01965.x>

DENEVAN, W. M. Semi-intensive pre-European cultivation and the origins of anthropogenic dark earths in Amazonia. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (ed.). **Amazonian dark earths: explorations reframing Pre-European Amazonia through an Anthropocene lens in space and time**. Berlin: Springer, 2004. p. 135–143.

DUCHELLE, A. E.; KAINER, K. A.; WADT, L. H. O. Is certification associated with better forest management and socioeconomic benefits? A comparative analysis of three certification schemes applied to Brazil nuts in Western Amazonia. **Society & Natural Resources**, v. 27, n. 2, p. 121-139, Feb. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/08941920.2013.840022>.

FAUSTO, C.; NEVES, E. Was there ever a Neolithic in the Neotropics? plant familiarization and biodiversity in the Amazon. **Antiquity**, v. 92, n. 366, p. 1604–1618, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.15184/aqy.2018.157>.

FRANCO-MORAES, J.; BANIWA, A. F. M. B.; COSTA, F. R. C.; LIMA, H. P.; CLEMENT, C. R.; SHEPARD JUNIOR, G. H. Historical landscape domestication in ancestral forests with nutrient-poor soils in northwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 446, p. 317–30, Aug. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.020>

FRASER, J.; TEIXEIRA, W.; FALCÃO, N. P. S.; WOODS, W. I.; LEHMANN, J.; JUNQUEIRA, A. B. Anthropogenic soils in the Central Amazon: From categories to a continuum. **Area**, v. 43, n. 3, p. 264-273, Sept. 2011. DOI: [10.1111/j.1475-4762.2011.00999.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2011.00999.x)

FURQUIM, L. P. **Arqueobotânica e mudanças socioeconômicas durante o Holoceno Médio no Sudoeste da Amazônia**. 2018. 264 f. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) - Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GAOUE, O. G.; HORVITZ, C. C.; TICKTIN, T.; STEINER, U. K.; TULJAPURKAR, S. Defoliation and bark harvesting affect life-history traits of a tropical tree. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 6, p. 1563-1571, Nov. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12140>

- GUEDES, M. C.; NEVES, E.; RODRIGUES, E. G.; PAIVA, P.; COSTA, J. B. P.; FREITAS, M. F.; LEMOS, L. M. 'Castanha na roça': expansão da produção e renovação dos castanhais em áreas de agricultura itinerante no Amapá, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 381-398, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.532>.
- GUIMARÃES, P. R.; GALETTI, M.; JORDANO, P. Seed dispersal anachronisms: rethinking the fruits extinct megafauna ate. **PLoS ONE**, v. 3, n. 3, e1745, Mar. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001745>
- GRIBEL, R.; LEMES, M. R.; BERNARDES, L. G.; PINTO, A. E.; SHEPARD Jr., G. H. Phylogeography of Brazil-nut tree (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae): evidence of human influence on the species distribution. In: ASSOCIATION FOR TROPICAL BIOLOGY AND CONSERVATION ANNUAL MEETING, 2007, Morelia, Mexico. **Linking tropical biology with human dimensions**: proceedings. Morelia: The Association for Tropical Biology and Conservation, 2007. p. 281.
- HAUGAASEN, J. M. T.; HAUGAASEN, T.; PERES, C. A.; GRIBEL, R.; WEGGE, P. Seed dispersal of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) by scatter-hoarding rodents in a central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 26, n. 3, p. 251–262, Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467410000027>
- HAUGAASEN, J. M. T.; HAUGAASEN, T.; PERES, C. A.; GRIBEL, R.; WEGGE, P. Fruit removal and natural seed dispersal of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in Central Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v. 44, n. 2, p. 205-210, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00796.x>.
- HECKENBERGER, M. J.; RUSSELL, J. C.; FAUSTO, C.; TONEY, J. R.; SCHMIDT, M. J.; PEREIRA, E.; FRANCHETTO, B.; KUIKURO, A. Pre-Columbian urbanism, anthropogenic landscapes, and the future of the Amazon. **Science**, v. 321, n. 5893, p. 1214-1217, Aug. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1159769>.
- HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; TER STEEGE, H.; BERMUDEZ, M. A.; MORA, A.; SEVINK, J.; HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; STEEGE, H. ter; BERMUDEZ, M. A.; MORA, A.; SEVINK, J.; SANMARTÍN, I.; SANCHEZ-MESEGUER, A.; ANDERSON, C. L.; FIGUEIREDO, J. P.; JARAMILLO, C.; RIFF, D.; NEGRI, F. R.; HOOGHIEMSTRA, H.; LUNDBERG, J.; STADLER, T.; SÄRKINEN, T.; ANTONELLI, A. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. **Science**, v. 330, n. 6006, p. 927-931, Nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1194585>.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Povos Indígenas no Brasil**. Disponível em: <https://pib.socioambiental.org/pt/Localiza%C3%A7%C3%A3o_e_extens%C3%A3o_das_TIs> Acesso em: 15 out. 2021.
- JANSEN, P. A.; HIRSH, B. T.; EMSSENS, W. J.; ZAMORA-GUTIERREZ, V.; WIKELSKI, M.; KAYS, R. Thieving rodents as substitute dispersers of megafaunal seeds. **PNAS**, v. 109, n. 31, p. 12610–12615, July 2012. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1205184109>
- JEROZOLIMSKI, A.; RIBEIRO, M. B. N. Castanha-do-brasil: geração de renda e proteção territorial. In: RICARDO, B.; RICARDO, F. (org.). **Povos indígenas no Brasil: 2006-2010**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2011. p. 451-454.
- JUNQUEIRA, A. B.; SHEPARD JUNIOR, G. H.; CLEMENT, C. R. Secondary forests on anthropogenic soils in Brazilian Amazonia conserve agrobiodiversity. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, p. 1933–1961, Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9813-1>
- KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; GOMES-SILVA, D. A. P.; CAPANU, M. Liana loads and their association with *Bertholletia excelsa* fruit and nut production, diameter growth and crown attributes. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 2, p. 147–154, Mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467405002981>.

KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Testing a silvicultural recommendation: Brazil nut responses 10 years after liana cutting. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, n. 3, p. 655-663, June 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12231>

KANASHIRO, M.; HARRIS, S. A.; SIMONS, A. RAPD diversity in Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae). **Silvae Genetica**, v. 46, n. 4, p. 219-223, Jan. 1997.

LEVIS, C.; COSTA, F. R. C.; BONGERS, F.; PEÑA-CLAROS, M.; CLEMENT, C. R.; JUNQUEIRA, A. B.; NEVES, E. G.; TAMANAHA, E. K.; FIGUEIREDO, F. O. G.; SALOMÃO, R. P.; CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; PHILLIPS, O. L.; GUEVARA, J. E.; SABATIER, D.; MOLINO, J.-F.; LÓPEZ D. C.; MENDOZA, A. M.; PITMAN, N. C. A.; DUQUE, A.; VARGAS, P. N.; ZARTMAN, C. E.; VASQUEZ, R.; ANDRADE, A.; CAMARGO, J. L.; FELDPAUSCH, T. R.; LAURANCE, S. G. W.; LAURANCE, W. F.; KILLEEN, T. J.; NASCIMENTO, H. E. M.; MONTERO, J. C.; MOSTACEDO, B.; AMARAL, I. L.; VIEIRA, I. C. G.; BRIENEN, R.; CASTELLANOS, H.; TERBORGH, J.; CARIM, M. J. V.; GUIMARÃES, J. R. S.; COELHO, L. S.; MATOS, F. D. A.; WITTMANN, F.; MOGOLLÓN, H. F.; DAMASCO, G.; DÁVILA, N.; GARCÍA-VILLACORTA, R.; CORONADO, E. N. H.; EMILIO, T.; FILHO, D. A. L.; SCHIETTI, J.; SOUZA, P.; TARGHETTA, N.; COMISKEY, J. A.; MARIMON, B. S.; MARIMON JR, B.-H.; NEILL, D.; ALONSO, A.; ARROYO, L.; CARVALHO, F. A.; SOUZA, F. C.; DALLMEIER, F.; PANSONATO, M. P.; DUIVENVOORDEN, J. F.; FINE, P. V. A.; STEVENSON, P. R.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; AYMARD, G. A.; BARALOTO, C.; AMARAL, D. D.; ENGEL, J.; HENKEL, T. W.; MAAS, P.; PETRONELLI, P.; REVILLA, J. D. C.; STROPP, J.; DALY, D.; GRIBEL, R.; PAREDES, M. R.; SILVEIRA, M.; THOMAS-CAESAR, R.; BAKER, T. R.; SILVA, N. F.; FERREIRA, L. V.; PERES, C. A.; SILMAN, M. R.; CERÓN, C.; VALVERDE, F. C.; FIORE A.; JIMENEZ, E. M.; MORA, M. C. P.; TOLEDO, M.; BARBOSA, E. M.; BONATES, L. C. M.; ARBOLEDA, N. C.; FARIAS, E. S.; FUENTES, A.; GUILLAUME, J.-L.; JØRGENSEN, T. P. M.; MALHI, Y.; MIRANDA, I. P. A.; PHILLIPS, J. F.; PRIETO, A.; RUDAS, A.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, N.; VON HILDEBRAND, P.; VOS, V. A.; ZENT, E. L.; ZENT, S.; CINTRA, B. B. L.; NASCIMENTO, M. T.; OLIVEIRA, A. A.; RAMIREZ-ÂNGULO, H.; RAMOS, J. F.; RIVAS, G.; SCHÖNGART, J.; SIERRA, R.; TIRADO, M.; VAN DER HEIJDEN, G.; TORRE, E. V.; WANG, O.; YOUNG, K. R.; BAIDER, C.; CANO, A.; FARFAN-RIOS, W.; FERREIRA, C.; HOFFMAN, B.; MENDOZA, C.; MESONES, I.; TORRES-LEZAMA, A.; MEDINA, M. N. U.; VAN ANDEL, T. R.; VILLARROEL, D.; ZAGT, R.; ALEXIADES, M. N.; BALSLEV, H.; GARCIA-CABRERA, K.; GONZALES, T.; HERNANDEZ, L.; HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; MANZATTO, A. G.; MILLIKEN, W.; CUENCA, W. P.; PANSINI, S.; PAULETTO, D.; AREVALO, F. R.; REIS, N. F. C.; SAMPAIO, A. F.; GIRALDO, L. E. U.; SANDOVAL, E. H. V.; GAMARRA, L. V.; VELA, C. I. A.; H. TER STEEGE. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. **Science**, v. 355, n. 6328, p. 925–931, Mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aal0157>

LEVIS, C.; FLORES, B. M.; MOREIRA, P. A.; LUIZE, B. G.; ALVES, R. P.; FRANCO-MORAES, J.; LINS, J.; KONINGS, E.; PENA-CLAROS, M.; BONGERS, F.; COSTA, F. R. C.; CLEMENT, C. R. How people domesticated Amazonian forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 5, article 171, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00171>.

MALHI, Y.; DOUGHTY, C. E.; GALETTI, M.; SMITH, F. A.; SVENNING, J. C.; TERBORGH, J. W. Megafauna and ecosystem function from the Pleistocene to the Anthropocene **PNAS**, v. 113, n. 4, p. 383-346, Jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1502540113>.

MORSELLO, C. **Market integration and sustainability in amazonian indigenous livelihoods: the case of the Kayapó**. 2002. 298 f. (Doctoral thesis) - School of Environmental Sciences of the University of East Anglia, East Anglia, UK.

MYERS, G. P.; NEWTON, A. C.; MELGAREJO, M. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 127, n. 1–3, p. 119–128, Mar. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00124-3)

O'MALLEY, D. M.; BUCKLEY, D. P.; PRANCE, G. T.; BAWA, K. S. Genetics of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, p. 923-928, Dec. 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00273683>.

PAIVA P. M.; GUEDES, M. C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 3, p. 508–514, fev. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.001>

PEREIRA, H. S.; LESCURE, J. -P. Extrativismo e agricultura: as escolhas de uma população Kokama do médio Solimões. **Revista da Universidade do Amazonas**. Série: Ciências Agrárias, v. 3, n. 3, p. 1-9, jan./jun. 1994.

PERES, C. A.; BAIDER, C. Seed dispersal, spatial distribution and population structure of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in Southeastern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 4, p. 595-616, July 1997. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467400010749>

PERES, C. A.; BAIDER, C.; ZUIDEMA, P. A.; WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P.; SALOMÃO, R. P.; SIMÕES, L. L.; FRANCIOSI, E. R. N.; VALVERDE, F. C.; GRIBEL, R.; SHEPARD JUNIOR., G. H.; KANASHIRO, M.; COVENTRY, P.; YU, D. W.; WATKINSON, A. R.; FRECKLETON, R. P. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, v. 302, n. 5635, p. 2112-2114, Dec. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1091698>.

PERES, C. A.; NASCIMENTO, H. S. Impact of game hunting by the Kayapó of Southeastern Amazonia: implications for wildlife conservation in tropical forest indigenous reserves. **Biodiversity and Conservation**, v. 15, p. 2627-2653, July 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-005-5406-9>

PETERS, C. M. **Sustainable harvest of non-timber plant resources in tropical moist forest: an ecological primer: biodiversity support program**. New York: Institute of Economic Botany: The New York Botanical Garden, 1994, 48 p.

POSEY, D. A. Indigenous management of tropical forest ecosystems: the case of the Kayapó indians of the Brazilian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 3, p. 139-158, June 1985. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00122640>

REDE XINGU+. **Xingu sob Bolsonaro: análise do desmatamento na Bacia do Rio Xingu (2018-2020): Sistema de Indicação por Radar de Desmatamento no Xingu (Sirad X): Observatório De Olho no Xingu da Rede Xingu+**, 2021. Disponível em: https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/nt_xingu_sob_bolsonaro_final.pdf. Acesso em: 15 out. 2021.

RIBEIRO, M. B. N. **Ecologia, manejo e sustentabilidade da exploração da castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*) pelos índios Kayapó, sudeste da Amazônia**. 2011. 142 f. Tese (Doutorado em Biologia: Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

RIBEIRO, M. B. N.; VILLAS-BÔAS, A. (coord.). **Diagnóstico da efetividade do Fundo Kayapó na melhoria da qualidade de vida do Povo Kayapó e na gestão e integridade de seus territórios: relatório final**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2019. 384 p.

RIBEIRO, M. B. N.; JEROZOLIMSKI, A.; ROBERT, P.; SALLES N. V.; KAYAPÓ, B.; PIMENTEL, T. P.; MAGNUSSON, W. E. Anthropogenic landscape in southeastern Amazonia: Contemporary impacts of low-intensity harvesting and dispersal of Brazil nuts by the Kayapó indigenous people. **PLoS ONE**, v. 9, n. 7, e102187, July, 2014a. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102187>

RIBEIRO, M. B. N.; JEROZOLIMSKI, A.; ROBERT, P.; MAGNUSSON, W. E. Brazil nut stock and harvesting at different spatial scales in southeastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 319, p. 67–74, May, 2014b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.005>

ROBERT, P. Del pi y-kô al bosque certificado: los varios caminos de la castaña. **Anuario Americanista Europeo**, v. 6-7, p. 563-581, 2009.

ROOSEVELT, A. C.; COSTA, M. L.; MACHADO, C. L.; MICHAB, M.; MERCIER, N.; VALLADAS, H.; FEATHERS, J.; BARNETT, W.; SILVEIRA, M. I.; HENDERSON, A.; SLIVA, J.; CHERNOFF, B.; REESE, D. S.; HOLMAN, J. A.; TOTH, N.; SCHICK, K. Paleoindian cave dwellers in the Amazon: The peopling of the Americas. **Science**, v. 272, n. 5260, p. 373–384, Apr. 1996. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.272.5260.373>.

ROOSEVELT, A. C. The Development of prehistoric complex societies: Amazonia, a tropical forest. **Archaeological Papers of the American Anthropological Association**, v. 9, n. 1, p. 13-33, Jan. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1525/ap3a.1999.9.1.13>

SALOMÃO, R. P. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 4, n. 1, p. 11-25, abr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v4i1.667>.

SANDOM, C.; FAURBY, S.; SANDEL, B.; SVENNING, J-C. Global late Quaternary megafauna extinctions linked to humans, not climate change. **Proceedings of the Royal Society B - Biological Sciences**, v. 281, n. 1787, 20133254, July 2014. <http://doi.org/10.1098/rspb.2013.3254>

SANTOS, R. R. **Extrativistas, direitos de propriedade e sustentabilidade do extrativismo da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) no rio Iriri (Pará, Brasil)**. 2021. 281 f. Tese (Doutorado em Ciências: Ecologia Aplicada) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SAUNALUOMA, S.; MOAT, J.; PUGLIESE, F.; NEVES, E. G. Patterned villagescapes and road networks in ancient Southwestern Amazonia. **Latin American Antiquity**, v. 31, n. 1, p. 173-187 Mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/laq.2020.79>.

SCHWARTZMAN, S.; ZIMMERMAN, B. Conservation Alliances with Indigenous Peoples of the Amazon. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 721-727, jun. 2005. DOI:10.1111/j.1523-1739.2005.00695.x

SCHWARTZMAN, S.; VILLAS-BOAS, A.; ONO, K. Y.; FONSECA, M. G.; DOBLAS, J.; ZIMMERMAN, B.; JUNQUEIRA, P.; JEROZOLIMSKI, A.; SALAZAR, M.; JUNQUEIRA, R. P.; TORRES, M. The natural and social history of the indigenous lands and protected areas corridor of the Xingu River basin. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, 20120164, June 2013. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0164>

SCOLES, R.; GRIBEL, R. Population structure of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) stands in two areas with different occupation histories in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 39, n. 4, p. 455-464, Aug. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-011-9412-0>.

SCOLES, R.; GRIBEL, R. The regeneration of Brazil nut trees in relation to nut harvest intensity in the Trombetas River valley of Northern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 265, p. 71-81, Feb. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.027>

SCOLES, R.; KLEIN, G. N.; GRIBEL, R. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) plantada em diferentes condições de luminosidade após seis anos de plantio na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 9, p. 321-336, 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.528>.

SCOLES, R.; GRIBEL, R. Human influence on the regeneration of Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) at the Capanã Grande Lake, Manicoré, Amazonas, Brazil. **Human Ecology**, v. 43, p. 843-854, Nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-015-9795-4>

SHEPARD JUNIOR, G. H.; RAMIREZ, H. "Made in Brazil": human dispersal of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) in ancient Amazonia. **Economic Botany**, v. 65, p. 44–65, Feb. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12231-011-9151-6>

SHOCK, M. P.; MORAES, C. P. A floresta é o domus: a importância das evidências arqueobotânicas e arqueológicas das ocupações humanas amazônicas na transição Pleistoceno/Holoceno. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, vol.14, no.2, maio/ago 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981.81222019000200003>

SILVA, E. B.; MAY, P. H. Experience of forest and organic certification in the Kayapó community through the helpdesk for sustainable business program of Amigos da Terra - Amazônia brasileira. **Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability**, v. 5, n. 1, p. 108-112, 2011. Edição especial do 2nd Latin-American Congress of Ethnobiology; 8th Brazilian Congress on Ethnobiology and Ethnoecology.

SOUSA, D. G.; ALMEIDA, S. S.; AMARAL, D. D. Estrutura de uma população manejada da castanheira (*Bertholletia excelsa*) na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, n. 9, v. 2, p. 353–370, 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.530>

STEEGE, H. ter.; PITMAN, N. C. A.; SABATIER, D.; BARALOTO, C.; SALOMÃO, R. P.; GUEVARA, J. E.; PHILLIPS, O. L.; CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; MOLINO, JEAN-FRANÇOIS.; MONTEAGUDO, A.; VARGAS, P. N.; MONTERO, J. C.; FELDPAUSCH, T. R.; CORONADO, E. N. H.; KILLEEN, T. J.; MOSTACEDO, B.; VASQUEZ, R.; ASSIS, R. L.; TERBORGH, J.; WITTMANN,

F.; ANDRADE, A.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W.; MARIMON, B. S.; BEN-HUR MARIMON, JR.; VIEIRA, I. C. G.; AMARAL, I. L.; BRIENEN, R.; CASTELLANOS, H.; LÓPEZ, D. C.; DUIVENVOORDEN, J. F.; MOGOLLÓN, H. F.; MATOS, F. D. de. A.; DÁVILA, N.; GARCÍA-VILLACORTA, R.; DIAZ, P. R. S.; COSTA, F.; EMILIO, T.; LEVIS, C.; SCHIETTI, J.; SOUZA, P.; ALONSO, A.; DALLMEIER, F.; MONTOYA, A. J. D.; PIEDADE, M. T. F.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARROYO, L.; GRIBEL, R.; FINE, P. V. A.; PERES, C. A.; TOLEDO, M.; AYMARD C., G. A.; BAKER, T. R.; CERÓN, C.; ENGEL, J.; HENKEL, T. W.; MAAS, P.; PETRONELLI, P.; STROPP, J.; ZARTMAN, C. E.; DALY, D.; NEILL, D.; SILVEIRA, M.; PAREDES, M. R.; CHAVE, J.; FILHO, D. de. A. L.; JORGENSEN, P.M.; FUENTES, A.; SCHÖNGART, J.; VALVERDE, F. C.; FIORE, A. D.; JIMENEZ, E. M.; MORA, M. C. P.; PHILLIPS, J. F.; RIVAS, G.; ANDEL, T. R. V.; HILDEBRAND, P. V.; HOFFMAN, B.; ZENT, E. L.; MALHI, Y.; PRIETO, A.; RUDAS, A.; USCHELL, A. R. R.; SILVA, N.; VOS, V.; ZENT, S.; OLIVEIRA, A. A.; SCHUTZ, A. C.; GONZALES, T.; NASCIMENTO, M. T.; RAMIREZ-ANGULO, H.; SIERRA, R.; TIRADO, M.; MEDINA, M. N. U.; HEIJDEN, G. V. D.; VELA, C. I. A.; TORRE, E. V.; VRISENDORP, C.; WANG, O.; YOUNG, K. R.; BAIDER, C.; BALSLEV, H.; FERREIRA, C.; MESONES, I.; TORRES-LEZAMA, A.; GIRALDO, L. E. U.; ZAGT, R.; ALEXIADES, M. N.; HERNANDEZ, L.; HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; MILLIKEN, W.; CUENCA, W P.; PAULETTO, D.; SANDOVAL, E. V.; GAMARRA, L. V.; DEXTER, K. G.; FEELEY, K.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; SILMAN, A. M. R. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science*, v. 342, n. 6156, 1243092, Oct. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1243092>.

SUJII, P. S.; MARTINS, K.; WADT, L. H. O.; AZEVEDO, V. C. R.; SOLFERINI, V. N. Genetic structure of *Bertholletia excelsa* populations from the Amazon at different spatial scales. **Conservation Genetics**, v. 16, n. 4, p. 955–964, Aug. 2015.. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10592-015-0714-4>

TOLEDO, R. A.; GOMES, C. S.; GOMES, P. C.; PALMIERI, R. **Panorama nacional da cadeia de valor da Castanha-do-Brasil**. Piracicaba, SP: Imaflora, 60 p. Disponível em: <https://www.imaflora.org/biblioteca?page=1&pesquisa=Panorama+nacional+da+cadeia+de+valor+da+castanha-do-brasil>. Acesso em: 15 out. 2021.

THOMAS, E.; CAICEDO, C. A.; LOO, J.; KINDT, R. The distribution of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) through time: from range contraction in glacial refugia, over human-mediated expansion, to anthropogenic climate change. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 267-291, 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.525>.

THOMAS, E.; CAICEDO, C. A.; MCMICHAEL, C. H.; CORVERA, R.; LOO, J. Uncovering spatial patterns in the natural and human history of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) across the Amazon Basin. **Journal of Biogeography**, v. 42, n. 8, p.1367–1382, Aug. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.12540>.

TURNER, T. Os Mebengokre Kayapó: história e mudança social. In: CUNHA, M. C. (ed). **História dos índios no Brasil**. São Paulo: Companhia das Letras: Secretaria Municipal de Cultura: FAPESP, 1992. p. 311–338.

VERSWIJVER, G. **The club-fighters of the Amazon: warfare among the Kayapo indians of Central Brazil**. Almeria: Turuti Books, 2018. 376 p.

VIDAL, L. B. **Morte e vida de uma sociedade indígena brasileira: os Kayapó-Xikrin do rio Cateté**. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 1977. 268 p.

VILLAS-BÔAS, A. (org.). **De olho na Bacia do Xingu**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2012. 63 p. (Série Cartô Brasil Socioambiental, v. 5).

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371-384, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061>

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C. L.; SERRANO, R. O. P. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, v. 141, n. 1, p. 332–346, Jan. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.10.007>

WALKER, W. S.; GORELIK, S. R.; BACCINI, A.; ARAGON-OSEJO, J. L.; JOSSE, C.; MEYER, C.; MACEDO, M. N.; AUGUSTO, C.; RIOS, S.; KATAN, T.; SOUZA, A. A.; CUELLAR, S.; LLANOS, A.; ZAGER, I.; MIRABAL, G. D.; SOLVIK, K. K.; FARINA, M. K.; MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. **PNAS**, v. 117, n. 6, p. 3015-3025, Feb. 2020, DOI: 10.1073/pnas.1913321117

WINKLERPRINS, A. M. G. A.; LEVIS, C. Reframing Pre-European Amazonia through an Anthropocene Lens. **Annals of the American Association of Geographers**, v. 111, n. 3, p. 858-868, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1843996> .

ZIMMERMAN, B. L.; PERES, C. A.; MALCOLM, J. R.; TURNER, T. Conservation and development alliances with the Kayapó of south-eastern Amazonia, a tropical forest indigenous people. **Environmental Conservation**, v. 28, n. 1, p. 10-22, Mar. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892901000029>.

ZUIDEMA, P. A.; BOOT, R. G. A. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 1, p. 1–31, Jan. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002018>.

Capítulo 2

Dinâmica populacional e demografia de castanheiras nativas

Anderson Vasconcelos Firmino; Lúcia Helena de Oliveira Wadt; Érica de Souza Módena; Patrícia da Costa; Uilian Costa de Araújo; Marcelino Carneiro Guedes

Introdução

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*), espécie hiperdominante e símbolo de conservação da Amazônia (Ortiz, 2002; Guariguata et al., 2017), desempenha papel fundamental na ecologia, na ciclagem de nutrientes e na prestação de serviços ecossistêmicos, como a manutenção do clima e o armazenamento de elevada quantidade de carbono (Fauset et al., 2015; Thomas et al., 2018; Tourne et al., 2019). Além disso, as amêndoas de seus frutos, conhecidas mundialmente como Brazil nut, são um dos produtos florestais não madeireiros mais importantes da floresta amazônica, sendo extraídas quase exclusivamente de castanhais nativos (Mori, 1992; Wadt et al., 2008).

A castanha-da-amazônia vem sendo colhida por povos indígenas há milhares de anos e a sua comercialização é uma importante fonte de renda para famílias moradoras nos interiores da Amazônia brasileira boliviana e peruana (Escobal; Aldana, 2003; Duchelle et al., 2012). A sua importância econômica tem motivado a realização de um número crescente de estudos nas últimas décadas, a fim de aumentar sua produção comercial bem como garantir a sustentabilidade da extração do fruto a longo prazo (Peres; Baider, 1997; Zuidema; Boot, 2002; Wadt et al., 2005; Scoles, 2011; Ribeiro et al., 2014). A segurança de que o extrativismo da castanha-da-amazônia é uma atividade sustentável passa, necessariamente, pela análise da dinâmica populacional das castanheiras.

O conhecimento sobre a história de vida, a demografia e a dinâmica do crescimento da castanheira-da-amazônia em florestas nativas é importante para o entendimento

da ecologia da espécie e para a definição de práticas de manejo sustentáveis. Não só a sustentabilidade ambiental, mas também a própria sustentabilidade produtiva e econômica, depende da dinâmica populacional, já que o envelhecimento dos castanhais afeta negativamente a capacidade de produção da espécie. O potencial produtivo também é afetado pela dificuldade de estabelecimento de novas castanheiras nos castanhais antigos inseridos na floresta madura, muito densa e sombreada, uma vez que a castanheira necessita de clareiras grandes para se estabelecer (Myers et al., 2000).

Estudos que avaliam a regeneração e o estabelecimento de plântulas, as taxas de crescimento populacional e a produção de frutos das castanheiras em ambientes com diferentes estágios de sucessão florestal são importantes para o conhecimento da distribuição espacial e seleção de micro-habitat mais adequado para a germinação e o desenvolvimento de plântulas, considerados como os estágios mais vulneráveis do ciclo de vida das plantas, embora a castanheira seja bem resiliente e adaptada para ter uma baixa taxa de regeneração. Esses aspectos demográficos refletem não somente a produção de sementes, mas também os componentes que afetam sua dispersão e a sobrevivência das plântulas (Harper, 1977; Harcombe, 1987).

O micro-habitat mais favorável para o estabelecimento de árvores depende da autoecologia da espécie e das interações com o ambiente, que pode variar ao longo de gradientes, como do interior florestal às áreas mais abertas, tipo pastagens e plantações (Meiners et al., 2002). A disponibilidade de luz, temperatura, umidade, nutrientes no solo, altura e composição da serrapilheira (Camargo; Kapos, 1995; Vasconcelos; Luizão, 2004; Norden et al., 2009), bem como a abundância e a composição de predadores de sementes e herbívoros (Benítez-Malvido; Lemus-Albor, 2005) e tamanho da borda (Benítez-Malvido, 1998; Benítez-Malvido; Martinez-Ramos, 2003), são fatores que variam ao longo desse gradiente.

A disponibilidade de luz tem sido considerada como um dos principais fatores, entre esses acima citados, que afetam o recrutamento e a distribuição espacial de plantas (Kobe, 1999; Bloor; Grubb, 2003; Baraloto et al., 2005; Flores et al., 2006). A regeneração de espécies arbóreas intolerantes à sombra é facilitada em locais mais abertos ao longo desse gradiente ambiental, como a borda dos fragmentos (Kobe, 1999; Guariguata, 2000; Balderrama; Chazdon, 2005; Uriarte et al., 2005). Assim, a avaliação dos habitat mais favoráveis para o recrutamento de plântulas pode fornecer informações estratégicas para o manejo de espécies no seu ambiente natural. No caso da castanheira, o que se tem observado é que

a radiação solar é um dos principais fatores relacionados ao sucesso da espécie durante seu ciclo de vida.

A castanheira-da-amazônia é considerada uma espécie exigente em luz, embora tolerante à sombra, seu estabelecimento depende de níveis moderados de radiação, como aqueles observados em grandes clareiras no interior dos remanescentes florestais (Myers et al., 2000; Moll-Rocek et al., 2014; Souza et al., 2017). A maior disponibilidade de luz solar também pode ser encontrada nas áreas de agricultura itinerante em início de sucessão, onde se observa maior atividade de dispersão e regeneração de castanheiras, desde que existam matrizes próximas (Paiva et al., 2011; Cotta et al., 2008).

Na Amazônia brasileira, desde as populações pré-colombianas, é realizada uma agricultura itinerante, cujo preparo de área baseia-se no corte e na queima da vegetação. Nesse sistema, pequenas áreas são desmatadas pela população agroextrativista, principalmente para plantação de mandioca e produção de farinha, a base alimentar dessas famílias. Normalmente, é realizado o plantio do roçado de forma tradicional, com mão de obra familiar, para produzir também outros alimentos utilizados para a subsistência, como milho, macaxeira, abóbora e batata doce. A presença desses alimentos é um atrativo para os principais dispersores das sementes da castanha, como as cutiaras (*Myoprocta* spp.) e as cutias (*Dasyprocta* spp.), que, após abrirem os ouriços (frutos da castanheira), enterram parte das sementes intactas (Forget, 1990; Peres; Baider, 1997; Smythe, 1978). Havendo castanheiras adultas próximas, portanto, as áreas de roçado, assim como as capoeiras de origem natural, são microssítios favoráveis para o recrutamento da castanheira-da-amazônia.

Nesse sistema agrícola tradicional, as áreas abertas para implantação do roçado são utilizadas apenas por alguns anos e depois são abandonadas, dando início a um processo natural de regeneração florestal e formação de capoeiras, que são novamente utilizadas após determinado período de pousio. Diversos estudos têm mostrado que essas áreas abertas oriundas da agricultura itinerante são fundamentais para o estabelecimento das castanheiras, implicando uma renovação nos castanhais e na manutenção da sua capacidade produtiva (Cotta et al., 2008; Paiva et al., 2011; Guedes et al., 2014; Bongioiolo et al., 2020). O mesmo também ocorre em áreas de florestas submetidas ao manejo madeireiro, onde a abertura de grandes clareiras pode favorecer o recrutamento de novos indivíduos e contribuir para o rejuvenescimento dos castanhais (Tonini; Baldoni, 2019).

Para o melhor entendimento da relação demográfica e dinâmica populacional de uma espécie, é preciso entender como os fatores do ecossistema, inclusive as alterações provocadas pelas ações antrópicas, estão associados à dinâmica de crescimento da espécie (Serrano, 2005). O entendimento de que a estabilidade ecológica da espécie depende de distúrbios intermediários, em equilíbrio dinâmico com alterações nos ecossistemas naturais, é importante na busca pela sustentabilidade da atividade extrativista. Também é necessário considerar o longo ciclo de vida da castanheira, que pode produzir sementes por vários séculos, o que confere certa garantia de manutenção da população mesmo sob intensa exploração (Zuidema, 2003). Finalmente, há que se levar em consideração que as castanheiras mais velhas apresentam menor capacidade produtiva e de crescimento (Staudhammer et al., 2013), uma vez que o envelhecimento dos castanhais nativos da Amazônia compromete a produtividade da região.

Dessa forma, este capítulo foi construído a partir do entendimento de que a castanha-da-amazônia é uma espécie arbórea heliófita, cuja dinâmica e demografia podem ser favorecidas em áreas abertas utilizadas para agricultura itinerante, pela criação de ambientes de renovação florestal durante o início de sucessão. Assim, para avançar na renovação dos castanhais e no aumento da produção de castanha a partir do manejo dos castanhais, torna-se necessário promover o recrutamento e a sobrevivência de indivíduos jovens da sua população. Nesse contexto, este capítulo visa discutir aspectos demográficos da castanheira, de modo a considerar a variação geográfica regional e com foco na comparação entre castanhais nativos antigos na região amazônica e aqueles em formação nas áreas da agricultura itinerante.

Crescimento diamétrico em diferentes ambientes e regiões da Amazônia

O crescimento em diâmetro da castanheira varia em função de distintos ambientes, da estação do ano e da fase do ciclo de vida (Cotta et al., 2008; Staudhammer et al., 2013; Schögart et al., 2015). As variações no crescimento irão influenciar o ingresso das castanheiras nas classes diamétricas, o que gera diferenciadas relações entre classes etárias (jovens/adultos) nas variadas situações e em ambientes diversos. Assim, além das esperadas variações devido a idade, características geográficas e ambientais, o desenvolvimento também pode variar em função da competição intraespecífica e em função do tipo de formação florestal (floresta madura ou

floresta secundária), ou do tipo de plantio florestal (monocultivos ou consórcios). Dessa forma, embora exista certa correlação, o diâmetro de uma castanheira não representa, necessariamente, uma medida de sua idade.

Castanheiras na floresta madura

Normalmente, os castanhais da porção norte da Amazônia, são os mais agregados e apresentam maiores densidades. Apenas o Acre e Rondônia, situados na parte mais ocidental da Amazônia brasileira, são formados por castanhais com as menores densidades de castanheiras, como pode ser observado na Tabela 1.

A castanheira ocorre em florestas naturais presentes em todos os estados da região Norte do Brasil e em outros países da América do Sul, e pode ser encontrada aglomerada (em castanhais) ou dispersa em extensas florestas, com distribuição aleatória. Em relação à competição intraespecífica, nos castanhais em floresta madura, no geral, o crescimento em diâmetro não apresenta nenhum padrão claro de relação com a densidade, nem com a porcentagem de jovens. Essa ausência de padrões relacionados ao desenvolvimento radial das castanheiras em nível de população pode ser um indicativo de que fatores individuais das árvores podem ser mais importantes na determinação desse crescimento. Assim, a modelagem do crescimento em nível de castanheira individual, relacionando este a fatores preditores como idade de cada castanheira e atributos da copa, pode ser mais adequada para analisar sua dinâmica de crescimento.

Um desses fatores relacionados à copa que pode afetar o crescimento diamétrico da castanheira é sua posição sociológica, que tem relação com seu estágio reprodutivo. Indivíduos suprimidos sob o dossel da floresta, cujas copas não recebem luz direta, normalmente são jovens não reprodutivos e acumulam cerca de dez vezes menos área basal do que castanheiras emergentes, conforme demonstrado por Staudhammer et al. (2013). Esses mesmos autores relataram que, nas castanheiras produtivas que ainda estão competindo por luz com o dossel da floresta, pode haver uma relação negativa entre o crescimento radial e a produção de frutos.

De maneira geral, o crescimento diamétrico das castanheiras em floresta madura é menor que 1 cm por ano. O maior crescimento ocorre no período mais chuvoso, tendo em vista que as castanheiras praticamente paralisam seu desenvolvimento em área basal no período seco (Staudhammer et al., 2013).

Tabela 1. Densidade (D), crescimento diamétrico (CC) e relação da estrutura etária com porcentagem de castanheiras jovens¹ localizadas em castanhais de floresta madura na região amazônica.

Região	DAP de inclusão (cm)	Média dos DAPs (cm)	DAP máx. (cm)	D (cast. ha ⁻¹)	Jovens ¹ (%)	CC (mm ano ⁻¹)	Fonte
Marabá, Pará, Brasil	-	131,0	-	1,3	24 ¹	-	Salomão (1991)
Área Indígena Kayapó-PA, Brasil	10	82	323	4,8	43	-	Peres e Baider (1997)
Cajari, Amapá, Brasil	10	92,1	280,1	6,8	1,5	-	Baider (2000)
Forest Reserve El Tigre, Bolívia	5	107,0	190	1,7	6 ¹	-	Zuidema e Boot (2002)
Forest Reserve, El Sena, Bolívia	5	126,9	267	-	13 ¹	-	Zuidema e Boot (2002)
Resex Chico Mendes, Acre, Brasil	10	86,1-88,4	207	1,4-2,7	25 ²	-	Wadt et al. (2005); Neves et al. (2016)
Pindamonhangaba, Acre, Brasil	10	72,0	-	2,2	-	-	Wadt et al. (2008)
Martins, Cajari, Amapá, Brasil	10	108,6	286,5	11	19 ²	-	Paiva (2009)
Marinho, Cajari, Amapá, Brasil	10	-	-	3,2	24 ²	-	Paiva (2009)
Marinho, Cajari, Amapá, Brasil	10	85,6	254,6	6,1	43 ²	-	Paiva (2009)
Capanã Grande, Amazonas, Brasil	-	73,0	-	12,5	18 ¹	-	Scoles e Gribel (2011)
Trombetas River, Pará, Brasil	-	128,0	-	6,8	7 ¹	-	Scoles e Gribel (2012)
Resex Chico Mendes, Acre, Brasil	10	86,1	194,0	1,35	28	-	Staudhammer et al. (2013)
São João Baliza, Roraima, Brasil	10	65,9	-	3,7	34 ²	-	Tonini et al. (2014)
Caracará (Itã), Roraima, Brasil	10	82,7	-	13,5	23 ²	-	Tonini et al. (2014)
Cujubim, Roraima, Brasil	10	118,8	-	6,5	5 ²	-	Tonini et al. (2014)
Caxuanã, Pará, Brasil	10	64,9	-	25,0	54 ²	-	Sousa et al. (2014)
Resex Cajari, Amapá, Brasil	10	111,6	280	7,0	21 ²	-	Guedes et al., 2014
Trombetas River, Pará, Brasil	-	109,0	145	-	-	3,6	Schögart et al. (2015)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Região	DAP de inclusão (cm)	Média dos DAPs (cm)	DAP máx. (cm)	D (cast. ha ⁻¹)	Jovens ¹ (%)	CC (mm ano ⁻¹)	Fonte
Purus, Amazonas, Brasil	-	122,9	185	-	-	4,7	Schögart et al. (2015)
Oriximiná, Pará, Brasil	10	159,0	308	2,0	5 ¹	-	Scoles et al. (2016)
Manaus, Amazonas, Brasil	-	97,8	-	3,2	-	-	Andrade et al. (2019)
P1, Itá, Caracaráí, Roraima, Brasil	10	79,2	182,6	13,0	27 ²	4,4	Rede Kamukaia
P2, Itá, Caracaráí, Roraima, Brasil	10	94,5	179,9	13,3	19 ²	4,8	Rede Kamukaia
P1, Cujubim, Caracaráí, Roraima, Brasil	10	120,1	252,0	5,9	4 ²	4,0	Rede Kamukaia
P2, Cujubim, Caracaráí, Roraima, Brasil	10	116,3	178,3	6,4	2 ²	9,0	Rede Kamukaia
Cajari – Cláudio, Amapá, Brasil	10	108,6	286,5	10,5	14 ²	5,0	Rede Kamukaia
Cajari – Natanael, Amapá, Brasil	10	85,6	254,6	7,0	42 ²	9,9	Rede Kamukaia
Cajari – K7, Amapá, Brasil	10	119,4	223,4	16,3	8 ²	4,9	Rede Kamukaia
Brasiléia, Filipinas, Acre, Brasil	10	84,9	201,1	1,5	16 ²	6,6	Rede Kamukaia
Xapuri, Cachoeira, Acre, Brasil	10	91,8	226,0	2,5	23 ²	6,6	Rede Kamukaia

Notas: ¹ 10 cm ≤ DAP < 40 cm.² 10 cm ≤ DAP < 50 cm.

O crescimento diamétrico resulta na formação de anéis anuais de crescimento, conforme demonstrado por Schögart et al. (2015), o que permite estudos de dendrocronologia para estabelecer a idade das árvores. Com a dendrocronologia pode ser realizado o monitoramento da dinâmica de desenvolvimento e reconstrução de curvas de crescimento da espécie em ambientes naturais, por meio da verificação da influência de fatores como anos de seca bem como a incidência de fogo.

A porcentagem de castanheiras jovens ($10 \text{ cm} < \text{DAP} < 40 \text{ cm}$ ou 50 cm) descritas na Tabela 1 variou de 5% a 54%. Verifica-se que em vários locais essa porcentagem é baixa, o que indica dificuldades de recrutamento e envelhecimento dos castanhais. No entanto, em alguns castanhais a porcentagem de castanheiras novas na floresta madura chega a mais de 30%, em locais onde as médias dos diâmetros são as mais baixas, o que evidencia que são castanhais mais recentes, que podem ser oriundos do manejo agroextrativista, o qual favoreceu a regeneração e o estabelecimento das castanheiras. Contudo, é necessária mais cautela antes de assumir uma relação direta entre DAP e idade, pois podem existir castanheiras com mesmo diâmetro e diferentes idades cronológicas. Essas relações serão mais bem discutidas no item 3 deste capítulo, sobre a maturidade reprodutiva das castanheiras.

Castanheiras em floresta secundária (capoeira)

As florestas secundárias, conhecidas popularmente como capoeiras, representam vegetação que se desenvolve após o corte de uma floresta madura ou de outra capoeira (Neves et al., 2015). Estudos demonstram que em castanhais nativos onde há atividade antrópica, nas capoeiras resultantes de cultivo itinerante, há um maior número de indivíduos regenerantes da espécie em relação às áreas dentro da floresta madura (Wadt et al., 2005; Cotta et al., 2008; Paiva et al., 2011; Guedes et al., 2014). Esse fato é importante para a dinâmica demográfica da espécie, pois as evidências encontradas nesses estudos apontam para interações positivas entre o extrativismo da castanha e a agricultura de corte e queima. No entanto, poucos são os estudos (Tabela 2) que avaliaram aspectos demográficos da castanheira em florestas secundárias nos estágios mais iniciais de sucessão, como as capoeiras. Portanto, ainda são necessários mais trabalhos, em diferentes regiões da Amazônia, para comprovar em definitivo que existe um padrão de favorecimento da dinâmica populacional das castanheiras em áreas mais abertas em início de sucessão.

Tabela 2. Densidade, estrutura etária e desenvolvimento diamétrico (D) e em altura (HT), crescimento diamétrico (CC), de castanheiras localizadas em capoeiras oriundas da agricultura itinerante e em plantios na região amazônica brasileira. Regenerantes = plântulas + varetas (DAP < 10 cm). Plântulas (< 1,5 m de altura); varetas (\geq 1,5 m de altura e < que 10 cm de DAP); jovens ($10 \leq$ DAP < 50 cm); e adultos (> 50 cm de DAP). Na avaliação de regenerantes (DAP < 10 cm), foi medido o diâmetro na base do solo – DAS.

Localidade	DAP de inclusão (cm)	Média D (cm) e HT (m)	DAP (cm) e HT máximo (m)	Densidade geral (cast. ha ⁻¹)	Regenerantes/jovens (%)	CC radial ou HT (mm ano ⁻¹)	Fonte
Floresta Nacional Saracá-Taquera, Oriximiná-PA	1	D=19,4 HT=14,7	D=61,6 HT=28	24,8	- /60	CC=22,6 HT=0,77	Salomão (2006) – plantio, RAD
Filipinas-AC	10	-	-	12,7	-	-	Cotta et al. (2008)
Mazagão-AP	1	D=0,36 HT=1,39	D=2,89 HT=5,90	82,0	100 / 0	CC=5,7 HT=421	Paiva e Guedes (2008); Neves (2010)
Resex Cajari-AP	-	D=10,5 HT=5,85	D=67,5 HT=35	33,0	65 / 33	-	Paiva et al. (2011)
Resex Cajari-AP	1	D=18,8 HT=11,49	D=157,9 HT=45	11,0	45 / 50	CC=10,8	Guedes et al. (2014)
Cachoeira-AC	-	-	-	11,8	8,73 / 3,30	-	Bongiolo et al. (2020)

A densidade de indivíduos jovens de castanheiras tem uma relação positiva, crescente e linear com o número de ciclos de cultivo e pousio da agricultura itinerante (Paiva et al., 2011). Ou seja, quanto mais vezes se coloca roça em um determinado local, após períodos de pousio em que a capoeira cresce novamente, mais haverá regenerantes de castanheiras, pois o efeito é acumulativo. Aquelas castanheiras existentes na capoeira que foram cortadas e queimadas rebrotam durante a fase de cultivo, e novos frutos são levados bem como sementes enterradas pelas cutias durante as sequências de pousio/cultivo.

A cutia é o principal dispersor da castanheira e um dos poucos animais que conseguem abrir seu duro fruto para retirar as sementes. Ela consome parte das amêndoas até se saciar e depois enterra o restante para se alimentar durante períodos de escassez. No entanto, ela não consegue achar todas as castanhas

enterradas e se torna, assim, uma verdadeira plantadora de castanheiras. Nas roças, as cutias encontram outros alimentos, como macaxeira e abóbora, além do fato de que elas ficam mais protegidas na vegetação fechada da capoeira, o que faz que elas frequentem mais esses típicos ambientes da agricultura itinerante (Silvius; Fragoso, 2003) e para lá carreguem maior quantidade de frutos. Em um estudo realizado em capoeiras do Alto Cajari-AP, que totalizou 58,5 ha, foram encontradas 636 castanheiras, sendo 95% de regenerantes e jovens, com média de diâmetro de 18,8 cm, o que confirma o elevado potencial de regeneração nessas áreas de agricultura itinerante (Guedes et al., 2014).

Além de haver maior abundância de castanheiras jovens nas áreas de roça e capoeira, evidenciando que esses ambientes são favoráveis para o estabelecimento dos castanhais, nas áreas de agricultura itinerante o desenvolvimento (crescimento) de castanheiras jovens é maior do que dentro da floresta (Cotta et al., 2008; Batista et al., 2019). Nessas áreas há maior incidência de radiação solar e as árvores que não são cortadas ou queimadas podem ser beneficiadas pelos cuidados com os cultivos agrícolas, como os tratos culturais e a fertilidade residual propiciada pela cinza.

Em estudo em que foram monitoradas 131 regenerantes de castanheiras em capoeiras, no sul do Amapá, ao longo de três anos, os indivíduos apresentaram incremento médio anual de 42,1 cm em altura, com valor mínimo de 0,0 cm e máximo de 370 cm. O incremento médio do diâmetro foi de 5,7 mm, com variação de 0,1 a 25,2 mm. O incremento em altura dos regenerantes de castanheiras apresentou relação linear positiva com a densidade aparente do solo, mas não foi afetado pelo porte da capoeira (alto ou baixo). Isso mostra que as castanheiras se adaptam bem a solos compactados e áreas antropizadas, podendo, inclusive, ser utilizadas para recuperação de áreas degradadas (Salomão, 2006; Neves, 2010).

Idade e modelos de crescimento

Modelos de crescimento e de idade das árvores podem ser obtidos por meio de estudos dendrocronológicos. Esses estudos também são promissores para investigar as mudanças no ambiente em florestas tropicais, uma vez que fornecem informações sobre as condições ambientais locais no passado. Além disso, os padrões de estabelecimento das plântulas, bem como mudanças abruptas no ritmo de crescimento das árvores, podem ser evidenciados pela dendrocronologia. A base para aplicação da dendrocronologia é a formação de anéis anuais de

crescimento, em função de períodos climáticos diferenciados ao longo do ano, que favorecem ou retardam o desenvolvimento dos tecidos que levam ao crescimento da circunferência da árvore.

Em espécies que marcam no seu lenho anéis anuais, como é o caso da castanheira-da-amazônia, é possível avaliar os círculos formados anualmente e obter informações sobre o crescimento e a idade dessas árvores. A Tabela 3 traz uma listagem dos poucos estudos publicados que avaliaram a idade das castanheiras a partir dos anéis de crescimento.

Tabela 3. Idade de castanheiras e incremento diamétrico médio, estimados por meio da dendrocronologia, em castanheiras nativas da região amazônica.

Região	DAP médio (cm)	Tamanho amostral (n)	Incremento (mm/ano)	Idade	Ano	Fonte
Bolívia, Riberalta	-	12	4.9	427	2006	Brienen e Zuidema (2006)
Trombetas River, Pará, Brasil	109,0	21	3,65	301	2015	Schögart et al. (2015)
Purus, Amazonas, Brasil	122,9	20	4,7	234	2015	Schögart et al. (2015)
Manaus, Amazonas, Brasil (plantio)	71,5	2	13,01	54	2015	Schögart et al. (2015)
Lago Purupuru, Manaus, Brasil	97,8	67	-	412	2019	Andrade et al. (2019)

Nos estudos conduzidos por Brienen e Zuidema (2006), que avaliaram padrões de crescimento de árvores da floresta tropical boliviana, por meio da análise de anéis de crescimento, foi registrada a idade máxima de 427 anos para uma castanheira. O estudo constatou que a espécie apresentou um padrão de crescimento em diâmetro constante ao longo dos anos e que árvores com 60 cm de diâmetro apresentavam mais de 150 anos. No entanto, Schögart et al. (2015), ao trabalharem com idade e padrões de crescimento da castanheira na Amazônia brasileira, encontraram resultados e curvas de crescimento não lineares. Esses autores analisaram castanheiras oriundas de diferentes regiões: Manaus (plantio), Trombetas, município de Oriximina-PA e Purus, município de Anori-AM, registrando idades de 54, 208-401 e 77-371 anos, respectivamente. Assim, fica evidente, em

relação aos padrões de crescimento de castanheiras individuais, que pode haver uma variação em função de diferentes locais da Amazônia brasileira (Figura 1).

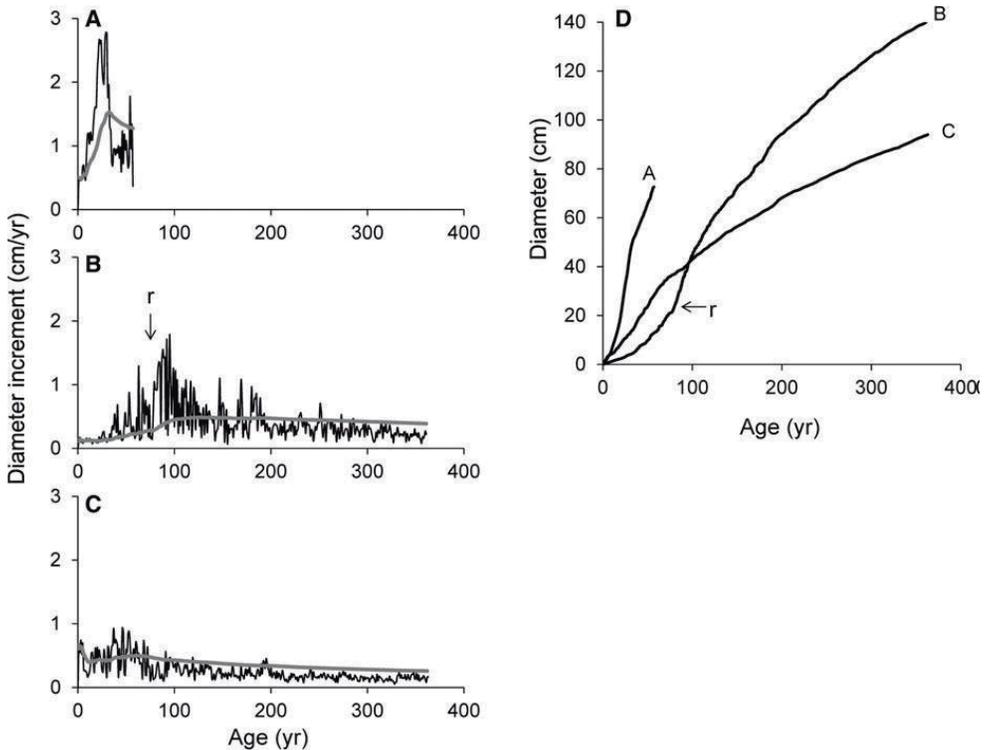


Figura 1. Taxas de incremento do diâmetro ao longo da vida de três árvores individuais de *Bertholletia excelsa* em uma plantação (A), no Purus (B) e no Trombetas (C). Curvas de crescimento cumulativo das três castanheiras (D), “r” indica um evento de liberação, no local Purus.

Fonte: Schögart et al. (2015).

As castanheiras são consideradas importantes elementos da ecologia histórica da Amazônia, pois guardam em seu lenho importantes marcas de eventos ocorridos no passado, durante séculos de desenvolvimento. Os castanhais são relatados como ilhas de manejo agroecológico ancestral dos povos originários da Amazônia brasileira (Shepard Junior; Ramirez, 2011; Robinson et al., 2018), as quais evidenciam a importância da conservação pelo uso para proteção desse território. A avaliação da idade das castanheiras, assim como a distribuição de sua abundância na Amazônia oriental, reforça a ideia de que a espécie vem sendo manejada há séculos pelos

indígenas e caboclos dessa região. O aumento desproporcional na distribuição e abundância de determinadas espécies úteis, como a castanheira, associadas a sítios arqueológicos, denota a intervenção de sociedades pré-colombianas (Magalhães, 2007; Parssinem et al., 2020), que manejavam a floresta para favorecer o crescimento e o aumento da quantidade das espécies que eles utilizavam.

Outro estudo que avaliou anéis de crescimento de castanheiras como um registro vivo de distúrbios humanos históricos na região central da Amazônia (Andrade et al., 2019) combinou os resultados da dendrocronologia com modelos de estimativa de idade. Os autores conseguiram dividir a estrutura de idade do castanhal em dois grupos distintos: i) as 41 árvores mais velhas, com idades que variam de 198 a 412 anos; e ii) as 43 árvores mais jovens, com idades entre 27 e 176 anos. Isso sugere que o recrutamento de castanheiras está associado às ações das sociedades humanas pré ou pós-coloniais e que a formação dos castanhais mais jovens coincide com a ocupação dos caboclos, que mantêm até hoje práticas agrícolas indígenas de corte e queima, após o colapso das sociedades indígenas em toda a Amazônia Central. Esse novo ciclo de recrutamento de castanheiras já foi favorecido e também relacionado a padrões recentes e atuais de coleta de castanha e de extração florestal, o que confirma a associação positiva entre abundância de castanheiras e a presença humana.

A avaliação da idade das castanheiras também é importante para entender sua maturidade fisiológica e reprodutiva; pode ser relacionada com sua estrutura diamétrica e com o potencial produtivo. Uma pergunta importante que precisamos responder, pois tem implicações diretas sobre o entendimento das causas na queda da produção de frutos observada nos anos recentes e na necessidade de renovação dos castanhais, é: em quais idades uma castanheira começa a produzir e atinge o máximo da produção? Aqui, novamente, torna-se necessária uma abordagem diferenciada entre a castanheira situada em florestas maduras ou em capoeiras no início da sucessão, pois o desenvolvimento e o estabelecimento das castanheiras são diferenciados em cada um desses ambientes, conforme demonstrado anteriormente. Com isso, pode ocorrer que árvores com o mesmo diâmetro possam ter idades bem diferentes, o que torna necessário avaliar o grau de correlação entre os três fatores (produção, idade e diâmetro) aparentemente interligados, para cada ambiente. Como exemplo, no trabalho de Vieira et al. (2005) com datação de carbono, foram datadas três castanheiras, com o seguinte resultado: DAP = 45,2 cm e idade de 840 anos; DAP = 101 cm e idade de 996 anos; e DAP = 129,5 cm e idade de 668 anos.

Maturidade em diferentes tipos de ambientes

Em estudos que tratam da relação entre a idade e a estrutura populacional de um castanhal, normalmente o principal interesse é analisar a densidade de castanheiras com maturidade reprodutiva e aquelas ainda não reprodutivas – jovens (Neves et al., 2016). Nas florestas maduras, a renovação dos castanhais é deficitária e muito mais lenta, assim como o tempo necessário para as castanheiras começarem a produzir. Em estudo demográfico realizado com a castanheira, em dois locais de floresta tropical úmida primária no norte da Amazônia boliviana, as estimativas de idade revelaram que a idade na primeira reprodução (DAP > 60 cm) chega a mais de 120 anos e a idade na última categoria (DAP > 160 cm) é quase 300 anos (Zuidema; Boot, 2002). Outro estudo sobre a dinâmica populacional de castanhais nativos, realizado no Acre (Bertwell et al., 2018), estimou em 167 e 83 anos para início da reprodução em dois castanhais distintos. Em ambos os estudos, os modelos populacionais foram construídos a partir de matriz de transição e as taxas de crescimento populacional (λ) foram próximas a um, o que indica que as populações estudadas se encontram estáveis e que as castanheiras são mais sensíveis à persistência em uma determinada categoria de tamanho, com baixa probabilidade de renovação. Outro trabalho que fez uma classificação ontogenética das castanheiras em florestas maduras, estudando seu desenvolvimento ao longo de cada etapa de vida, evidenciou que castanheiras reprodutivas seriam aquelas com DAP > 50 cm, as quais precisariam de mais de um século para atingir tal porte e capacidade (Wadt et al., 2005). A modelagem do crescimento em diâmetro *versus* a produção de frutos em castanheiras da Resex Chico Mendes, no Acre (Staudhammer et al., 2013), evidenciou que a incidência de luz foi mais crítica na fase juvenil, uma vez que castanheiras suprimidas (100% jovens) cresceram, em diâmetro, dez vezes mais devagar do que aquelas em posição dominante e codominante. Além disso, poucas árvores jovens foram reprodutivas, e estas foram mais lentas no crescimento em diâmetro que as demais jovens, investindo os recursos no crescimento em altura. O estudo revelou compensações entre crescimento e reprodução durante os estágios iniciais da vida da castanheira, tendo em vista que essa relação diminui e até desaparece à medida que a castanheira aumenta em tamanho e maturidade.

Nas florestas maduras, desde que com condições ótimas de iluminação e adequadamente tratadas, as castanheiras tendem a atingir maturidade reprodutiva ainda novas (Staudhammer et al., 2013). Há registros de castanheiras que iniciam a produção com 8 anos após manejo da regeneração natural (Guedes et al., 2014),

assim como em área plantada no campo experimental da Embrapa, e de indivíduos com 14 anos que produzem flores e frutos em áreas bem iluminadas (Salomão, 2009).

Em áreas abertas, em início de sucessão da agricultura itinerante, a castanheira pode se tornar produtiva em uma idade muito inferior àquela dentro da floresta (Figura 2A). Nessas capoeiras, não há limitação de radiação solar para as castanheiras, o que favorece seu desenvolvimento e estabelecimento (Figura 2B).



Fotos: Marcelino Carneiro Guedes

Figura 2. Castanheira jovem produtiva (A), castanheira jovem estabelecida (B), em áreas abertas em início de sucessão localizadas na Resex Cajari, sul do Amapá, Amazônia Oriental.

Em 44 capoeiras, distribuídas em duas comunidades (Marinho e Açaizal) da Resex Cajari-AP, e classificadas como “abandonadas” (onde os agroextrativistas não praticam mais agricultura, pois reconhecem o potencial produtivo das castanheiras), foi avaliada a relação da estrutura diamétrica e reprodutiva de castanheiras bifurcadas com a idade da capoeira. Foram inventariadas 296 castanheiras com mais de um tronco, indicativo de que essas foram cortadas durante o preparo da

roça e que, portanto, têm o mesmo tempo de desenvolvimento da capoeira. O modelo ajustado da idade em função do DAP mostrou que capoeiras com idade superior a 16 anos apresentaram indivíduos com diâmetro médio de 25,9 cm (Figura 3).

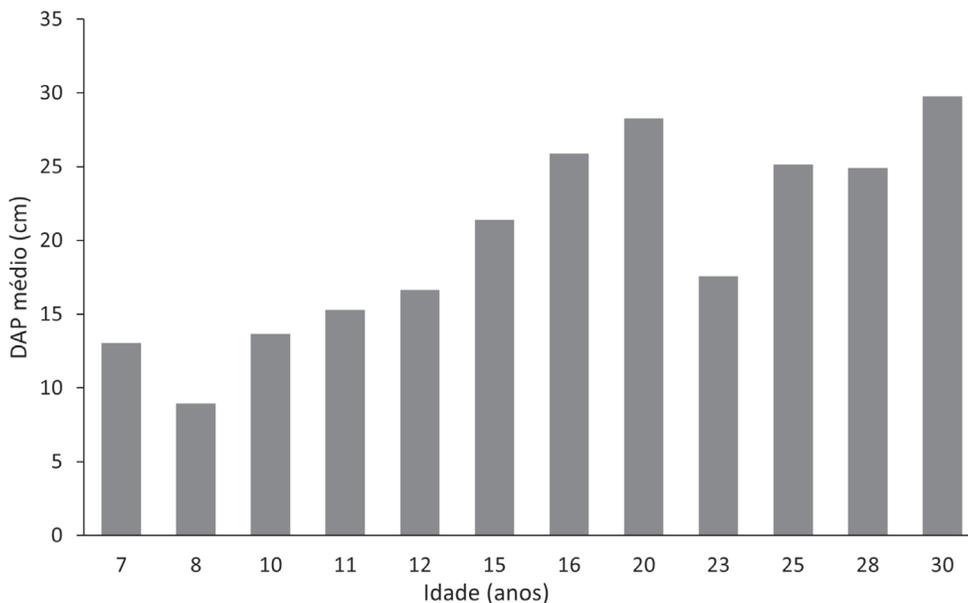


Figura 3. Diâmetro (DAP) médio do tronco de castanheiras bifurcadas em 44 capoeiras abandonadas na Resex Cajari, com diferentes idades. A capoeira é considerada abandonada pelo agroextrativista para formação de um novo castanhal, quando o mesmo reconhece seu potencial produtivo de castanha, e não mais coloca roça naquele local.

Fonte: Rosário et al. (2016).

Nas capoeiras “abandonadas”, sem nenhum tipo de manejo, há indicativos de que as castanheiras estão aptas à produção de frutos em torno de 16 anos, visto que, em outro trabalho realizado na mesma região (Guedes et al., 2014), o diâmetro mínimo de castanheiras produtivas em ambientes de capoeira foi de 24,5 cm. No entanto, é preciso ressaltar que o tempo de 16 anos não necessariamente corresponde à idade fisiológica da castanheira, pois esta é oriunda de rebrota, que pode ter acontecido em mais de um ciclo de cultivo/pousio da agricultura itinerante de corte e queima.

Em outro estudo recentemente realizado no Acre, com o objetivo de avaliar o potencial de produção de castanha em áreas de capoeiras abandonadas por 12 a 60 anos (Bongiolo et al., 2020), foi verificado que, em dez anos, 22% das capoeiras avaliadas já teriam iniciado a produção de castanha. Em 40 anos, todas as 18 capoeiras estudadas estariam produzindo, com uma estimativa de 1.475 frutos por hectare, gerando um total de, aproximadamente, 425 latas de castanha em 23,7 ha, ou uma produtividade estimada de quatro sacas por hectare. Importante destacar que essa simulação não considerou práticas de manejo como limpeza e condução das castanheiras, o que certamente diminuiria o tempo para chegar à essa produção. Na região deste estudo, os extrativistas relataram ter conhecimento do potencial de produção das capoeiras, mas poucos tomam alguma atitude para incorporar essas castanheiras no sistema produtivo.

O fato de que os castanheiros não investem sua força de trabalho em práticas de manejo de castanheiras nas capoeiras não impede que seu trabalho seja reconhecido como um serviço ambiental. Mesmo sem práticas de manejo florestal, apenas as práticas de cultivo agrícola e o posterior abandono das capoeiras são suficientes para propiciar maiores ganhos em precocidade de produção, regeneração das castanheiras e renovação dos castanhais do que a preservação das florestas maduras.

Regeneração, mortalidade e capacidade de rebrota

Apesar de a castanheira ser considerada uma espécie central na economia extrativista, combinando o uso da floresta com a conservação da biodiversidade, sempre há uma preocupação sobre se a intensa coleta de suas sementes afeta a regeneração natural dos castanhais e sobre como isso pode afetar a sustentabilidade da coleta no longo prazo. Alguns autores mais antigos, tal como Peres et al. (2003), sugeriram restrições na coleta da castanha, com base na interpretação de que a coleta intensiva e por longo período compromete significativamente a regeneração natural dos castanhais. Esse estudo foi publicado em revista internacional de alto impacto e elevada circulação, causando diversas reações ao fato de ele atribuir o declínio das populações de castanheiras à intensidade da coleta e, conseqüentemente, aos próprios extrativistas. Entretanto, estudos mais recentes (Wadt et al., 2008; Paiva, 2009; Scoles; Gribel, 2012; Ribeiro et al., 2014; Bertwell et al., 2018), assim como o trabalho de Zuidema e Boot (2002), demonstram que a coleta intensiva em castanhais nativos não afeta o estabelecimento de plântulas de castanheira. Ao contrário, esses trabalhos têm mostrado que intensidades de

coleta maiores que 80% não afetam a manutenção dos castanhais no médio prazo e que não há correlação direta entre a intensidade da coleta e a regeneração dos castanhais. Concluem, portanto, que restrições na coleta, como as sugeridas por Peres et al. (2003), não fazem sentido e que outros fatores devem estar influenciando a germinação e o estabelecimento das plantas jovens da castanheira na Amazônia, uma vez que a produção de frutos é apenas um dos fatores responsáveis pelo crescimento populacional.

Uma questão importante que necessita ser considerada nessa discussão é o fato de que a maioria dos extrativistas, por motivo de segurança, só entra no castanhal para coletar a castanha depois que termina ou há uma redução acentuada na queda dos frutos. Isso propicia um intervalo de dois a três meses entre o início e o término da queda dos frutos, período em que estes ficam disponíveis no chão da floresta, o que permite que as cutias realizem seu trabalho de dispersão.

Na maioria dos casos, uma mesma árvore não é visitada mais que duas ou três vezes durante a safra, após os frutos caírem da copa para o início da coleta, o que favorece a dispersão dos frutos. Durante monitoramento de 20 castanheiras no castanhal Cachoeira-AC, mais de 7% dos frutos produzidos foram acessados pela fauna, 4,1 % desses foram removidos para fora da copa das castanheiras – antes da coleta pelo extrativista (Wadt et al., 2018). Também é importante registrar que há uma elevada variação na dispersão dos frutos pela fauna em função do ano e do local, bem como lembrar que nem todas as castanheiras de um castanhal são visitadas e coletadas. Isso indica que a proporção da produção total do castanhal que não é coletada pelos agroextrativistas aumenta mais ainda.

Portanto, o extrativismo da castanha-da-amazônia, por si só, não imprime uma coleta extremamente excessiva, uma vez que há variação na dinâmica de queda e coleta dos frutos. A questão central na dinâmica populacional das castanheiras, muitas vezes ignorada e não discutida, é a necessidade de luz e grandes clareiras para seu estabelecimento.

Nesse contexto, áreas antropizadas, como capoeiras, roçados e clareiras de exploração madeireira vêm sendo identificadas como locais propícios para a regeneração natural da espécie. Isso ocorre devido a interações entre fatores bióticos e abióticos – tais como: maior disponibilidade de nutrientes e maior incidência de luz – e pelo comportamento dos dispersores, que buscam essas áreas para esconder os frutos e as sementes (Cotta et al., 2008).

Durante o preparo das áreas de capoeira para plantio, normalmente realizado em ciclos, a maioria dos produtores não tem a preocupação e o cuidado com as castanheiras regenerantes, cortando-as e queimando-as com a capoeira (Guedes et al., 2014). Entretanto, as castanheiras jovens apresentam grande potencial de rebrota, mesmo após queimadas (Paiva et al., 2011), e geralmente não morrem com o fogo. Apesar disso, quando uma castanheira jovem é cortada e queimada, perde-se todo o crescimento acumulado durante o período de pousio da capoeira, reiniciando seu desenvolvimento com uma nova brotação (Guedes et al., 2014). O estudo de Guedes et al. (2014) no sul do Amapá relata que nenhuma castanheira morreu após a queima da capoeira e o plantio em roçado, havendo ainda o ingresso de novas castanheiras.

A mortalidade da castanheira é bastante variável entre locais e parece estar muito associada às condições edafoclimáticas. Florestas mais abertas, solo raso e frequência de eventos climáticos extremos, como secas e tempestades, parecem favorecer a mortalidade de castanheiras adultas (Bertwell et al., 2018). Nesse mesmo estudo sobre a dinâmica de castanhais nativos realizado na Resex Chico Mendes, no Acre, foi evidenciado que o foco principal da preocupação relativa à manutenção dos castanhais ao longo do tempo deveria ser a redução da mortalidade de árvores adultas, principalmente em áreas pressionadas pelo desflorestamento. Mudanças no uso da paisagem florestal, como aquelas causadas por desmatamento e abertura de estradas, potencializam a mortalidade de castanheiras adultas; isso tem um impacto muito maior na manutenção dos castanhais do que o destino das sementes produzidas pelas castanheiras, ou seja, se a semente foi coletada ou deixada na floresta para regeneração.

Outro aspecto da dinâmica populacional das castanheiras importante para seus processos demográficos, principalmente em áreas de agricultura itinerante, é sua capacidade de rebrota. A frequência e a severidade de danos que a planta sofre bem como sua capacidade de sobrevivência e crescimento pós-rebrota são fatores importantes e determinantes para o manejo da castanheira em áreas de agricultura itinerante. Os agroextrativistas têm dificuldades em reconhecer as plântulas e as mudas de castanheiras, assim como indivíduos jovens que são todos cortados e queimados durante o preparo da área para as práticas agrícolas. Eles só reconhecem as castanheiras com potencial produtivo, quando abandonam as capoeiras e ocorre a formação de novos castanhais (Guedes et al., 2014).

Em um estudo que avaliou a capacidade de rebrota das castanheiras em 40 áreas com histórico de uso agrícola conhecido, próximas de castanhais no sul do Amapá (Paiva; Guedes, 2010), foi observado que a quantidade de castanheiras com caules múltiplos foi maior do que aquelas com um único tronco, considerando que essa diferença pode chegar a mais de cinco vezes. Quando as castanheiras são jovens, a capacidade de rebrota é muito elevada, mesmo quando queimadas, podendo facilmente ser encontrados tocos com mais de cinco rebrotos. No entanto, a própria competição entre eles vai eliminando o excesso, e nas castanheiras adultas oriundas de rebrota é mais comum a existência de apenas dois ou três troncos. Dessa forma, se identifica um padrão de maior ocorrência de castanheiras bifurcadas (Figura 4A) ou trifurcadas (Figura 4B) nas áreas de agricultura itinerante, o que pode também contribuir para identificação da origem e história de vida de castanhais antigos. Um fato interessante que pode ocorrer ao longo do ciclo de vida de castanheiras bifurcadas é a fusão dos troncos múltiplos, de modo a formar uma linha de fissura (Figura 4C) em castanheiras adultas, que, à primeira vista, parece ser constituída por tronco único. A avaliação criteriosa dessa linha, ainda visível mesmo em grandes castanheiras, pode fornecer evidências a favor da hipótese da origem antrópica involuntária dos castanhais, a partir do estabelecimento em antigas áreas de agricultura itinerante.

Em cada novo ciclo de cultivo nas capoeiras enriquecidas de castanheiras, há a formação de um novo rebroto por tronco cortado, o que resulta em aumento significativo no número de caules. No estudo da Resex Cajari, sul do Amapá, para desenvolvimento do sistema de manejo “castanha na roça”, foi verificado em áreas de roça recém-preparadas capacidade de rebrota de castanheiras, com dois ou mais rebrotos, em tocos de castanheiras cortadas com até 57 cm de diâmetro.

Desse modo, a capacidade de rebrota facilita não apenas a sobrevivência das castanheiras, mas também um aumento gradativo na densidade de castanheiras com os ciclos de agricultura itinerante, entre corte e queima. Indivíduos bifurcados compõem a maior parcela da população nas capoeiras que foram conservadas para formação de novos castanhais em função da alta densidade de castanheiras.

Assim, para promover a renovação dos castanhais, os agroextrativistas e os gestores das reservas extrativistas devem se concentrar na conservação de indivíduos jovens e maduros (Bertwel et al., 2018) e no manejo da regeneração de castanheiras em áreas de agricultura itinerante (Guedes et al., 2014).



Fotos: Marcelino Carneiro Guedes

Foto: Robert P. Miller.

Figura 4. Castanheira bifurcada (A e B), em capoeiras oriundas de áreas de agricultura itinerante em início de sucessão e castanheira em processo de fusão de troncos múltiplos (C), localizadas na Resex Cajari, sul do Amapá, Amazônia Oriental.

É preciso fazer uma ressalva de que as castanheiras rebrotadas (aparentemente menores), não necessariamente são indivíduos mais jovens. Elas podem ter sofrido vários eventos de corte, que zeram seu desenvolvimento, mas não zeram a idade fisiológica. Então, é possível ter uma castanheira relativamente pequena, mas com idade mais avançada, que parece começar a produzir muito mais cedo.

Considerações finais

As populações de castanheira amostradas em florestas maduras localizadas em diferentes regiões da Amazônia apresentam uma estrutura populacional formada principalmente por indivíduos adultos, enquanto que em florestas secundárias (capoeiras) é observada uma maior densidade de indivíduos jovens. Como a espécie estudada depende de plena luz para seu desenvolvimento, a baixa disponibilidade de radiação solar na floresta fechada pode influenciar negativamente o recrutamento de novos indivíduos dentro da floresta madura, há várias décadas em estágio avançado de sucessão. Assim, a preservação total e o isolamento da floresta, como estratégia de conservação da espécie, podem dificultar o estabelecimento de novas castanheiras, pelo excesso de sombreamento no interior florestal, e induzir o envelhecimento dos castanhais, com predomínio das maiores castanheiras na distribuição das classes de tamanho. Além de não contribuir com o crescimento da dinâmica populacional da espécie, isso também afeta negativamente a produção de castanha. Por outro ângulo, os distúrbios moderados e a presença humana, principalmente, por meio da agricultura itinerante praticada por comunidades locais, podem favorecer a regeneração, o crescimento e o estabelecimento das castanheiras, de modo a contribuir, assim, para a renovação e a expansão dos castanhais nativos.

O entendimento da sinergia entre o modo de vida agroextrativista e o castanheiro, com o conhecimento da ecologia da espécie, permite traçar uma estratégia de conservação e expansão demográfica dos castanhais, de modo a aumentar a probabilidade de persistência das diferentes populações da castanheira nos dois ambientes. Ao proteger os indivíduos jovens nas áreas de capoeira (agricultura itinerante) e manter os indivíduos adultos em floresta madura, é possível aumentar a sobrevivência das castanheiras jovens e permitir que as castanheiras adultas continuem produzindo, inclusive como matrizes de sementes para alimentar a regeneração nas áreas mais abertas fora da floresta.

Considerando o manejo dos castanhais nativos, o cuidado e o trato com a regeneração natural em áreas de capoeira ou roçados podem auxiliar no planejamento da expansão de áreas para produção de castanha e, desse modo, favorecer a sustentabilidade da produção e a conservação da espécie. Nesse sistema de capoeiras ou roçados, deve-se buscar a proteção das castanheiras durante o preparo das áreas (broca, derruba e queima), por meio de técnicas de limpeza de cipós e da serrapilheira, do coroamento e do aceiro em torno da castanheira regenerante, de modo a permitir que elas permaneçam no meio do roçado durante o cultivo das áreas.

Referências

- ANDRADE, V. L.; FLORES, B. M.; LEVIS, C.; CLEMENT, C. R.; ROBERTS, P.; SCHÖNGART, J. Growth rings of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) as a living record of historical human disturbance in Central Amazonia. **Plos ONE**, v. 14, n. 4, p. 1-18, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214128>.
- BALDERRAMA, S. I. V.; CHAZDON, R. L. Light-dependent seedling survival and growth of four tree species in Costa Rican second-growth rain forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, n. 4, p. 383-395, July 2005. DOI: <https://doi.org/10.1017/S026646740500235X>.
- BARALOTO, C.; GOLDBERG, D. E.; BONAL, D. Performance trade-offs among tropical tree seedlings in contrasting microhabitats. **Ecology**, v. 86, n. 9, p. 2461-2472, Sept. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1890/04-1956>.
- BATISTA, A. P. B.; SCOLFORO, H. F.; MELLO, J. M.; GUEDES, M. C.; TERRA, M. C. N. S.; SCALON, J. D.; GOMIDEA, L. R.; SCOLFORO, P. G. V.; COOK, R. L. Spatial association of fruit yield of *Bertholletia excelsa* Bonpl. trees in eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 441, p. 99-105, June 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.043>.
- BAIDER, C. **Demografia e ecologia de dispersão de frutos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (Lecythidaceae) em castanhais silvestres da Amazônia Oriental**. 2000. 217 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BENÍTEZ-MALVIDO, J. Impact of forest fragmentation on seedling abundance in a tropical rain forest. **Conservation Biology**, v. 12, n. 2, p. 380-389, Apr. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00031.x>.
- BENÍTEZ-MALVIDO, J.; LEMUS-ALBOR, A. The seedling community of tropical rain forest edges and its interaction with herbivores and pathogens. **Biotropica**, v. 37, n. 2, p. 301-313, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00031.x>.
- BENÍTEZ-MALVIDO, J.; MARTINEZ-RAMOS, M. Influence of edge exposure on tree seedling species recruitment in tropical rain forest fragments. **Biotropica**, v. 35, n. 4, p. 530-541, Dec. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb00609.x>.
- BERTWELL, T. D.; KAINER, K. A.; CROPPER, W. P.; STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. O. Are Brazil nut populations threatened by fruit harvest? **Biotropica**, v. 50, n. 1, p. 50-59, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12505>.
- BLOOR, J. M.; GRUBB, P. J. Growth and mortality in high and low light: trends among 15 shade-tolerant tropical rain forest tree species. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 1, p. 77-85, Feb. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00743.x>.
- BONGIOLO, E. S.; KAINER, K. A.; CROPPER, W.; STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. O. Swidden fallow management to increase landscape-level Brazil nut productivity. **Forest Ecology and Management**, v. 464, 118019, May 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118019>.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 2, p. 481-493, Mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01080.x>.

CAMARGO, J. L.; KAPOS, V. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 11, n. 2, p. 205-221, May 1995. DOI: <https://doi.org/10.1017/S026646740000866X>.

COTTA, J. N.; KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. **Forest Ecology Management**, v. 256, n. 1-2, p. 28-35, July 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.026>.

DUHELLE, A. M.; GUARIGUATA, M. R., LESS, G., ALBORNOZ, M. A., CHAVEZ, A., MELO, T. Evaluating the opportunities and limitations to multiple use of Brazil nuts and timber in Western Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 268, p. 39-48, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.05.023>.

ESCOBAL, J. A.; ALDANA, U. Are nontimber forest products the antidote to rainforest degradation? Brazil nut extraction in Madre De Dios, Peru. **World Development**, v. 31, n. 11, p. 1873-1887, Nov. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.08.001>.

FAUSET, S.; JOHNSON, M. O.; GLOOR, M.; BAKER, T. R.; MONTEAGUDO M., A.; BRIENEN, R. J. W.; FELDPAUSCH, T. R.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MALHI, Y.; TER STEEGE, H.; PITMAN, N. C. A.; BARALOTO, C.; ENGEL, J.; PÉTRONELLI, P.; ANDRADE, A.; CAMARGO, J. L. C.; LAURANCE, S. G. W.; LAURANCE, W. F.; CHAVE, J.; ALLIE, E.; NÚÑEZ VARGAS, P.; TERBORGH, J. W.; RUOKOLAINEN, K.; SILVEIRA, M.; AYMARD C., G. A.; ARROYO, L.; BONAL, D.; RAMIREZ-ÂNGULO, H.; MURAKAMI, A. A.; NEILL, D.; HÉRAULT, B.; DOURDAIN, A.; TORRES-LEZAMA, A.; MARIMON, B. S.; SALOMÃO, R. P.; COMISKEY, J. A.; RÉJOU-MÉCHAIN, M.; TOLEDO, M.; LICONA, J. C.; ALARCÓN, A.; PRIETO, A.; RUDAS, A.; MEER, P. J. van der; KILLEEN, T. J.; MARIMON JUNIOR, B.-H.; POORTER, L.; BOOT, R. G. A.; STERGIOS, B.; TORRE, E. V.; COSTA, F. R. C.; LEVIS, C.; SCHIETTI, J.; SOUZA, P.; GROOT, N.; ARETS, E.; MOSCOSO, V. C.; CASTRO, W.; CORONADO, E. N. H.; PEÑA-CLAROS, M.; STAHL, C.; BARROSO, J.; TALBOT, J.; VIEIRA, I. C. G.; HEIJDEN, G. van der; THOMAS, R.; VOS, V. A.; ALMEIDA, E. C.; DAVILA, E. A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ERWIN, T. L.; MORANDI, P. S.; OLIVEIRA, E. A. de; VALADÃO, M. B. X.; ZAGT, R. J.; HOUT, P. van der; ALVAREZ LOAYZA, P.; PIPOLY, J. J.; WANG, O.; ALEXIADES, M.; CERÓN, C. E.; HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; DI DIORE, A.; PEACOCK, J.; CAMACHO, N. C. P.; UMETSU, R. K.; CAMARGO, P. B. de; BURNHAM, R. J.; HERRERA, R.; QUESADA, C. A.; STROPP, J.; VIEIRA, S. A.; STEININGER, M.; RODÍGUEZ, C. R.; RESTREPO, Z.; MUELBERT, A. E.; Hyperdominance in Amazonian Forest carbon cycling. **Nature communications**, v. 6, n. 6857, p. 1-9, Apr. 2015. <https://doi.org/10.1038/ncomms7857>.

FLORES, O.; GOURLET-FLEURY, S.; PICARD, N. Local disturbance, forest structure and dispersal effects on sapling distribution of light-demanding and shade-tolerant species in a French Guianian forest. **Acta Oecologica**, v. 29, n. 2, p. 141-154, Mar./Apr. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2005.08.007>.

FORGET, P. M. Seed-dispersal of *Vouacapoua americana* Aublet. (Caesalpinaceae) by caviomorph rodents in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, n. 4, p. 459-468, Nov. 1990. DOI: [10.1017/S0266467400004867](https://doi.org/10.1017/S0266467400004867).

GUARIGUATA, M. R. Seed and seedling ecology of tree species in neotropical secondary forests: management implications. **Ecological Applications**, v. 10, n. 1, p. 145-154, Feb. 2000. DOI: <https://doi.org/10.2307/2640992>.

GUARIGUATA, M. R.; CRONKLETON, P.; DUHELLE, A. E.; ZUIDEMA, P. A. Revisiting the "cornerstone of Amazonian conservation": a socioecological assessment of Brazil nut exploitation. **Biodiversity and Conservation**, v. 26, n. 9, p. 2007-2027, Aug. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1355-3>.

GUEDES, M. C.; NEVES, E. S.; RODRIGUES, E. G.; PAIVA, P.; COSTA, J. B. P.; FREITAS, M. F.; LEMOS, L. M. 'Castanha na roça': expansão da produção e renovação dos castanhais em áreas de agricultura itinerante no Amapá, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 381-398, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.532>.

HARCOMBE, P. A. Tree life tables: simple birth, growth and death data encapsulate life histories and ecological roles. **BioScience**, v. 37, n. 8, p. 557-568, Sept. 1987. DOI: <https://doi.org/10.2307/1310666>.

HARPER, J. L. **Population biology plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1977. 892 p.

KOBE, R. K. Light gradient partitioning among tropical tree species through differential seedling mortality and growth. **Ecology**, v. 80, n. 1, p. 187-201, Jan. 1999. DOI: <https://doi.org/10.2307/176989>.

MAGALHÃES, P. M. Evolução e seleção cultural na Amazônia neotropical. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 3, n. 5, p. 93-112, jul./dez. 2007. Disponível em: <https://www.bancoamazonia.com.br/component/edocman/revista-amazonia-ciencia-e-desenvolvimento-edicao-05/viewdocument/1864>. Acesso em: 17 maio 2021.

MEINERS, S. J.; PICKETT, S. T. A.; HANDEL, S. N. Probability of tree seedling establishment changes across a forest-old field edge gradient. **American Journal of Botany**, v. 89, n. 3, p. 466-471, Mar. 2002. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.89.3.466>.

MOLL-ROCEK, J.; GILBERT, E. M.; BROADBENT, E. N. Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) regeneration in logging gaps in the peruvian Amazon. **Journal of Forestry Research**, v. 2014, p. 1687-9368, 420764, Mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/420764>.

MORI, S. A. The Brazil nut industry: past, present and future. In: PLOTKIN, M.; FAMOLARA, L. (ed.). **Sustainable harvest and marketing of rain forest products**. Washington, D.C.: Island Press, 1992. p. 241-252.

MYERS, G. P.; NEWTON, A. C.; MELGAREJO, O. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 127, n. 1-3, p. 119-128, Mar. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00124-3).

NEVES, E. S. **Regeneração natural e interação do crescimento inicial da castanheira da Amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) com atributos do solo e luz**. 2010. 38 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal – Universidade do Estado do Amapá, Macapá).

NEVES, E. S.; GUEDES, M. C.; RODRIGUES, E. G. Relação da produção de frutos de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) com variáveis das próprias castanheiras, em capoeira e floresta da Resex Cajari. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 31-37, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n2p31-37>.

NEVES, E. S.; WADT, L. H. O.; GUEDES, M. C. Estrutura populacional e potencial para o manejo de *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) em castanhais nativos do Acre e Amapá. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 19-31, mar. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n109.02>.

NORDEN, N.; CHAVE, J.; BELBENOIT, P.; CAUBÈRE, A.; CHÂTELET, P.; FORGET, P. M.; RIÉRA, B.; VIERS, J.; THÉBAUD, C. Interspecific variation in seedling responses to seed limitation and habitat conditions for 14 neotropical woody species. **Journal of Ecology**, v. 97, n. 1, p. 186-197, Jan. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01444.x>.

ORTIZ, E. G. Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). In: SHANLEY, P.; PIERCE, A.R.; LAIRD, S.A.; GUILLEN, A. (ed.). Tapping the green market: certification & management of non-timber forest products. London: Earthscan Publications Ltda., 2002. p. 61-74.

- PAIVA, P. M. **A coleta intensiva e a agricultura itinerante são ameaças para os castanhais da Reserva Extrativista do rio Cajari?** 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C. Regeneração natural de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em área de capoeira no Amapá. In: SEMINÁRIO DO PROJETO KAMUKAIA MANEJO SUSTENTÁVEL DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO- MADEIREIROS NA AMAZÔNIA, 1., 2008, Rio Branco, Acre. **Anais...** Rio Branco: Embrapa Acre, 2008. 182 p.
- PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology Management**, v. 261, n. 3, p. 508-514, Feb. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.001>.
- PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C. **Capacidade de rebrota das castanheiras**. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 61., 2010, Manaus. **Diversidade vegetal brasileira: conhecimento, conservação e uso: anais**. Manaus: SBB, 2010. 1 CD-ROM. Resumo simples.
- PÄRSSINEN, M.; BALÉE, W.; RANZI, A.; BARBOSA, A. The geoglyph sites of Acre, Brazil: 10 000-year-old land-use practices and climate change in Amazonia. **Antiquity**, v. 94, n. 378, p. 1538-1556, Dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.15184/aqy.2020.208>.
- PERES, C. A.; BAIDER C.; ZUIDEMA, P. A.; WADT, L. H. O.; KAINER K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P.; SALOMÃO, R. P.; SIMÕES, L. L.; FRANCIOSI, E. R. N.; VALVERDE, F. C.; GRIBEL, R.; SHEPARD JUNIOR, G. H.; KANASHIRO, M.; COVENTRY, P.; YU, D. W.; WATKINSON, A. R.; FRECKLETON, R. P. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, v. 302, n. 5653, p. 2112-2114, Dec. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1091698>.
- PERES, C. A.; BAIDER, C. Seed dispersal, spatial distribution and population structure of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in Southeastern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 4, p. 595-616, July 1997. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467400010749>.
- RIBEIRO, M. B. N.; JEROZOLIMSKI, A.; ROBERT, P.; SALLES, N. V.; KAYAPÓ, B.; PIMENTEL, T. P.; MAGNUSSON, W. E. Anthropogenic landscape in Southeastern Amazonia: contemporary impacts of low-intensity harvesting and dispersal of Brazil nuts by the Kayapó indigenous people. **Plos ONE**, v. 9, n. 7, p. 1-8, July 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102187>.
- ROBINSON, M.; SOUZA, J. G.; MAEZUMI, S. Y.; CÁRDENAS, M.; PESSENDA, L.; PRUFER, K.; CORTELETTI, R.; SCUNDERLICK, D.; MAYLE, F. E.; DE BLASIS, P.; IRIARTE, J. Uncoupling human and climate drivers of late Holocene vegetation change in southern Brazil. **Scientific Reports**, v. 8, n. 7800, p. 1-10, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24429-5>.
- ROSÁRIO, B. C.; RODRIGUES, E. G.; COSTA, J. B. P.; GUEDES, M. C.; LIRA- GUEDES, A. C. **Estrutura diamétrica de castanheiras (*Bertholletia excelsa* bonpl.) em áreas de capoeiras “abandonadas”**. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAPÁ, 2., 2016, Macapá, AP. **Resumos...** Macapá: Embrapa Amapá, 2016. p. 46.
- SALOMÃO, R. P. Estrutura e densidade de *Bertholletia excelsa* H. & B. (“castanheira”) nas regiões de Carajás e Marabá, Estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Botânica, v. 7, n. 1, p. 47-68. 1991.
- SALOMÃO, R. P. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 4, n. 1, p. 11-25, jan./abr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v4i1.667>.

- SALOMAO, R. P.; ROSA, N. A.; CASTILHO, A.; MORAIS, K. A. C. Castanheira-do-brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para comunidades da Amazônia Setentrional. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 1, n. 2, p. 65-78, maio/ago. 2006. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v1i2.743>.
- SCHÖGART, J.; GRIBEL, R.; FONSECA, S. F. JR.; HAUGAASEN, T. Age and growth patterns of Brazil Nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v. 47, n. 5, p. 550-558, Sept. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12243>.
- SCOLES, R.; CANTO, M. S.; ALMEIDA, R. G.; VIEIRA, D. P. Sobrevivência e frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em áreas desmatadas em Oriximiná, Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 555-564, out./dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.132015>.
- SCOLES, R.; GRIBEL, R. Population structure of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythydaceae) stands in two areas with different occupation histories in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 39, n. 4, p. 455-464, Aug. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-011-9412-0>.
- SCOLES, R. Do rio Madeira ao rio Trombetas, novas evidências ecológicas e históricas da origem antrópica dos castanhais amazônicos. **Novos Cadernos NAEA**, v. 14, n. 2. p. 265-282, dez. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v14i2.549>.
- SCOLES, R.; GRIBEL, R. The regeneration of Brazil nut trees in relation to nut harvest intensity in the Trombetas River valley of Northern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 265, n. 1, p. 71-81, Feb. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.027>.
- SERRANO, R. O. P. **Regeneração e estrutura populacional de *Bertholletia excelsa* H.B.K em áreas com diferentes históricos de ocupação, no vale do rio Acre (Brasil)**. 2005, 59 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) - Programa de Pós-graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre, Rio Branco. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/508106>. Acesso em: 16 set. 2021.
- SHEPARD JUNIOR, G. H.; RAMIREZ, H. "Made in Brazil": human dispersal of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythydaceae) in Ancient Amazonia. **Economic Botany**, v. 65, n. 1, p. 44-65, Mar. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12231-011-9151-6>.
- SILVIUS, K. M.; FRAGOSO, J. M. V. Red-rumped Agouti (*Dasyprocta leporina*) home range use in an Amazonian forest: implications for the aggregated distribution of forest trees. **Biotropica**, v. 35, n. 1, p. 74-83, Mar. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb00264.x>.
- SMYTHE, N. The natural history of the Central American agouti (*Dasyprocta punctata*). **Smithsonian Contributions to Zoology**, v. 257, p. 1-52, Jan. 1978. DOI: <https://doi.org/10.5479/si.00810282.257>.
- SOUSA, D.; ALMEIDA, S.; AMARAL, D. Estrutura de uma população manejada de castanheira (*Bertholletia excelsa*) na Floresta Nacional de Caxiuanã, **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 353-370, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.530>.
- SOUZA, C. S. C. R.; SANTOS, V. A. H. F.; FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C. Biomassa, crescimento e respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. submetidas a diferentes níveis de irradiância. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 557-569, abr./jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509827736>.

- STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. O.; KAINER, K. A. Tradeoffs in basal area growth and reproduction shift over the lifetime of a long-lived tropical species. **Oecologia**, v. 173, n. 1, p. 45-57, Sept. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2603-1>.
- THOMAS, E.; ATKINSON, R.; KETTLE, C. Fine-scale processes shape ecosystem service provision by an Amazonian hyperdominant tree species. **Scientific Reports**, v. 8, n. 11690, Aug. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29886-6>.
- TONINI, H.; BALDONI, A. B. Estrutura e regeneração de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em castanhais nativos da Amazônia. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 607-621, abr./jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509822112>.
- TONINI, H.; LOPES, C. E. V.; BORGES, R. A.; KAMINSKI, P. E.; ALVES, M. S.; FAGUNDES, P. R. O. Fenologia, estrutura e produção de sementes em castanhais nativos de Roraima e características socioeconômicas dos extrativistas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 9, n. 2, p. 399-414, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.533>.
- TOURNE, D. C. M.; BALLESTER, M. V. R.; JAMES, P. M. A.; MARTORANO, L. G.; GUEDES, M. C.; THOMAS, E. Strategies to optimize modeling habitat suitability of *Bertholletia excelsa* in the Pan-Amazonia. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 22, p. 12623-12638, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.5726>.
- URIARTE, M.; CANHAM, C. D.; THOMPSON, J.; ZIMMERMAN, J. K.; BROKAW, N. Seedling recruitment in a hurricane-driven tropical forest: light limitation, density-dependence and the spatial distribution of parent trees. **Journal of Ecology**, v. 93, n. 2, p. 291-304, Apr. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2005.00984.x>.
- VASCONCELOS, H. L.; LUIZÃO, F. Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented Amazonian landscape. **Ecological Applications**, v. 14, n. 3, p. 884-892, June 2004. DOI: <https://doi.org/10.1890/03-5093>.
- VIEIRA, S.; TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B.; SELHORST, D.; CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; MARTINELLI, L. A. Slow growth rates of Amazonian trees: consequences for carbon cycling. **PNAS**, v. 102, n. 151, p. 18502-18507, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0505966102>.
- WADT, L. H. O.; FAUSTINO, C. L.; STAUDHAMMER, C. L.; KAINER, K. A.; EVANGELISTA, J. S. Primary and secondary dispersal of *Bertholletia excelsa*: implications for sustainable harvests. **Forest Ecology and Management**, v. 415-416, p. 98-105, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.014>.
- WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C. L.; SERRANO, R. O. P. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, v. 141, n. 1, p. 332-346, Jan. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.10.007>.
- WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371-384, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061>.
- ZUIDEMA, P. A. Demography and management of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*). Riberalta: Promab, 2003. 111 p. (Promab Scientific Series, n. 6).
- ZUIDEMA, P.; BOOT, R. Demography of the Brazil Nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 1, p. 1-31, Jan. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002018>.

Capítulo 3

Modelagem da distribuição potencial de castanhais nativos

Daiana Carolina Monteiro Toune; Lucieta Guerreiro Martorano; Marcelino Carneiro Guedes; Evert Thomas; Katia Emídio da Silva; Lucia Helena de Oliveira Wadt; Felipe Felix Costa.

Introdução

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é, sem dúvida, uma das espécies arbóreas mais pesquisadas da Amazônia, dada a sua importância cultural, socioeconômica (Salomão, 2014), histórica (Thomas et al., 2015) e nutricional (Cardoso et al., 2017). Com a proteção e a proibição do corte da castanheira no Brasil (Decreto nº 5.975 de 2006) e em outros países amazônicos, como o Peru (Lei nº 00.729-81 de 1981), Bolívia (Lei nº 27.572 de 2004) e Colômbia (Lei nº 49.072 de 2014), a espécie pode ser observada em diversos ambientes, variando de florestas maduras altamente conservadas até áreas antropizadas, como pastagens ou mesmo áreas agrícolas. Em algumas áreas alteradas, a espécie apresenta baixa ou nenhuma regeneração, baixa capacidade produtiva e altíssima mortalidade (Scoles et al., 2016), o que eleva o grau de vulnerabilidade da espécie. Sob outro ponto de vista, outros estudos mostraram o potencial de renovação dos castanhais em áreas utilizadas pela agricultura tradicional e itinerante de corte e queima, desde que manejadas adequadamente (Cotta et al., 2008; Paiva et al., 2011; Guedes et al., 2014; Porcher et al., 2018). Preocupações quanto à sua vulnerabilidade ecológica, causada pela redução de populações e por alterações do seu hábitat devido ao desmatamento, também vêm estimulando estudos sobre a espécie (Homma et al., 2014; Scoles et al., 2016).

O entendimento do hábitat da castanheira é central para propor ações de conservação, manejo e plantio que assegurem os processos ecológicos (regeneração, crescimento, interações ecológicas e manutenção da espécie na prestação de serviços ecossistêmicos) e proporcionem melhoria nos processos produtivos (aumento na produção, melhor planejamento da coleta e manejo e

valoração para pagamentos por serviços ambientais). O conceito de hábitat vai além do tipo de vegetação, ou seja, ele é um local com certas combinações de condições e recursos para um organismo manter uma população viável (Begon et al., 2006), e a distribuição espacial da espécie dentro do hábitat é determinada, principalmente, pelas interações de componentes físicos e biológicos (Odum, 2008) bem como por fatores como acessibilidade da espécie em áreas potencialmente favoráveis à sua ocorrência (Soberón, 2010). Embora esse tema tenha sido investigado por muitos ecologistas e biogeógrafos ao longo da história (Schrodt et al., 2019), no caso da castanheira-da-amazônia, algumas hipóteses têm sido levantadas recentemente, como a de que pelo menos alguns castanhais têm origem antrópica (Shepard Junior; Ramirez, 2011; Thomas et al., 2014; Ribeiro et al., 2014; Scoles; Gribel, 2012). No entanto, é um tema que ainda enfrenta barreiras devido à indisponibilidade de informações.

A modelagem de distribuição de espécies é uma técnica que utiliza observações da ocorrência, ausência ou abundância e múltiplos preditores ambientais para estimar a probabilidade de ocorrência de uma espécie ou a extensão do seu hábitat disponível (Guisan; Thuiller, 2005; Elith; Leathwick, 2009). Assim, mapas de distribuição real, potencial ou de adequabilidade de hábitat são produtos gerados a partir de modelos estatísticos, de interpolações espaciais ou de modelos de aprendizagem em máquina que auxiliam o pesquisador a fazer inferências sobre a distribuição das espécies (Franklin, 2010).

Nos últimos anos, o interesse nessa área do conhecimento tem sido crescente, como evidencia o número de artigos publicados em revistas internacionais, que passaram de dez por ano na década de 1980 para mil por ano nessa última década (Peterson; Soberón, 2012a). Estudos sobre distribuição e adequabilidade de hábitat da castanheira-da-amazônia também têm acompanhado esse crescimento – dois deles, Thomas et al. (2014) e Tourne et al. (2019) trazem grandes contribuições científicas e metodológicas sobre a espécie na escala de bioma. No primeiro, os pesquisadores modelaram a distribuição potencial da espécie sob condições de diferentes passados climáticos e apontaram a existência de refúgios durante as glaciações (~21,000 BP), com alto impacto na distribuição real. No segundo, o banco de ocorrências da espécie foi atualizado com dados de presença, recentemente coletados no Brasil, e modernas estratégias metodológicas foram utilizadas para modelar e reduzir as tendências, nas ocorrências e nos preditores ambientais, inclusive agregando o conhecimento de especialistas na análise.

Este capítulo inicia com uma breve revisão sobre a modelagem de distribuição de espécies, de modo a esclarecer, por meio da literatura atual, o uso de termos que constantemente são utilizados como sinônimos, mas não o são, o que causa erros e incompreensão das ferramentas. Em seguida, traz as mais recentes descobertas sobre a distribuição potencial da castanheira-da-amazônia e um modelo hipotético sobre os fatores bióticos, abióticos e de acessibilidade, que controlam essa distribuição. As dificuldades enfrentadas – principalmente aquelas relacionadas à carência de dados em larga escala – para estimar a probabilidade de ocorrência da espécie e extensão do seu hábitat também são aqui apresentadas. Por fim, se discute como essas informações podem contribuir para o fortalecimento da cadeia de valor da espécie.

Modelagem de distribuição de espécies

Os estudos sobre a distribuição de espécies frequentemente possuem três objetivos: i) conhecer a distribuição geográfica; ii) compreender as características espaciais dessa distribuição; e iii) descrever a adequabilidade de hábitat, principalmente relacionada aos fatores abióticos. Dois conjuntos de dados são fundamentais para auxiliar no alcance desses objetivos: i) dados georreferenciados de ocorrência da(s) espécie(s) estudada(s); e ii) mapas de preditores ambientais, o que inclui fatores antrópicos, quando disponíveis. Esses dados são necessários para modelagem tanto de flora quanto de fauna. Entretanto, os resultados da modelagem podem ser mal interpretados quando alguns termos e conceitos da ecologia e da geografia são usados de maneira inapropriada.

Os termos “modelagem de distribuição de espécies” e “modelagem de nicho ecológico”, por exemplo, são diversas vezes utilizados como sinônimos, embora a literatura tenha apontado e discutido suas diferenças em diversas publicações (Franklin, 2010; Peterson; Soberón, 2012b). A correta utilização desses termos também envolve a compreensão de outros conceitos, tais como: “distribuição potencial e distribuição real” e “nicho fundamental e nicho realizado”. Em um levantamento realizado por Peterson e Soberón (2012a) no portal de periódicos Web of Science, foi verificado que, em 242 artigos, os estudos de modelagem de distribuição de espécies são predominantes (71%) em relação aos de modelagem de nicho (28%). Embora os modelos apresentem muitas semelhanças, a diferença principal está nas hipóteses das pesquisas abordadas.

O diagrama de BAM, proposto por Soberón e Peterson (2005), é a forma mais didática para compreender o uso apropriado dos termos e conceitos apontados previamente. Esse diagrama é apresentado a seguir, com a castanheira-da-amazônia como exemplo. O diagrama foi construído e discutido por meio de um grupo focal¹ que ocorreu na Embrapa Amapá em novembro de 2016², que contou com a participação de pesquisadores especialistas na ecologia da espécie e membros do Mapeamento de Castanhais Nativos e Caracterização Socioambiental e Econômica de Sistemas de Produção da Castanha-do-Brasil na Amazônia – MapCast (2014-2018), coordenado pela Embrapa.

Diagrama de BAM para *Bertholletia excelsa*

BAM é um conceito de três dimensões – biótico, abiótico e mobilidade (ou acessibilidade) – que definem a presença ou a ausência de uma espécie (Soberón; Peterson, 2005). Esse conceito hipotético foi observado para o contexto da castanheira-da-amazônia, uma espécie arbórea que ocorre no bioma Amazônia, nomeado com a letra (G). Nesse bioma, existem áreas com condições abióticas (A) (solos, clima e topografia) favoráveis, mas cuja instabilidade provoca limitações fisiológicas na espécie; e condições bióticas (B) (espécie, polinizadores, dispersores – animais e humanos, competidores, entre outras interações) que influenciam no controle populacional. A intersecção de A e B é a área totalmente adequada para a espécie, considerada área de distribuição potencial da espécie (DP). Entretanto, essa área pode não ser totalmente ocupada devido às condições de acessibilidade (M) causadas por limitação de dispersão, barreiras geográficas e/ou fatores antrópicos que limitam o acesso às áreas potenciais. A intersecção de A, B e M forma a chamada área de distribuição real (DR), ou seja, aquela realmente ocupada pela espécie e que pode ser considerada seu nicho realizado (Figura 1).

Durante a discussão sobre os fatores bióticos e abióticos no grupo focal, os pesquisadores selecionaram 29 preditores ambientais que podem estar relacionados com a ocorrência e o desenvolvimento da espécie e cujos dados encontram-se disponíveis na escala de aproximadamente 1 km de resolução espacial no bioma

¹ Grupo focal: método de pesquisa das ciências sociais aplicado para um grupo de pessoas.

² Discussão realizada durante o workshop “Modelagem MaxEnt e sua aplicação na estimativa de áreas preferenciais à ocorrência de *B. excelsa* na Embrapa Amapá, em 09-11-2016”.

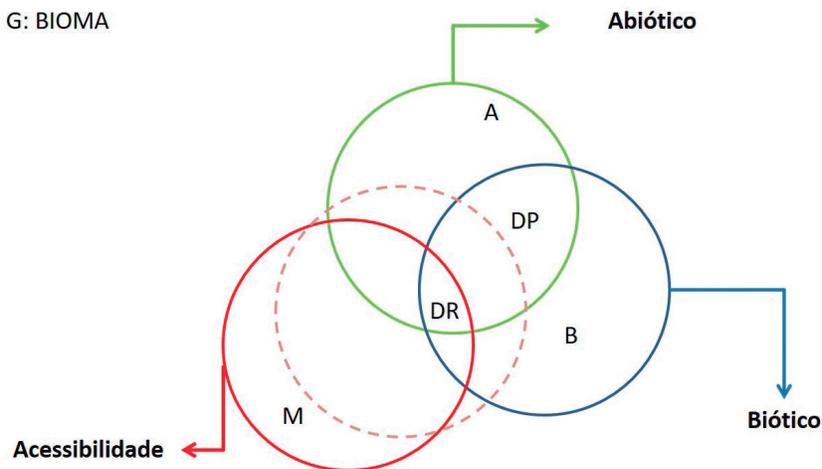


Figura 1. Diagrama de BAM para *Bertholletia excelsa*. O bioma amazônico é representado pela letra G; as condições abióticas, pela letra A e pelo círculo na cor verde; as condições bióticas, pela letra B e pelo círculo na cor azul; as condições de acessibilidade, pela letra M e pelo círculo na cor vermelha; DR para área de distribuição real da espécie; DP para área de distribuição potencial da espécie; e linha tracejada representa condições que favorecem a acessibilidade da espécie às áreas potenciais.

Fonte: Adaptado de Soberón e Peterson (2005).

Amazônia³. Além disso, eles destacaram duas circunferências para a dimensão “acessibilidade”, pois existem algumas condições que favorecem a presença da espécie na área potencial (linha tracejada) e outras que limitam (linha sólida), ambas influenciadas por fatores naturais e antrópicos. Segundo os pesquisadores, a literatura tem intensamente discutido a capacidade de expansão de castanhais por contribuições humanas. Entretanto, por meio de curvas diamétricas da espécie, sabe-se que existe um declínio na população de castanheiras em florestas naturais preservadas devido à baixa capacidade de regeneração da espécie em áreas altamente sombreadas. Como os indivíduos jovens de castanheiras são dependentes de clareiras naturais ou antrópicas para seu estabelecimento, em algumas áreas utilizadas pela agricultura itinerante de pousio longo, como a praticada por populações indígenas e extrativistas, e até mesmo em áreas de

³ Um banco de dados com 102 preditores ambientais foi organizado para a tese da primeira autora. A tabela com os 29 preditores ambientais selecionados pelos especialistas encontra-se disponível na publicação Tourne et al. (2019), material suplementar.

reflorestamento, têm-se observado taxas elevadas de regeneração da espécie. Isso não é observado, no entanto, em relação à abertura mecanizada de grandes áreas para o agronegócio de commodities, cuja expansão provoca redução da acessibilidade da espécie às áreas potenciais, pela fragmentação, alteração e destruição do seu hábitat. Desse modo, mesmo que indivíduos isolados de castanheira sejam encontrados nas pastagens, em plantios de soja (*Glycine max*) ou de dendê (*Elaeis guineenses*), a funcionalidade da espécie nesses agroecossistemas é seriamente comprometida.

Evidências sobre a distribuição potencial de castanheiras

Estudos de modelagem de distribuição potencial para a castanheira-da-amazônia foram realizados nas últimas duas décadas, sendo o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Conservação Internacional pioneiros na modelagem para identificar áreas críticas para a conservação da biodiversidade paraense. Em 2009, eles apresentaram um mapa de distribuição da castanheira-da-amazônia no Pará (Albernaz; Avila-Pires, 2009), com algumas limitações metodológicas devido à escassez de dados de presença, limitadas variáveis ambientais e ausência de controle de tendências espaciais. Em 2014, outro estudo liderado pela Bioversity Internacional e World Agroforestry Centre (Icraf) foi publicado no *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* e trouxe descobertas inéditas em relação à distribuição da espécie observada em uma larga escala temporal. Os autores modelaram e caracterizaram a distribuição da castanheira sob diferentes condições climáticas (passado, presente e futuro) e em toda a extensão do bioma Amazônia (Thomas et al., 2014), conforme pode ser verificado na Figura 2.

Os autores constataram, baseados em evidências paleobotânicas e na distribuição da espécie modelada para diferentes passados climáticos, que, durante o período glacial (~21,000 BP), as populações de castanheiras teriam sido restritas principalmente ao sul da bacia amazônica, nos chamados refúgios. No entanto, no médio holoceno (~6,000 BP), houve expansão de condições favoráveis, o que gerou uma distribuição da espécie semelhante aos padrões atuais. Além disso, os autores modelaram cenários futuros baseados apenas em alterações das condições climáticas para a castanheira, e os resultados evidenciaram um futuro positivo para a espécie, com expansão do seu hábitat adequado – de 1,3 para 7 milhões de quilômetros quadrados até 2089. No entanto, eles destacaram que, para tomada de decisão sobre conservação e manejo, é necessário considerar outras variáveis na paisagem, tais como uso do solo e limitações de dispersores.

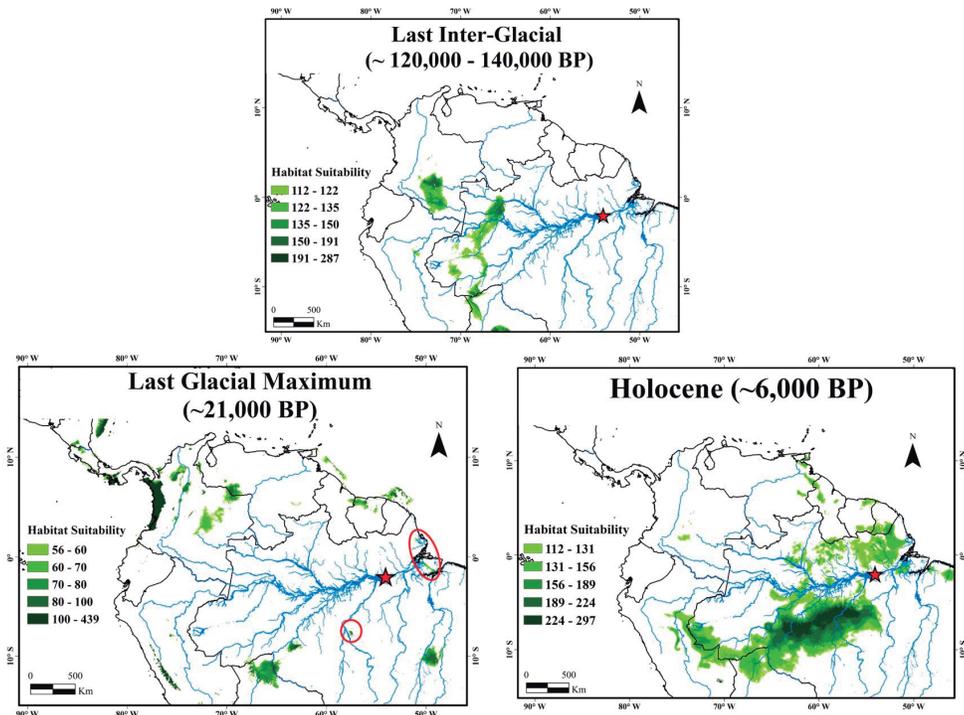


Figura 2. Mapas de adequabilidade de hábitat para a castanheira-da-amazônia. Os mapas foram obtidos a partir de projeções de passados climáticos (máximo glacial e holoceno). A cor verde indica a faixa de adequabilidade de hábitat; os círculos vermelhos indicam a localização de pequenas áreas onde as condições favoráveis podem ter prevalecido no modelo; e a estrela vermelha indica a localização da caverna da Pedra Pintada, onde os mais antigos espécimes de castanheira-da-amazônia foram encontrados, 11 mil anos antes do presente (BP).

Fonte: Thomas et al. (2014).

Eles ressaltaram que os distúrbios antropogênicos são determinantes para mudar as condições favoráveis, podendo ampliá-las, em casos moderados, bem como restringi-las. Em termos metodológicos, Thomas et al (2014) utilizaram diversas variáveis e modernas técnicas para ajustar os modelos, entretanto o modelo de distribuição potencial final apresentou elevado grau de sobreajuste relacionado aos dados de presença utilizados, ou seja, um modelo que tende a prever principalmente em áreas onde existem pontos de presença, e aponta baixa probabilidade de ocorrência em áreas com pouca ou nenhuma informação espacial. Tal situação foi visualizada, especialmente, em áreas historicamente reconhecidas como de ocorrência da espécie na Amazônia Oriental, especialmente no Pará e Amapá.

Em 2019, outra publicação, liderada pela Universidade de São Paulo em parceria com pesquisadores do projeto MapCast e Bioversity Internacional, traz um novo modelo de distribuição da castanha-da-amazônia, gerado por meio da integração de análises estatísticas, técnicas de geoprocessamento e conhecimento de especialistas (Tourne et al., 2019). Os autores enriqueceram o banco de ocorrências utilizado por Thomas et al. (2014) de 936 para 3,325 pontos de ocorrência, com dados de presença registrados em parcelas permanentes de projetos coordenados pela Embrapa – projetos Kamukaia⁴ e MapCast, além de dados de outros pesquisadores em particular. Os autores também processaram mais de 100 variáveis e covariáveis ambientais (clima, solo e topografia) em formato adequado para modelagem e realizaram análises uni e multivariadas dos dados, combinando estas com os conhecimentos de especialistas, para seleção de preditores. As etapas metodológicas seguidas para elaborar o modelo de distribuição potencial foram resumidas em um quadro para facilitar a compreensão e a replicabilidade da pesquisa (Figura 3).

Esse mais recente estudo de modelagem de distribuição potencial da castanha-da-amazônia no bioma confirma que a espécie possui uma ampla distribuição (32% do bioma), equivalente a 2,3 milhões de quilômetros quadrados de ambientes favoráveis para sua ocorrência (Figura 4). Esse modelo apresentou um erro de omissão de 11% e acurácia média de 80%, bem como também apresentou poder preditivo para mapear áreas favoráveis à espécie no Amazonas, no Pará e no Amapá, onde os estudos anteriores mostravam dificuldade nas estimativas. Além disso, os resultados mostraram as cinco variáveis com maiores contribuições para o modelo: altitude (19,4%), fragmentos grosseiros do solo > 2mm (18,3%), fração argila (18,2%), declividade (11,9%) e evapotranspiração potencial anual (6,9%). Esses resultados correspondem aos estudos de populações que apontam a importância das variáveis de solo na ecologia e na produtividade da castanha (Costa et al., 2017; Kainer et al., 2007). A baixa contribuição das variáveis de clima foi justificada pela baixa variabilidade dos dados na resolução espacial adotada (~1 km). Mesmo assim, a evapotranspiração potencial contribuiu com 7% no ajuste do modelo, e esse resultado tem sentido ecológico, uma vez que a castanha-da-amazônia é uma espécie emergente e recebe altos níveis de radiação solar na sua área de copa. Isso causa uma predisposição a perder grande quantidade de água para a atmosfera, e a água que fica disponível para a planta é tão importante para

⁴ Projeto Kamukaia – Valorização dos produtos florestais não madeireiros na Amazônia (em andamento – 3ª fase).

a produção de frutos que estudos já apontaram queda de produção nos períodos secos (Kainer et al., 2007; Thomas et al., 2017; Pastana et al., 2021).

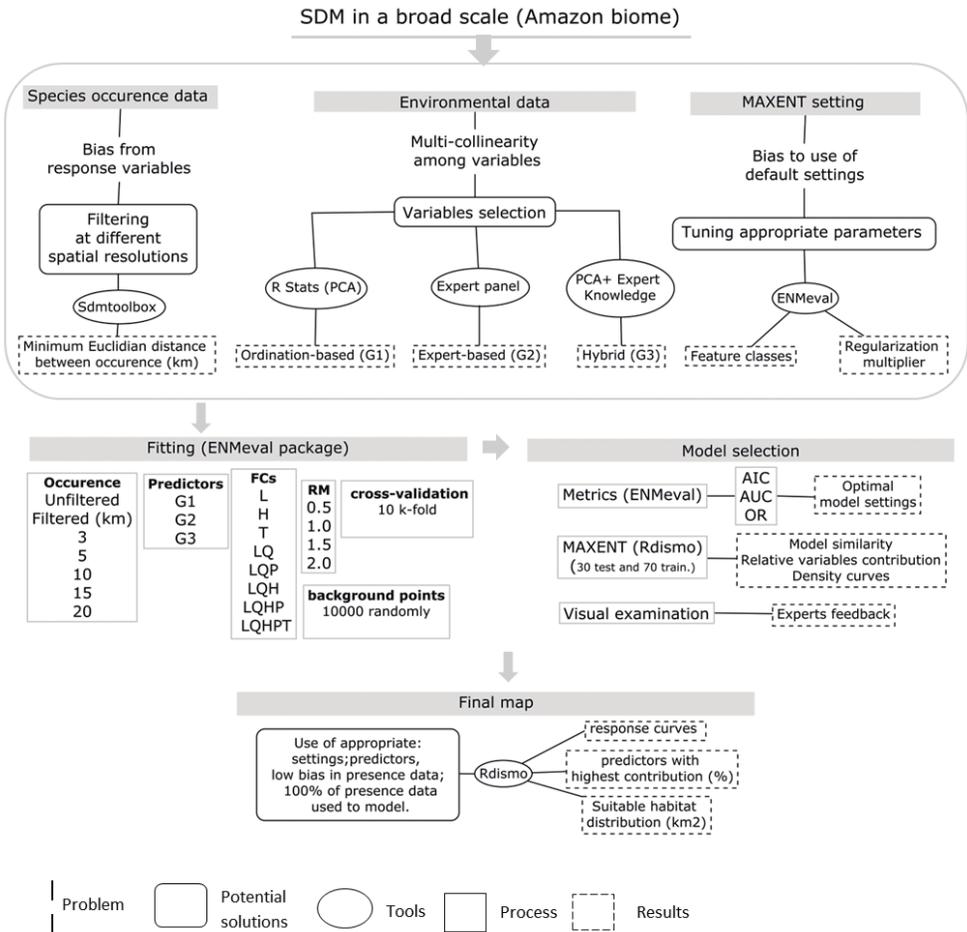


Figura 3. Sequência metodológica para construção do modelo de distribuição potencial e identificação do hábitat adequado da castanheira-da-amazônia.

Fonte: Tourne et al. (2019).

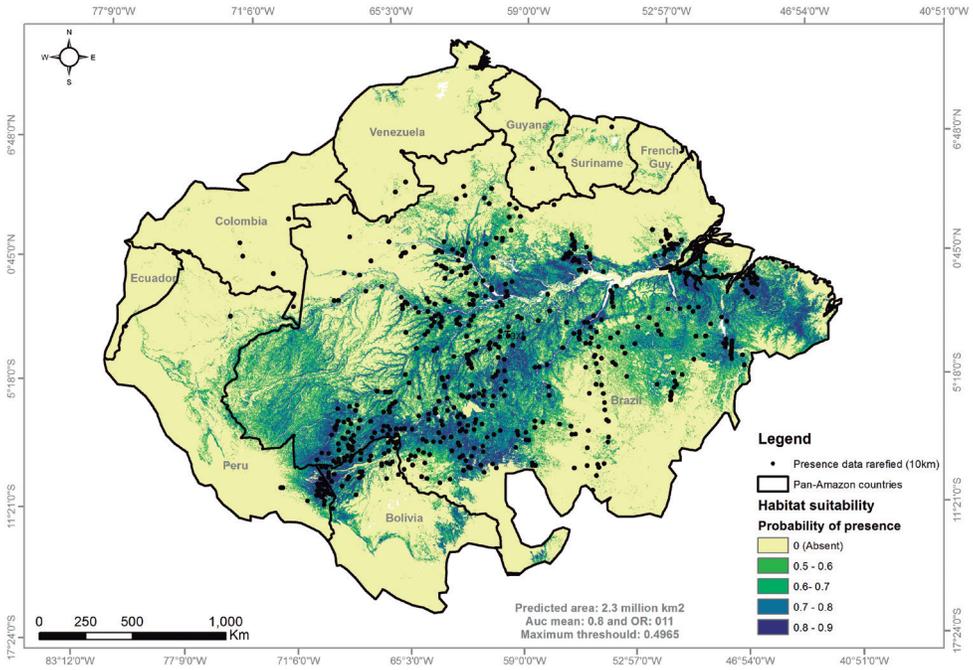


Figura 4. Distribuição do habitat estimado para a castanha-da-amazônia modelada. Os pontos pretos indicam localização da espécie, filtrados para uma distância mínima de 10 km (distância adequada para evitar tendências espaciais na modelagem desse banco de dados); a graduação de cores do amarelo ao azul indicam de baixa a alta probabilidade de presença da espécie.

Fonte: Tourne et al. (2019).

Para avaliar a influência das variáveis de clima, solo e topografia sobre a distribuição potencial da castanha-da-amazônia em uma escala menor, os pesquisadores do projeto MapCast selecionaram o Amapá e uma unidade de conservação de 502 mil hectares no sul do estado, a Reserva Extrativista do Rio Cajari (Resex Cajari) para fazer um estudo de caso de modelagem (Figura 5). A aplicação dessa escala mais refinada foi possível devido às mais de 70 mil árvores de castanheiras mapeadas no estado. O estudo verificou que as castanheiras ocorrem na parte sudoeste do Amapá e que as variáveis que mais contribuem para o modelo variam de acordo com a escala; por exemplo, as variáveis de clima foram mais representativas no estado e as de solo, por sua vez, na Resex Cajari (Costa, 2018).

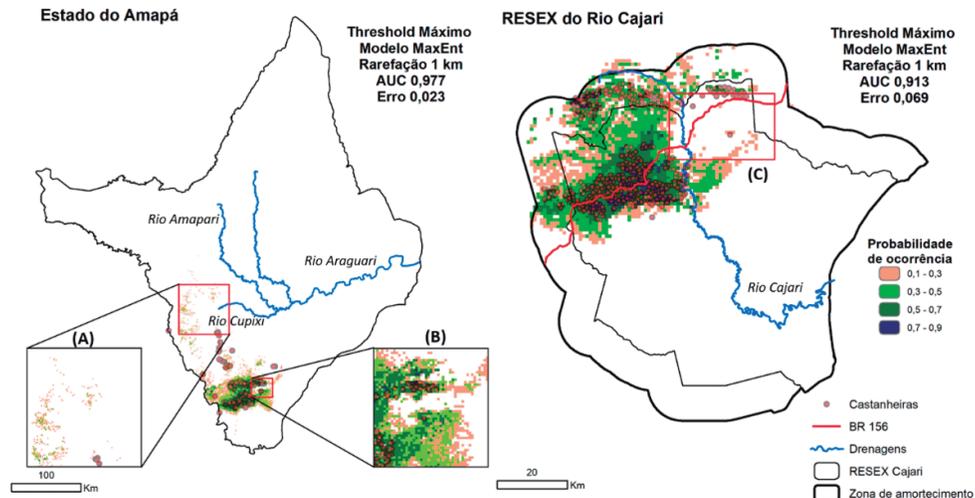


Figura 5. Distribuição potencial da castanheira-da-amazônia no Amapá (à esquerda) e na Resex do Rio Cajari (à direita). A graduação de cores, do rosa ao azul, indicam de baixa a alta probabilidade de ocorrência da espécie, e os quadrados A, B e C indicam áreas importantes para avaliação do modelo.

Fonte: Costa (2018).

No modelo estadual, a precipitação do mês mais chuvoso contribuiu com 44,5% da variabilidade explicada pelo modelo; isso demonstrou ser essa uma variável importante para ajudar a distinguir presença e ausência de castanheiras no Amapá. Entretanto, no norte do estado, onde os níveis de pluviosidade são mais altos, o modelo não aponta ocorrência da espécie nesses ambientes, o que levanta a hipótese de estes níveis serem um fator limitante. Na opinião dos especialistas consultados nesse estudo, essa variável pode ser combinada com a precipitação no trimestre mais seco, porque alguns eventos fenológicos, como a floração, ocorrem no período seco e atuam como uma expressão da planta à falta de água no solo. Na Resex do Rio Cajari, as variáveis textura do solo, fragmentos grosseiros maiores > 2 mm e matéria orgânica destacaram-se em todos os modelos; isso concorda com a paisagem da Resex, que possui diferentes classes de solo e estruturas de vegetação bem definidas. Já as variáveis topográficas não foram muito significativas nesse estudo de caso. Esse estudo também revela a necessidade de maiores coletas de dados em áreas apontadas pelo modelo com baixa probabilidade de presença, porém com relatos de ocorrência da espécie, como foi o caso da área A, próxima ao rio Cupuxi. Por outro ângulo, nas áreas de savana *stricto sensu* (A e B), o modelo apontou ausência da espécie, e isso condiz com a realidade.

Todas essas pesquisas demonstraram que é possível estimar a distribuição da castanheira-da-amazônia a partir de dados de presença e variáveis ambientais. Entretanto, para melhores ajustes dos modelos, são necessários dados ambientais coletados em maior escala de detalhamento e mais bem distribuídos no bioma, isso porque os estudos existentes são restritos a algumas regiões. Além disso, a distribuição da espécie no habitat é descontínua, ou seja, a espécie apresenta padrão aleatório em alguns lugares e agrupada em outros. Em Roraima, por exemplo, foi identificado que os indivíduos adultos apresentam padrão aleatório e os jovens possuem tendência ao agrupamento (Tonini et al., 2008), comportamento similar ao encontrado no Acre (Wadt et al., 2005). Nos castanhais avaliados no Amapá, os valores de densidade encontrados foram quatro vezes maiores que os do Acre (Neves et al., 2016) e no Amazonas, embora tenha sido encontrado um padrão aleatório, as áreas com maior densidade indicam padrão agrupado a regular (Alvez et al., 2017). Já no Pará, o padrão agrupado e a alta densidade de plantas vêm sendo reportados (Salomão, 2009). Esses padrões de densidade e distribuição das populações podem ser reflexo das condições ambientais ou genéticas, que precisam ser modelados separadamente ou combinados, estudados e discutidos para auxiliar o planejamento de conservação e uso sustentável da espécie.

Dificuldades na disponibilidade de dados para inferências e projeções

A qualidade dos modelos de distribuição de uma espécie, ou seja, a acurácia com que a distribuição é estimada, depende sobretudo dos dados disponíveis. As principais dificuldades quanto a isso são descritas a seguir.

– **Registros de presença:** geralmente são condicionados a áreas de fácil acesso, catalogadas em museus de história natural e herbários, armazenados em banco de dados de agências de pesquisa, em banco de dados de alunos de pós-graduação, ou coletados por organizações não governamentais que apoiam estudos de conservação. Quando organizados em banco único, evidenciam áreas sub-representadas ou sobre-representadas, o que resulta em tendências espaciais nos modelos de distribuição (Thomas et al., 2014; Tourne et al., 2019). Além disso, as coleções de registros podem apresentar diversas incertezas quanto à localização dos espécimes, devido à imprecisão de dados antigos, erros de geolocalização, coordenadas com sistemas de projeções não indicados, mudanças taxonômicas, entre outros problemas que precisam ser atentamente avaliados (Franklin et al.,

2017). Uma alternativa são os métodos de filtragem espacial para corrigir as tendências e melhorar a performance dos modelos (Boria et al., 2014; Kramer-Schadt et al., 2013).

– **Registros de ausência:** uma das principais limitações nos bancos para modelagem de populações são os dados de ausências, pois são raros os estudos que refletem a ausência real da espécie. Isso acontece, sobretudo, no caso de espécies ameaçadas por perturbações humanas ou sujeitas a barreiras ecológicas, que ocupam uma pequena área do hábitat adequado (Cianfrani et al., 2010). Por isso, os dados de ausências devem ser utilizados com cautela, para não enviesar o modelo, visto que essa informação é essencial em todos os algoritmos de modelagem de distribuição espacial. A seleção de pontos de background ou pseudoausência foi uma estratégia adotada para modelos gerados com dados somente de presença, como o Maxent (Phillips; Dudík, 2008).

– **Dados abióticos:** nos últimos anos, houve um aumento na disponibilidade de planos de informação espacial de variáveis (e covariáveis) ambientais. A base de dados sobre variações no clima mundial Worldclim (Fick; Hijmans, 2017) é um excelente exemplo de oferta de dados climáticos para modelagem espacial, baseado em interpolações de médias históricas e condições futuras (Hijmans et al., 2005). Os dados são oferecidos em diversas resoluções espaciais, a mais recente delas está disponível na escala de aproximadamente 1 km² (Fick; Hijmans, 2017). Outras bases de dados também são disponibilizadas na escala global, como é o caso de solos (Hengl et al., 2014) e topografia (USGS produtos⁵). Entretanto, a multicolinearidade entre preditores é um sério problema estatístico que precisa ser minimizado quando covariáveis são utilizadas como variáveis independentes e causam redundância de informação, com efeitos negativos nas estimativas dos coeficientes de regressão (Dormann et al., 2013). Para reduzir essa tendência, a análise dos componentes principais (PCA) tem sido a técnica multivariada mais utilizada nos estudos de modelagem (Cruz-Cárdenas et al., 2014) e, quando associada ao conhecimento de especialistas, tem aumentado a performance dos modelos (Tourne et al., 2019).

– **Dados bióticos:** os dados de interações bióticas, especialmente da fauna, são muito raros, mas extremamente necessários, pois aumentam o poder preditivo dos modelos, tanto de distribuição potencial quanto de distribuição real da espécie. A carência desses dados é maior na região amazônica, onde os inventários faunísticos são pouco reportados, por ocorrer de forma muito lenta e em pequena

⁵ Disponível em: <https://data.usgs.gov/datacatalog/>.

escala. Vale ressaltar que nas unidades de conservação o programa Arpa⁶ (Áreas Protegidas da Amazônia), iniciado em 2002, trouxe riquíssimas informações sobre a biodiversidade amazônica inventariada para os grupos da flora, dos invertebrados, dos peixes, dos anfíbios, dos répteis, das aves e dos mamíferos.

O uso da distribuição espacial da castanheira em estratégias de pesquisa e conservação

Em geral, as variações na densidade e distribuição espacial de espécies dependem da escala de estudo considerada. Para a castanheira, além da escala, pode-se verificar que sua ocorrência é dependente da tipologia florestal (Neves et al., 2016), da similaridade genética, da dispersão de sementes e pólen (Sujii et al., 2015), da influência de populações pré-colombianas (Clement et al., 2015), das recentes explorações florestais – madeireira e não madeireira (Tonini; Baldoni, 2019) – e dos fatores biofísicos – clima, solos e topografia (Costa, 2018; Tourne et al., 2019). Todos esses estudos expõem as causas complexas que determinam a distribuição da castanheira-da-amazônia e, ao mesmo tempo, demonstram que estudos de populações não devem ser dissociados da modelagem, mas, sim, combinados para aumentar a qualidade das estimativas.

A ocorrência da castanheira em todos os estados do bioma Amazônia no Brasil, assim como nos outros países que compõem a Pan-Amazônia⁷, confirma por que a espécie é um símbolo da região. Ela é um ícone da necessidade de conservação da floresta em pé a partir do seu uso e manejo, o que evidencia que essa é uma estratégia mais efetiva para a proteção da Amazônia do que a preservação total, sob regime de comando e controle. Sob o ponto de vista de conservação da espécie, por meio dos modelos de distribuição, é possível calcular o percentual e a extensão do hábitat potencial da espécie. Em áreas protegidas, como nas unidades de conservação de uso sustentável e terras indígenas, onde é possível manter a atividade agroextrativista familiar, essas informações podem contribuir para a dispersão da espécie, além de auxiliar nas ações de gestão dessas áreas.

⁶ Programa do governo federal coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e gerenciado financeiramente pelo Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO). O programa encontra-se na fase III desde 2014.

⁷ Venezuela, Peru, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa e Suriname.

Em relação às áreas aptas para plantio, recomenda-se o plantio em áreas potenciais para a sua ocorrência, mesmo que estas não estejam ocupadas pela espécie, seja por um fator geográfico, seja por um fator humano. Devem-se priorizar os plantios integrados aos sistemas agrícolas familiares, por contribuírem para a geração de renda no curto e médio prazo, por gerarem distúrbios intermediários que facilitam o estabelecimento da espécie e por contribuírem para a manutenção da sociobiodiversidade típica do modo de vida extrativista amazônico.

Contribuições da modelagem de distribuição potencial para a cadeia de valor da castanha-da-amazônia

A produção de castanha na Amazônia brasileira vem apresentando tendência de queda há vários anos, seja pelo envelhecimento dos castanhais, seja pela susceptibilidade às mudanças climáticas das castanheiras mais velhas, seja por questões mercadológicas e organizacionais que dificultam o extrativismo da castanha, como é o caso da questão logística. O transporte da castanha é um dos principais gargalos da cadeia produtiva, problema esse maximizado pela falta de planejamento e conhecimento detalhado dos locais de produção e rotas de escoamento. Esses problemas, assim como o planejamento de políticas públicas e os investimentos privados em novas agroindústrias, também podem ser mais bem tratados com o uso adequado das informações espaciais das áreas de ocorrência das castanheiras.

A informação de que menos da metade do bioma amazônico possui condições potenciais para o desenvolvimento da castanheira (32%) levanta um alerta para a valoração de serviços ecossistêmicos oferecidos pelas populações existentes e conservadas (Tourne et al. 2019). Além disso, desperta a necessidade de olhar para o manejo sustentável na coleta dos frutos e de ter um comércio justo para a valorização, nacional e internacional, das comunidades, cooperativas e empresas que atuam nessa cadeia de valor.

A probabilidade da distribuição da espécie pode ser usada para orientar o pagamento ou a compensação pelos serviços ambientais de povos que manejam e ajudam a conservar e criar um hábitat favorável às castanheiras e às florestas associadas. Essas informações podem também ser combinadas com dados de inventário para orientar os manejadores sobre as necessidades de enriquecimento e adensamento de castanhais nativos, com o objetivo de aumentar a produção de frutos com menor esforço laboral. A localização dos castanhais e a quantificação dos estoques de

populações disponíveis são fundamentais para agregar os valores da bioeconomia à sua cadeia de valor, o que, recentemente, vem ganhando força como estratégia de conservação da Amazônia.

Referências

- ALBERNAZ, A. L. K. M.; AVILA-PIRES, T. C. S. (org.). **Espécies ameaçadas de extinção e áreas críticas para a biodiversidade no Pará**. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi: MCT: Conservation International, 2009. 54
- ALVES, T. C. V.; SILVA, K.E. da S.; AGUIAR, A. L. da S. A. Distribuição espacial de *Bertholletia excelsa* BONPL. em duas formações florestais no estado do Amazonas. In: SEMANA FLORESTAL UFAM, 2017, Manaus. **Anais...** Manaus: Eco & Companhia, 2017. p. 96-98.
- BAIDER, C. **Demografia e ecologia de dispersão de frutos de *Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl. (Lecythidaceae) em castanhais naturais silvestres da Amazônia Oriental**. 2000. (Doctoral Thesis) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology from individuals to ecosystems**. 4. ed. United Kingdom: Blackwell Publishing, 2006.
- BORIA, R. A.; OLSON, L. E.; GOODEMAN, S. M.; ANDERSON, R. P. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. **Ecological Modelling**, v. 275, p. 73–77. Mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.12.012>
- CARDOSO, B. R.; DUARTE, G. B. S.; REIS, B. Z.; COZZOLINO, S. M. F. Brazil nuts: nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, p. 9-18, Sept. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.036>.
- CIANFRANI, C.; LE LAY, G.; HIRZEL, A. H.; LOY, A. Do habitat suitability models reliably predict the recovery areas of threatened species? **Journal of Applied Ecology**, v. 47, n. 2, p. 421-430, Apr. 2010 DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01781.x>.
- CLEMENT, C. R.; DENEVAN, W. M.; HECKENBERGER, M. J.; JUNQUEIRA, A. B.; NEVES, E. G.; TEIXEIRA, W. G.; WOODS, W. I. The domestication of Amazonia before European conquest. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1812, Aug. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0813>.
- COSTA, F. F. **Ocorrência e estrutura vertical de florestas com castanheiras na Amazônia brasileira**. 2018. 88 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- COSTA, M. G.; TONINI, H.; MENDES, P. Atributos do solo relacionados com a produção da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*). **Floresta e Ambiente**, v. 24, , p. 1-10, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.004215>.
- COTTA, J. N.; KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1-2, p. 28-35, July 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.026>.
- CRUZ-CÁRDENAS, G.; LÓPEZ-MATA, L.; VILLASEÑOR, J. L.; ORTIZ, E. Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 85, n. 1, p. 188-199, Mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.36723>.

DORMANN, C. F.; ELITH, J.; BACHER, S.; BUCHMANN, C.; CARL, G.; CARRÉ, G.; MARQUÉZ, J. R. G.; GRUBER, B.; LAFOURCADE, B.; LEITÃO, P. J.; MÜNKEMÜLLER, T.; McCLEAN, C.; OSBORNE, P. E.; REINEKING, B.; SCHRÖDER, B.; SKIDMORE, A. K.; ZURELL, D.; LAUTENBACH, S. Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. **Ecography**, v. 36, n. 1, p. 27–46. Jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, n. 1, p. 677–697, Dec. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, Oct. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.

FRANKLIN, J. **Mapping species distributions: spatial inference and prediction**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010. (Ecology, biodiversity and conservation). DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511810602>.

FRANKLIN, J.; DAVIS, F. W.; IKEGAMI, M.; SYPHARD, A. D.; FLINT, L. E.; FLINT, A. L.; HANNAH, L. Modeling plant species distributions under future climates: how fine scale do climate projections need to be? **Global Change Biology**, v. 19, n. 2, p. 473–483, Feb. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12051>.

FRANKLIN, J.; SERRA-DIAZ, J. M.; SYPHARD, A. D.; REGAN, H. M. Big data for forecasting the impacts of global change on plant communities. **Global Ecology and Biogeography**, v. 26, n. 1, p. 6–17. Jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12501>

GUEDES, M. C.; NEVES, E. de S.; RODRIGUES, E. G.; PAIVA, P.; COSTA, J. B. P. C.; FREITAS, M. F.; LEMOS, L. M. de. 'Castanha na roça': expansão da produção e renovação dos castanhais em áreas de agricultura itinerante no Amapá, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 419, n. 2, p. 381–398, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.532>.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, v. 8, n. 9, p. 993–1009, Sept. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>.

HAUGAASEN, J.; HAUGAASEN, T.; PERES, C.; GRIBEL, R.; WEGGE, P. Seed dispersal of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) by scatter-hoarding rodents in a Central Amazonian Forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 26, n. 3, p. 251–262, May 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467410000027>.

HENGL, T.; JESUS, J. M.; MACMILLAN, R. A.; BATJES, N. H.; HEUVELINK, G. B.M.; RIBEIRO, E.; SAMUEL-ROSA, A.; KEMPEN, B.; LEENAARS, J. G. B.; WALSH, M. G.; GONZALEZ, M. R. SoilGrids1km – Global soil information based on automated mapping. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, e105992, Aug. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105992>.

HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965–1978. Nov. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>

HOMMA, A. K. O.; MENEZES, J. A. E. A.; MAUÉS, M. M. Castanheira-do-pará: os desafios do extrativismo para plantios agrícolas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 9, n. 2, p. 293–306, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.526>.

KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 244-255, Oct. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.024>.

KRAMER-SCHADT, S.; NIEDEBALLA, J.; PILGRIM, J. D.; SCHRÖDER, B.; LINDENBORN, J.; REINFELDER, V.; STILLFRIED, M.; HECKMANN, I.; SCHARF, A. K.; AUGERI, D. M.; CHEYNE, S. M.; HEARN, A. J.; ROSS, J.; MACDONALD, D. W.; MATHAI, J.; EATON, J.; MARSHALL, A. J.; SEMIADI, G.; RUSTAM, R.; BERNARD, H.; ALFRED, R.; SAMEJIMA, H.; DUCKWORTH, J. W.; BREITENMOSER-WUERSTEN, C.; BELANT, J. L.; HOFER, H.; WILTING, A. The importance of correcting for sampling bias in MaxEnt species distribution models. **Diversity and Distributions**, v. 19, n. 11, p. 1366–1379. July 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12096>.

NEVES, E. S.; WADT, L. H. O.; GUEDES, M. C. Estrutura populacional e potencial para o manejo de *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) em castanhais nativos do Acre e Amapá. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 19-31, mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v44n109.02>.

PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 508-514, Feb. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.001>.

PASTANA, D. N. B.; MODENA, E. S.; WADT, L. H. O.; NEVES, E. S.; MARTORANO, L. G.; LIRA-GUEDES, A. C.; SOUZA, R. L. F.; COSTA, F. F.; BATISTA, A. P. B.; GUEDES, M. C. Strong El Niño reduces fruit production of Brazil-nut trees in the eastern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 51, n. 3. p. 270-279, jul./sep. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392202003702>.

PETERSON, A.; SOBERÓN, J. Integrating fundamental concepts of ecology, biogeography, and sampling into effective ecological niche modeling and species distribution modeling. **Plant Biosystems: An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 146, n. 4, p. 789-796, 2012a. DOI: <https://doi.org/10.1080/11263504.2012.740083>.

PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. **Natureza & Conservação**, v. 10, n. 2, p. 102-107, Dec. 2012b. DOI: <https://doi.org/10.4322/natcon.2012.019>.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, Jan. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.

PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M. Modeling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, v. 31, p. 161–175. Jan. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906.7590.05203.x>

PORCHER, V.; THOMAS, E.; GOMRINGER, C. R.; LOZANO, B. R. Forest ecology and management fire and distance-dependent recruitment of the Brazil nut in the Peruvian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 427, p. 52-59, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.052>.

RIBEIRO, M. B. N.; JEROZOLIMSKI, A.; ROBERT, P.; SALLES, N. V.; KAYAPÓ, B.; PIMENTEL, T. P.; MAGNUSSON, W. E. Anthropogenic Landscape in Southeastern Amazonia: contemporary impacts of low-intensity harvesting and dispersal of Brazil nuts by the Kayapo´ indigenous people. **PLoS ONE**, v. 9, n. 7, e102187, 2014. DOI: [10.1371/journal.pone.0102187](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102187).

SALOMÃO, R. P. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira.

Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais, v. 4, n. 1, p. 11-25, jan./abr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v4i1.667> .

SALOMÃO, R. P. A castanheira:: história natural e importância socioeconômica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 259-266, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.524>.

SCHRODT, F.; SANTOS, M. J.; BAILEY, J. J.; FIELD, R. Challenges and opportunities for biogeography – What can we still learn from von Humboldt? **Journal of Biogeography**, v. 46, n. 8, p. 1631-1642, Aug. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.13616>.

SCOLES, R., CANTO, M. S.; ALMEIDA, R. G.; VIEIRA, D. P. Sobrevivência e frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em áreas desmatadas em Oriximiná, Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 555-564, out./dez, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.132015>.

SCOLES, R.; GRIBEL, R. The regeneration of Brazil nut trees in relation to nut harvest intensity in the Trombetas River valley of Northern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 265, n. 1, p. 71-81, Feb. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.027>.

SHEPARD JUNIOR, G. H.; RAMIREZ, H. “Made in Brazil”: human dispersal of the Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) in ancient Amazonia. **Economic Botany**, v. 65, p. 44-65, Mar. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12231-011-9151-6> .

SOBERÓN, J. M. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. **Ecography**, v. 33, n. 1, p. 159-167, Feb. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06074.x>.

SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**, v. 2, p. 1-10, Jan. 2005. DOI: <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4> .

SUJII, P. S.; MARTINS, K.; WADT, L. H. O.; AZEVEDO, V. C. R.; SOLFERINI, V.N. Genetic structure of *Bertholletia excelsa* populations from the Amazon at different spatial scales. **Conservation Genetics**, v. 16, n. 4, p. 955-964, Aug. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10592-015-0714-4>.

THOMAS, E.; ALCÁZAR CAICEDO, C.; LOO, J.; KINDTIII, R. The distribution of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) through time: from range contraction in glacial refugia, over human-mediated expansion, to anthropogenic climate change. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9. n. 2, p. 267-291, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.525>.

THOMAS, E.; VALDIVIA, J.; ALCÁZAR CAICEDO, C.; QUAEDEVLIIEG, J.; WADT, L. H. O.; CORVERA, R. NTFP harvesters as citizen scientists: validating traditional and crowdsourced knowledge on seed production of Brazil nut trees in the Peruvian Amazon. **PLOS ONE**, v. 12, n. 8, e0183743, Aug. 2017.. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183743>.

TONINI, H.; BALDONI, A. B. Structure and regeneration of *Bertholletia excelsa* Bonpl. in Brazil nut groves in the Amazon. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 607-621, abr./jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509822112>.

TONINI, H.; COSTA, P. da; KAMINSKI, P. E. Estrutura e produção de duas populações nativas de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 445-457, jul./set. 2008. DOI: <https://doi.org/10.5380/ff.v38i3.12410>.

TOURNE, D. C. M.; BALLESTER, M. V. R.; JAMES, P. M. A.; MARTORANO, L. G.; GUEDES, M. C.; THOMAS, E. Strategies to optimize modeling habitat suitability of *Bertholletia excelsa* in the Pan-Amazonia. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 22, p. 12623-12638, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.5726>.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371-384, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061>.

Capítulo 4

Estrutura populacional, dinâmica da produção de frutos e produtividade

Marcelino Carneiro Guedes; Rafael Lucas Figueiredo de Sousa; Daniele Alencar Gonçalves; Ediglei Gones Rodrigues; Dayane Nathália Barbosa Pastana; Felipe Felix da Costa; Patrícia da Costa; Kátia Emidio da Silva; Ana Cláudia Lira-Guedes; Lúcia Helena de Oliveira Wadt; Raimundo Cosme de Oliveira Júnior.

Introdução

Para o manejo sustentável dos recursos florestais, madeireiro ou não madeireiros, é necessário conhecimento sobre a ecologia da comunidade florestal, fundamentada em sua caracterização estrutural. Nesse sentido, a análise estrutural de uma floresta permite fazer deduções sobre a origem, as características ecológicas das espécies e da comunidade bem como sobre o dinamismo e as tendências do desenvolvimento das árvores, elementos básicos e fundamentais para o planejamento do manejo florestal. A manutenção da sustentabilidade do manejo vai depender diretamente da conservação da estrutura e da dinâmica ecológica da floresta.

O sucesso ecológico de uma árvore depende de sua habilidade para manter o crescimento e o acúmulo de carbono mesmo em ambientes espacial e temporalmente heterogêneos (Tremmel; Bazzaz, 1995; Weiner, 2004; Poorter; Rozendaal, 2008; Vincent; Harja, 2008; Ishii; Asano, 2010; Lida et al. 2011). Variáveis relacionadas à estrutura vertical da floresta e às copas das árvores, como sua forma e a disposição de galhos e folhas, afetam diretamente a capacidade fotossintética (King, 1986). Enquanto a altura da árvore determina sua posição no dossel e, assim, seu ambiente de luz, com efeitos diretos sobre as taxas fotossintéticas (King, 1981, 1996; Sposito; Santos, 2001), o diâmetro do tronco tem relação direta com o suporte mecânico e a manutenção do transporte de água e solutos (McMahon, 1973; Niklas, 1994; Bullock, 2000). Esse conjunto de variáveis define a arquitetura da árvore, que pode assumir variados formatos. Nesse sentido, a arquitetura das castanheiras

(*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é particularmente interessante e diferenciada, pois a espécie possui grandes copas, com mais de 30 m de diâmetro, tendo em vista que as árvores podem chegar a mais de 60 m de altura, provavelmente levando centenas de anos para atingir esse porte.

A arquitetura de uma castanheira adulta é, portanto, resultado não só das condições atuais, mas também de todos os fatores genéticos e ambientais que operaram sobre o crescimento desde sua germinação. Conforme Archibald e Bond (2003), a arquitetura de uma árvore adulta é resultado de exigências muitas vezes opostas, para atender várias funções, como crescimento, reprodução e defesa, durante todo seu desenvolvimento.

A estrutura populacional dos castanhais é uma informação importante para o manejo, considerando, por exemplo, as relações entre indivíduos juvenis e adultos. Isso tem implicações futuras para a manutenção ou as melhorias na produtividade dos castanhais, sugerindo ações específicas para cada situação. O manejo de castanhais nativos envolve diversos fatores, em função das variações geográficas das diferentes regiões de ocorrência da espécie na Amazônia e das diferentes práticas extrativistas.

A coleta dos frutos das castanheiras, popularmente conhecidos como ouriços, é uma atividade realizada em todos os estados da região Norte. A castanha-da-amazônia é um dos principais produtos florestais não madeireiros capazes de gerar riqueza para os agroextrativistas da região, e possui também importância social e cultural para os povos da Amazônia (Salomão, 2014). A produção dessa castanha depende quase que exclusivamente do extrativismo de castanheiras nativas, que ocorrem entremeadas na grande floresta. Entretanto, a produção das castanheiras varia nos diferentes estados e regiões, assim como ao longo dos anos. A produtividade de um castanhal depende diretamente de aspectos da estrutura populacional, principalmente de atributos da estrutura horizontal, como a densidade e a distribuição diamétrica das castanheiras. Além das variáveis estruturais, a produtividade também é dependente da variação temporal, pois há anos de alta produção que são alternados com anos em que a produção é baixa, como será mostrado nos resultados deste capítulo.

A variação na produção da castanha afeta diretamente o seu preço, viabilidade econômica e a oferta no mercado. Portanto, é importante para os comerciantes conhecer sobre sua variação ao longo dos anos, para uma adequada estimativa da

produtividade potencial em determinada área ou região, que também depende da produção de árvores individuais (Zuidema; Boot, 2002). Além de afetar as condições de comercialização, o conhecimento sobre a produção também é importante para subsidiar ações de manejo sustentável e conservação da espécie.

A variação natural na produção de castanha pode ser associada a diversos fatores e atributos individuais da própria castanheira ou do ambiente do entorno (Kainer et al., 2006; Neves et al., 2015; Wadt et al., 2015; Nogueira; Santana, 2018; Wadt et al., 2018; Batista et al., 2019), os quais são abordados em outros capítulos deste livro. Neste capítulo, o foco será a análise da variação da produtividade e da produção efetiva de castanhas nativas em diferentes regiões e durante vários anos de monitoramento bem como nas relações com a estrutura das populações. Assim, objetiva-se apresentar padrões de estrutura vertical e horizontal de castanheiras na Amazônia brasileira de modo a verificar também a associação entre variáveis como diâmetro, altura e volume. Atributos da estrutura horizontal, como a densidade, serão analisados para verificar se a produtividade é mais dependente da abundância de castanheiras do que de sua produção média individual. A produtividade, a produção efetiva de castanha e a variação temporal na produção de frutos serão avaliadas em diferentes ambientes e regiões da Amazônia.

Bases de dados e análises realizadas

Os dados aqui apresentados são originados principalmente de projetos executados pela Embrapa e por parceiros, como Kamukaia I e II, MapCast e EcoGenCast, em pelo menos cinco estados da Amazônia, mas não se limitam a esses. Também foi utilizada base de dados de outros projetos, como o Carbono Cajari, patrocinado pelo programa Petrobras Ambiental, cuja proponente foi a Associação de Trabalhadores Agroextrativistas do Alto Cajari (ASTEXCA), tendo o Instituto Estadual de Florestas (IEF-AP) e a Embrapa Amapá como coexecutores.

A estrutura vertical das castanheiras e da floresta associada foi discutida em função da variação de alguns atributos ao longo da estratificação do perfil do dossel. Foram analisados parâmetros como as alturas (total e comercial), a densidade foliar e o índice de área foliar em diferentes estratos de altura nos castanhais, a partir de dados obtidos por caminhamento dentro da floresta com uma plataforma que possui um sensor remoto que emite laser (Lidar).

Também foram utilizados dados de inventários das parcelas permanentes (300 m x 300 m) da rede Kamukaia, implantadas em seis estados da Amazônia (Guedes et al., 2017). Em cada parcela, todas as árvores de castanheiras com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 10 cm foram inventariadas e suas coordenadas UTM-WGS84 registradas.

As estruturas horizontais das diferentes populações de castanheiras-da-amazônia foram comparadas de acordo com a distribuição de frequência em classes de diâmetro, conforme sugerido por Wadt et al. (2005). Para demonstrar possíveis variações na distribuição espacial de castanheiras entre os estados, foi analisada a estrutura espacial utilizando função K de Ripley, conforme Baddley (2021). Essa é uma estatística descritiva do padrão espacial observado, com análise em diferentes escalas.

Também são apresentados resultados do monitoramento da produção de frutos e da produção efetiva de castanha realizado no âmbito da rede Kamukaia, em vários estados da Amazônia, desde o ano de 2005. Além da variação temporal da produção, são analisadas as interações da produção com a distribuição diamétrica das castanheiras. Dessa forma, espera-se trazer aqui uma síntese de importantes informações quantitativas e qualitativas sobre a dinâmica e a estrutura da produção de castanha-da-amazônia para subsidiar políticas, ações de mercado e manejo nas comunidades agroextrativistas.

Estrutura vertical

Densidade foliar ao longo do perfil vertical da floresta e altura das castanheiras

A análise da estrutura vertical de florestas com castanheiras-da-amazônia, em quatro diferentes estados da região, evidenciou que existe um padrão no perfil de densidade foliar dessas florestas (Costa, 2018). Esse autor, com auxílio do sensor remoto Lidar portátil terrestre, demonstrou que as florestas com castanheiras apresentam uma distribuição da densidade foliar ao longo do perfil vertical, com maior concentração nos estratos inferiores (Figura 1). Mesmo em florestas com diferentes alturas e densidades de castanheiras, o segundo estrato (8 m a 18 m de altura) sempre apresentou maior proporção da densidade foliar.

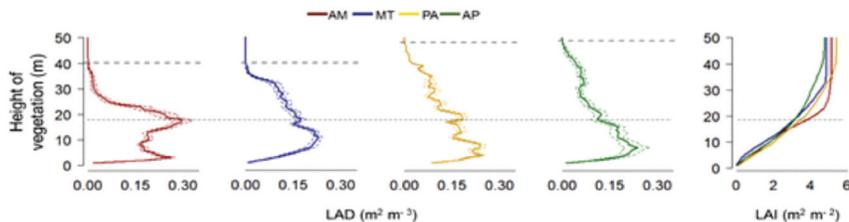


Figura 1. Média (linha vertical contínua) e erro-padrão (linha vertical tracejada) da densidade de área foliar (LAD) e índice de área foliar (LAI) cumulativo ao longo do perfil vertical de florestas com castanheiras. Linhas horizontais tracejada = altura máxima, pontilhada = altura do limite superior do segundo estrato (8 m a 18 m), de cada floresta. AM – Amazonas, MT – Mato Grosso, PA – Pará e AP – Amapá.

Fonte: Adaptado de Costa (2018).

Todas as avaliações foram realizadas em parcelas permanentes de 9 ha instaladas em florestas com castanheiras. Em cada parcela, foi realizado caminhamento em seis transectos de 300 m com a plataforma que emitia o laser e escaneava o dossel da floresta. No primeiro estrato (0 a 8 m de altura) e no segundo (8 m a 18 m), juntos, a densidade de área foliar acumulada foi maior ou igual a 50% do índice em todas as florestas, o que demonstra o padrão de acúmulo de área e a densidade foliar nos estratos inferiores nas florestas com castanheiras nos diferentes estados. Mesmo em florestas com diferentes densidades de castanheiras, há um predomínio de folhas da vegetação de sub-bosque e de árvores dominadas, em comparação com os outros três estratos acima de 18 m. O segundo estrato (8 m a 18 m) foi o que apresentou maior proporção da densidade foliar em todas as florestas.

No entanto, esse padrão não é exclusivo de florestas com castanheiras. Resultados semelhantes em florestas da Amazônia sem a presença de castanheiras foram encontrados por Stark et al. (2012, 2015). Portanto, a maior proporção do IAF nos estratos inferiores dessas florestas não pode ser relacionada às castanheiras, cujos indivíduos adultos sempre apresentam as copas acima dessa altura. Apesar de os sítios avaliados apresentarem diferentes densidades de castanheiras, sempre predomina a maior densidade foliar das plantas do sub-bosque e estratos inferiores. Isso pode ser reflexo da necessidade das plantas desses estratos, que recebem menos radiação, de desenvolverem mecanismos como aumento da quantidade, tamanho e posição das folhas, para ampliar sua capacidade fotossintética (Smith et al., 1992; Wirth et al., 2001; Jardim et al., 2007).

O teste de partição do qui-quadrado mostrou que, quando se considerada a proporção que a densidade foliar representa em cada estrato do IAF total, não

houve diferenças significativas entre as florestas dos diferentes estados. Somente a densidade no estrato V (> 35 m de altura) – que representa a parte superior e emergente mais associada às copas das castanheiras – do sítio florestal no Amapá foi estatisticamente diferente dos demais ($\chi^2 = 10.1337$; $p = 0.0015$). No Amapá, esse estrato (> 35 m de altura) representou 8,4% do IAF do perfil vertical, bem acima dos valores dos demais estados.

As florestas tropicais com ocorrência de castanheiras avaliadas em diferentes estados da Amazônia apresentaram, no geral, diferenças nas métricas de estrutura vertical derivadas do Lidar, como altura e rugosidade do dossel. Os sítios florestais na Amazônia Oriental (Amapá e Pará), onde foram localizadas as castanheiras com altura máxima acima de 50 m, apresentaram estrutura vertical mais elevada e, principalmente, maior altura média do dossel, em torno de 38 m.

A floresta com castanheiras avaliada no sítio do Amazonas apresentou a menor estrutura de altura, com valores abaixo de 30 m. Essa floresta também apresenta menor rugosidade e um IAF total elevado, demonstrando ser uma floresta densa com dossel bem homogêneo e padrão mais uniforme. Esse padrão também foi confirmado pela distribuição de frequência das alturas. As florestas localizadas no Amazonas e no Mato Grosso apresentaram menor dispersão e amplitude na distribuição, assim como maior concentração dos valores em torno da altura média, o que mostra que essas florestas têm um padrão de altura mais uniforme. As castanheiras no Amazonas e Mato Grosso também são menores, apresentando na média geral alturas abaixo de 36 m.

Os sítios florestais estudados na Amazônia brasileira apresentam abundância de castanheira semelhantes em três das quatro florestas avaliadas, no Amapá (12 cast. ha^{-1}), Pará (10 cast. ha^{-1}) e Mato Grosso (11 cast. ha^{-1}). Apenas a área no estado do Amazonas apresentou a menor abundância, com densidade de 5 cast. ha^{-1} .

Apesar de a Amazônia geralmente ser caracterizada por florestas de grande porte, observa-se que há variações nas estruturas dessas florestas. Essas diferenças podem estar associadas à diversidade e à predominância de determinadas espécies, à abundância de castanheiras, à pressão antrópica, à idade da vegetação e à competição. Em trabalho que realizou a modelagem da variação de fatores climáticos na Amazônia, relacionando-os com atributos da floresta, foi demonstrado que a densidade e a diversidade arbórea, assim como a precipitação, são mais elevadas na Amazônia Ocidental (Steege et al., 2003). A maior densidade

de árvores pode gerar maior competição e um dossel mais fechado e denso, como verificado na densidade foliar do sítio localizado no Amazonas. Isso também pode ajudar a explicar a menor abundância de castanheiras, já que essa espécie é dependente de energia solar direta e clareiras grandes para se estabelecer e atingir o dossel (Myers et al., 2000).

Volume, altura e diâmetro de castanheiras

Em trabalho realizado na Resex Cajari, sul do Amapá, 24 castanheiras encontradas caídas e outras derrubadas para passagem de linha de transmissão de alta voltagem (Linhão de Tucuruí) foram medidas seguindo processo de cubagem rigorosa (Lima, 2015; Tabela 1).

Essas castanheiras acumularam em seus troncos um volume total e real de 436,44 m³, com média de 18,19 m³ ± 2,40 por castanheira. Após análise de 13 modelos de simples e dupla entrada para estimativa do volume do tronco, a partir da medição do diâmetro e da altura, verificou-se que, para os modelos de simples entrada, usando apenas o diâmetro como variável preditora, a equação de Koperzky-Gehrhardt ($V = -0,34226 + 0,00110 * DAP^2$) apresentou o melhor ajuste, com R^2 ajustado de 0,86. Para modelos de dupla entrada, tendo o diâmetro e a altura como variáveis predictoras, o melhor foi o de Schumacher-Hall ($V = 0,00004 * (DAP^{2,1679}) * (Hc^{0,77237})$), com R^2 de 0,90. A inserção da variável altura comercial (porção do tronco sem galhos, potencialmente aproveitável para serraria) no melhor modelo de dupla entrada diminuiu em 4% o erro das estimativas. No entanto, como é complicado medir a variável altura, sendo mais susceptível a erros durante o inventário, recomenda-se o uso do modelo de simples entrada, a não ser que a medição seja realizada de maneira rigorosa e com equipamentos adequados.

As duas castanheiras maiores apresentaram altura total de 51,8 m e 48,5 m, o que demonstra a posição ecológica da espécie como árvore emergente acima do dossel superior da floresta. Essas duas castanheiras apresentaram altura da copa de 28 m e 26 m, respectivamente, maiores do que suas alturas comerciais. Isso comprova a existência das grandes copas das castanheiras, após abertura dos grossos galhos principais, que continuam crescendo em altura para emergir do dossel. A maior altura comercial medida foi de 33,2 m.

As castanheiras cubadas tiveram uma variação diamétrica de 69,9 cm a 225 cm, definindo uma amplitude de 155 cm. Assim, a capacidade preditora das equações

Tabela 1. Variáveis dendrométricas das 24 castanheiras submetidas a procedimento de cubagem rigorosa provenientes da Resex Rio Cajari, sul do Amapá, na Amazônia Oriental. DAP = diâmetro a 1,30 m acima do solo; HC = altura comercial em metros; HT = altura total em metros; Vreal = volume real acumulado no tronco da castanheira.

Castanheiras	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)	Vreal (m ³)
1	89,2	26,9	44,6	12,63
2	95,5	18,1	35,8	7,62
3	126,6	28	48	25,66
4	138,0	19,7	38,2	16,54
5	134,9	28,5	43,7	22,12
6	133,0	23	51,8	18,83
7	167,0	22,5	48,5	24,01
8	153,0	24,5	40,5	27,36
9	116,0	26	38,93	13,04
10	91,6	30	38,71	5,01
11	81,1	33,2	46	10,04
12	116,2	23	34,4	9,73
13	100,5	19	35,8	10,78
14	149,0	15,8	38,5	17,90
15	91,0	22,17	40,97	11,79
16	144,1	19,5	39,5	19,81
17	168,0	19,6	37,71	36,69
18	154,0	17,7	33,3	18,55
19	99,0	27	38,5	16,49
20	139,0	21,5	41,5	21,66
21	225,0	22,3	40,2	60,29
22	84,5	25	35	8,46
23	69,9	13,7	29,7	4,19
24	130,0	20,8	32,8	17,21

Fonte: Lima (2015).

ajustadas é válida apenas para árvores com essa mesma variação, que envolve castanheiras produtivas (DAP > 50 cm), de acordo com as classes ontogenéticas que relacionam o diâmetro das castanheiras com as fases de vida, conforme definidas por Wadt et al. (2005).

Estrutura horizontal de castanhais nativos da amazônia

Um dos principais atributos da estrutura horizontal de uma floresta é a distribuição espacial das espécies arbóreas, a qual pode ser agregada, uniforme ou aleatória, a depender da escala geográfica de análise e da distância considerada. Na escala analisada em parcelas permanentes de 9 ha da rede Kamukaia, em diferentes estados da Amazônia, predomina a distribuição aleatória das castanheiras (Figura 2).

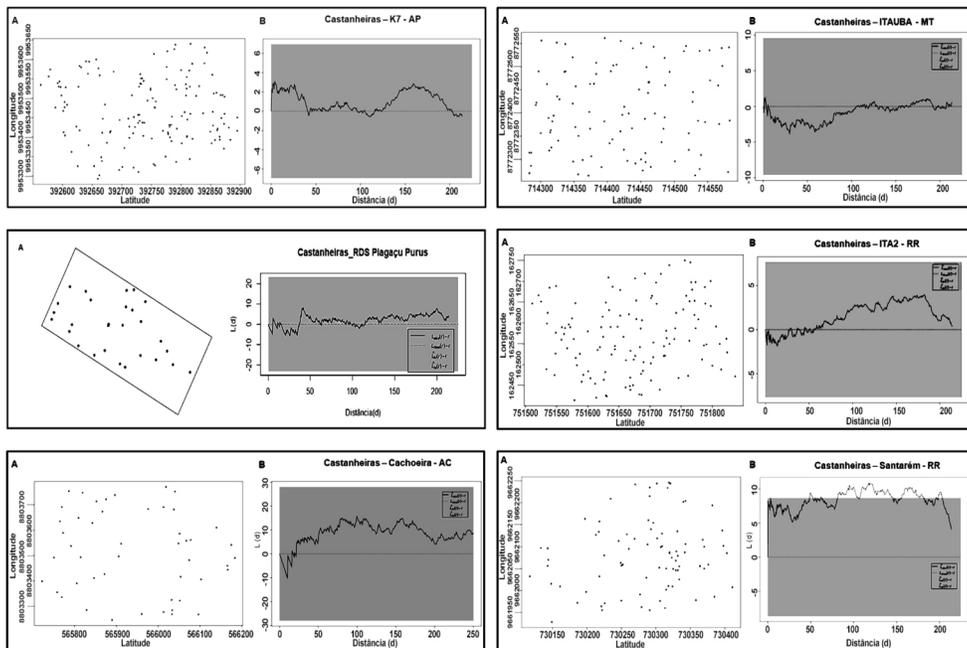


Figura 2. Distribuição espacial de castanheiras-da-amazônia em parcelas de 9 ha (quadros A), em seis estados da Amazônia brasileira, e análise da estrutura da distribuição usando a função K de Ripley (quadros B). A linha próxima ao zero e dentro do envelope de confiança, marcado em cinza, representa a completa aleatoriedade; a linha com valores positivos fora do envelope de confiança é a distribuição agregada; e a linha com valores negativos fora do envelope é a distribuição uniforme.

Fonte: Elaborado pelos autores, com dados da Rede Kamukaia.

A aleatoriedade observada na distribuição das castanheiras é condizente com a síndrome de dispersão zoocórica da espécie, realizada principalmente por roedores como as cutias (*Dasyprocta* spp.) e as cutiaras (*Myoprocta* spp.). Apesar de esses animais não dispersarem diretamente os frutos e as sementes da castanha de maneira aleatória, pois elas usam paus caídos e áreas com cipozal e emaranhado de

ramos como referência quando enterram sementes (Silvius; Fragoso, 2003), essas condições são originadas e dependem da queda de árvores, que normalmente é um evento aleatório, mas que pode também ser agrupado e direcionado por algum fator. Assim, a depender da escala e da distância considerada, também é possível observar na Figura 2 tendências de distribuição agregada em várias parcelas, bem como uma agregação estaticamente significativa na parcela localizada em Santarém-PA. Ao analisar a distribuição espacial, também é preciso estar atento à densidade de castanheiras na área, pois a abundância local de castanheiras tem uma relação direta com a distância do vizinho mais próximo, que é a base para a análise com a função K de Ripley.

No Brasil, a castanheira ocorre em florestas naturais presentes em todos os estados da região Norte, e pode ser encontrada em diferentes densidades. Na síntese de 28 trabalhos realizados no Acre, Amapá, Amazonas, Pará, em Roraima bem como na Bolívia, foram encontradas densidades com variação de 1 a 25 cast. ha⁻¹, com média de sete castanheiras por hectare (ver capítulo 3.1 deste livro). Normalmente, nos castanhais situados na Amazônia brasileira Ocidental, são encontradas as menores densidades de castanheiras, como no Acre e nas proximidades de Manaus, com densidades menores que 3 cast. ha⁻¹. Na parte mais oriental da Amazônia, como na Floresta Nacional de Caxiuanã-PA (25 cast. ha⁻¹), e na Reserva Extrativista do Rio Cajari (Resex Cajari), no sul do Amapá (16 cast. ha⁻¹), são encontradas as maiores densidades de castanheiras, concentradas em algumas áreas denominadas de castanhais. No sul do Pará, a floresta com castanheiras cobria grandes extensões de forma contínua, mas a maior parte delas foi dizimada pelo desmatamento (Homma et al., 2014).

Em um trabalho realizado na Resex Cajari, no sul do Amapá, com levantamento georreferenciado e inventário de 8.890 ha, foram avaliados parâmetros da estrutura horizontal e produtividade das castanheiras em duas tipologias florestais: floresta ombrófila densa (FD) e ombrófila aberta – FA (Souza, 2021). Nesse trabalho, foi encontrada uma densidade média de castanheiras em torno de 10 cast. ha⁻¹, com o total de castanheiras inventariadas de 11.145 em FD (55 castanhais) e de 22.680 em FA (114 castanhais), com média diamétrica de 121,3 cm e 105,2 cm, respectivamente. Conforme classificação de Wadt et al. (2005), na FD a maior proporção (49,8%) da abundância de castanheiras ficou na classe diamétrica de maturidade reprodutiva (100 cm < DAP < 150 cm), e 29,6% das castanheiras ficaram na classe de jovens s (50 cm < DAP < 100 cm). Por outro ângulo, na FA houve maior proporção (45,3%) de indivíduos na classe de 50 a 100 cm, o que indica que os castanhais na floresta aberta são mais jovens, fato evidenciado também pela menor média diamétrica.

Essas considerações são baseadas na premissa de que existe uma relação entre o diâmetro da árvore e sua idade. No entanto, podem existir castanheiras com mesmo diâmetro e diferentes idades fisiológicas, o que sugere cautela na interpretação e a necessidade de mais evidências e maiores diferenças para comparações. Na floresta aberta, a proporção de indivíduos menores que 50 cm de DAP foi de 5,7% e a soma das castanheiras maiores que 150 cm de DAP foi de 12,2%. Na floresta densa, o número de árvores menores que 50 cm foi de apenas 0,5% e a soma da proporção de indivíduos acima de 150 cm chegou a 20,5%, o que reforça as evidências de dificuldade de recrutamento de castanheiras em florestas mais densas e sombreadas, com menor entrada de luz solar, e o consequente envelhecimento dos castanhais nessa tipologia.

No geral, a distribuição diamétrica das castanheiras pode ser relacionada ao ciclo de vida e às classes ontogenéticas (Wadt et al., 2005), mas não há um padrão claro de estrutura dos diâmetros das castanheiras para a Amazônia nem dentro do mesmo estado (Figura 3).

Verifica-se na Figura 3 que, em apenas uma das dez parcelas avaliadas, no Amapá, a porcentagem de jovens ($10 \text{ cm} < \text{DAP} < 50 \text{ cm}$) ficou abaixo de 10%, sendo esse estado o que apresentou uma estrutura diamétrica das castanheiras mais próxima da distribuição normal. Por outro prisma, há duas parcelas com mais de 50% de castanheiras jovens, com tendência de distribuição em J invertido, mesmo sem incluir os indivíduos regenerantes. Todas essas parcelas, monitoradas há vários anos na rede Kamukaia, estão localizadas em áreas sujeitas à exploração intensiva, onde a castanha é coletada todos os anos. Portanto, não se verifica uma ausência calamitosa de castanheiras jovens em áreas com elevada intensidade de coleta, como afirmado por Peres et al. (2003).

As variações observadas, bem como a ausência de um padrão regional para a estrutura diamétrica das castanheiras, indicam a importância de fatores locais, como a frequência e a intensidade de distúrbios, que acontecem ao longo dos séculos, na formação dessa estrutura. Outros fatores próprios de cada local, como o histórico de uso das áreas e a tipologia da vegetação matriz em que essas castanheiras estão se desenvolvendo, também podem ser relevantes para a formação da estrutura. Além disso, a extrema longevidade da castanheira potencializa todas essas diferenças e variações, aumentando a probabilidade de ocorrência de eventos específicos, determinantes para a mudança ou a manutenção do indivíduo em uma mesma classe diamétrica.

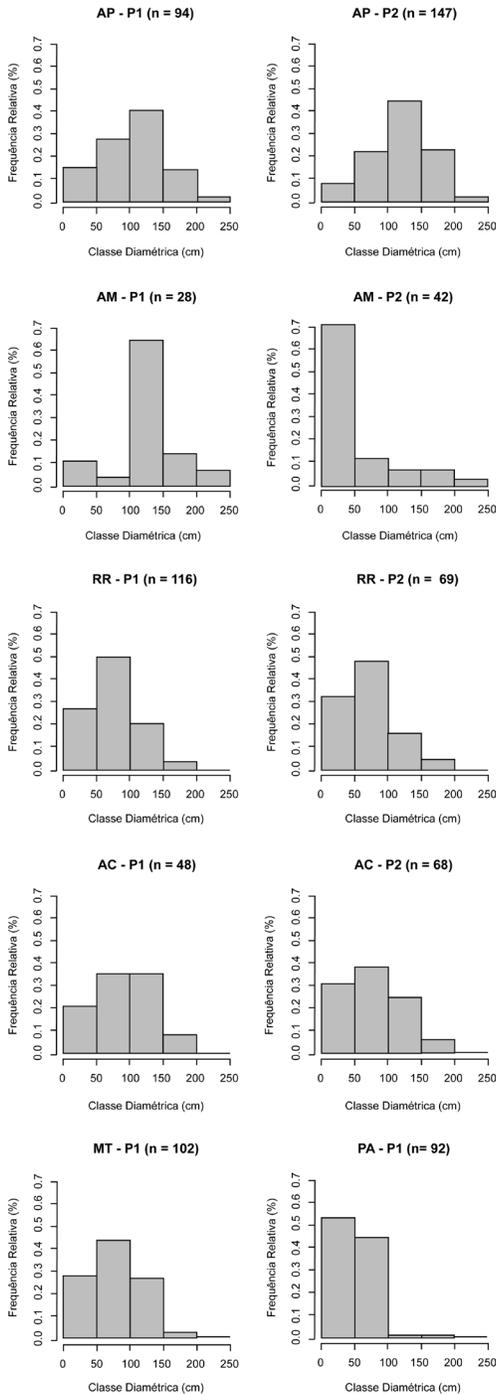


Figura 3. Distribuição diamétrica (DAP ≥ 10 cm) de castanheiras monitoradas em parcelas permanentes da rede Kamukaia em diferentes estados da Amazônia – Divisão em classes ontogenéticas funcionais. Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados da Rede Kamukaia.

Produtividade e produção efetiva de frutos e de castanhas

Na Resex Cajari, após levantamento e mapeamento em larga escala de milhares de castanheiras em FD e FA, foi detectada maior produtividade de castanha na floresta aberta (Souza, 2021). A diferença significativa (Mann-Whitney = 0,9779, $p = 0,014$) entre as médias na FA (5,06 hl. ha⁻¹) e na FD (3,70 hl. ha⁻¹) confirmou a maior produtividade de hectolitros de castanha *in natura* na floresta aberta (1 hl = 100 L = 5 latas de 20 L, medida usada na comercialização). A diferença nesses valores reflete maior densidade de castanheiras na FA (12,3 cast. ha⁻¹) do que na FD (7,3 cast. ha⁻¹), cuja variação nos valores médios encontrados também foi significativa (Mann-Whitney = 0,9673, $p = 0,013$).

Por seu turno, a produção média por castanheira apresentou valores semelhantes entre as tipologias, sem diferenças estatisticamente significativas (teste $T = -1,3683$, $p\text{-value} = 0,7131$). Isso é mais uma evidência de que a produtividade é dependente da densidade. Portanto, a quantidade de castanheiras existente no castanhal é o principal fator responsável para a maior produção por área na floresta aberta, pois a produção média individual de cada castanheira foi semelhante entre as duas tipologias.

Outros fatores, além da tipologia florestal, também podem ser associados à variação na densidade de castanheiras, como constatado na mesma região. Conforme Guedes et al. (2017), ao analisar a ocorrência de castanheiras em diferentes classes de solo dentro de uma parcela de 9 ha, foi verificado que na classe Latossolo Amarelo são encontradas maior densidade e porcentagem de castanheiras produtivas. No capítulo 3.6 deste livro pode ser encontrado maior detalhamento sobre as relações entre as classes de solo e a ocorrência das castanheiras nos diversos estados da Amazônia.

A maioria dos trabalhos que analisa a produtividade ou a produção por castanheira utiliza a quantidade de frutos produzidos como variável resposta. No entanto, essa variável pode não ser fortemente relacionada com a produção de castanha, pois a variação morfológica dos frutos entre castanheiras, assim como a quantidade e o tamanho de castanhas por fruto, é elevada (ver capítulos 1.5 e 4.2). Assim, uma castanheira que produz maior número de frutos pode produzir frutos menores, não necessariamente produzirá maior quantidade de castanha para comercialização. A Figura 4 apresenta a relação entre a quantidade de castanha e o número de frutos produzidos por cada castanheira, baseado em dados coletados na Resex Cajari-AP.

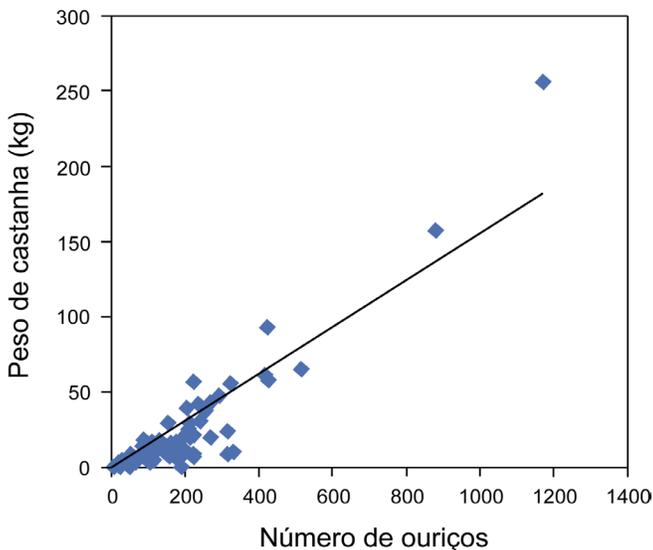


Figura 4. Relação da resposta (eixo Y) em kg (peso fresco – PF) de produção efetiva de castanhas boas estimadas para comercialização, com o número anual de frutos produzidos por castanheira (eixo X) no ano de 2012, na Reserva Extrativista do Rio Cajari, sul do Amapá, Amazônia Oriental (n=55).

No geral, verifica-se que há uma boa relação linear positiva entre o número de frutos e a quantidade de castanha, mas observa-se que diferentes castanheiras que produzem o mesmo número de frutos podem apresentar elevada variação de produção efetiva de castanha. Isso reforça o argumento de que há elevada variação no tamanho do fruto e da castanha entre as árvores, o que amplia as possibilidades de seleção de matrizes superiores que levem em consideração a produção efetiva de castanha para comercialização. Na Figura 4, destaca-se a ocorrência de uma castanheira que produziu, na safra do ano de 2012, mais de mil frutos e 250 kg de castanhas com casca, o que pode corresponder a mais de 5 hl, uma das medidas de castanha comumente utilizada na comercialização local.

Quando se fala de produção de castanha, outra questão que necessita de aprofundamento na análise é a produção efetivamente disponível para coleta pelos extrativistas. A maioria dos resultados apresentados sobre produção é obtida do monitoramento após o término da queda dos frutos, pelo próprio risco associado de entrar no castanhal quando as castanheiras ainda estão “jogando

muitos ouriços”. Assim, essa produção não representa o potencial biológico da espécie, pois, durante o período de queda de frutos, que dura em torno de dois a três meses, a maioria dos castanheiros (coletores de castanhas) não entra nas áreas, mas as cutias sim. Nesse período as cutias se alimentam das castanhas e realizam seu importante papel ecológico de dispersão e plantio de sementes das castanheiras.

Em territórios de povos e comunidades tradicionais, como terras indígenas, quilombos, reservas extrativistas e afins, a prática predominante é a coleta dos frutos somente após o término da queda dos ouriços. Já em locais como assentamentos agrícolas ou áreas ainda não destinadas, não se espera o término da queda dos ouriços para realizar a coleta, pois há uma disputa pela castanha, e leva quem chega primeiro. No Amapá, essas áreas são conhecidas como “castanhais de avanço”, onde os frutos e as sementes ficam menos tempo disponíveis para predação ou dispersão pela fauna.

Em um estudo sobre remoção de sementes pela fauna em castanhais nativos no sudoeste da Amazônia, foi observado que as castanhas disponibilizadas foram removidas de forma rápida, o que revelou a elevada procura desse alimento pelos animais (Silva; Wadt, 2008). Das 400 sementes colocadas no ambiente de floresta, somente 45 foram encontradas posteriormente. O número de agentes dispersores ou predadores e a atividade dessa fauna durante os meses de ausência dos extrativistas são importantes para a regeneração das castanheiras, porém têm também um pequeno efeito na produção efetiva dos castanhais. Quanto mais desses agentes estiverem presentes na floresta com castanheiras, maiores serão as taxas de remoção, mas normalmente a remoção é baixa. Segundo Wadt et al. (2018), essa taxa é inferior a 5%, o que pouco afeta a produção efetiva e disponível para coleta e comercialização pelas comunidades. Os principais agentes encontrados que praticam a predação e a dispersão de castanhas no Acre foram cutiarias, cutias, pacas, quatis e ratos (Silva; Wadt, 2008), sendo alguns desses importantes fontes de proteína para as famílias extrativistas.

Em levantamentos realizados pelo projeto Carbono Cajari nas 13 comunidades produtoras de castanha da Resex Cajari, foram identificadas as comunidades com maior produção efetivamente comercializada de castanha bem como aquelas com maior capacidade produtiva em seus castanhais. Além disso, foram calculadas a densidade de castanheiras e a produção média por árvore para os castanhais nas colocações (áreas definidas por limites naturais e tradicionais, que marcam os locais em que cada família coleta a castanha) de cada comunidade (Gonçalves,

2019). As colocações das famílias moradoras em determinada comunidade não ocupam, necessariamente, áreas dentro e próximas às comunidades, podendo estar geograficamente distantes delas.

As comunidades que apresentaram as maiores áreas e quantidades de castanhas, Água Branca e Santa Clara, tiveram maior produção total de castanha (Figura 5). No entanto, ainda na Figura 5, pode-se observar que a produtividade foi maior nas comunidades Mangueiro, Acampamento e Santarém, que apresentaram maior densidade de castanheiras.

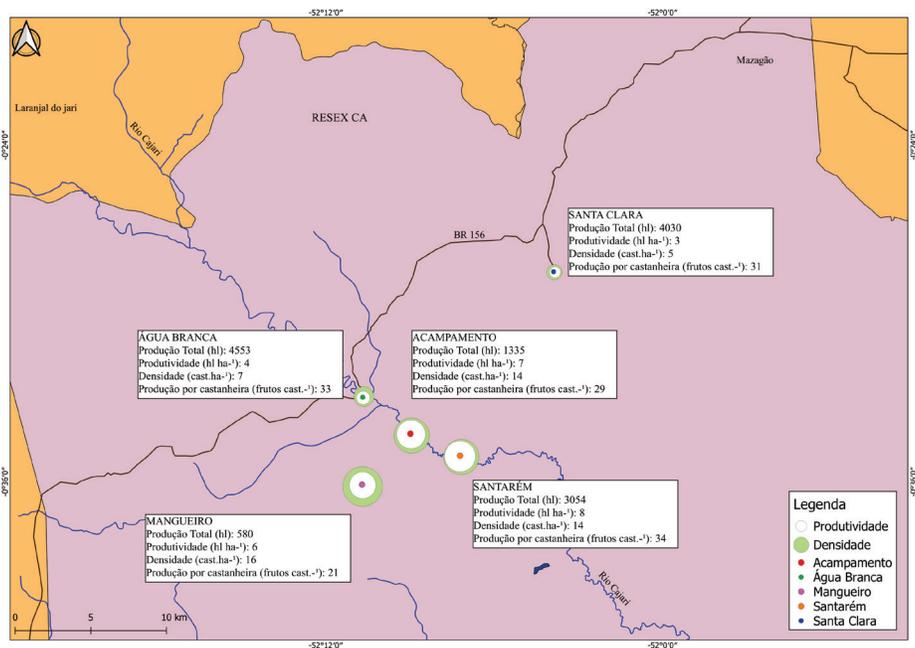


Figura 5. Produção total (hectolitros-hl), produtividade (hl. ha⁻¹), densidade (cast. ha⁻¹) e produção média por castanheira (frutos cast.⁻¹) dos castanhais de cinco comunidades com maior capacidade produtiva na Resex Cajari, sul do Amapá, Amazônia Oriental.

Fonte: Gonçalves (2019).

A produtividade de castanha em cada comunidade, considerando a quantidade produzida pelos castanhais nas colocações de cada comunidade, praticamente não depende da produção média individual das castanheiras, mas, sim, da densidade dessas árvores. Esse comportamento foi também relatado por Souza (2021) quando analisou as diferenças entre duas tipologias florestais, independentemente

da comunidade, e não encontrou diferenças significativas entre a produção média de frutos por castanheira. Esses resultados são importantes para compreender a produção efetiva de castanha e a produtividade de frutos em larga escala, que podem ser diferentes de outros resultados originados de trabalhos em escala de maior detalhamento nas parcelas de monitoramento.

A comunidade Água Branca, por ser uma comunidade com mais de 100 famílias e possuir maior número de castanhais, apresenta a maior produção, em comparação com as outras comunidades do Alto Cajari. No entanto, a comunidade Santa Clara, que também apresentou elevada produção, tem a maior área total de castanhais. Apesar de essas comunidades produzirem elevada quantidade de castanha, devido à quantidade e à extensão dos castanhais, elas não são as que apresentam maior produtividade, ou seja, produção de frutos por área.

Nesse caso, verifica-se que as comunidades Acampamento, Mangueiro e Santarém, que detêm menor área e menor número de castanhais, são aquelas com maior produtividade, chegando a atingir 7, 6 e 8 hl. ha⁻¹, respectivamente. A maior produtividade desses castanhais pode ser derivada de uma maior densidade de castanheiras e/ou de uma maior produção média por castanheira. Como não há diferenças significativas entre a produção média por castanheira (Souza, 2021), verifica-se que a variável determinante para se ter uma maior produtividade nessa região é a maior densidade de castanheiras.

Essas três comunidades estão localizadas em uma mesma região geográfica, na porção sul do Alto Cajari, já se aproximando do Médio Cajari, com castanhais adensados e concentrados nas proximidades das residências. A comunidade Mangueiro foi a que apresentou maior densidade (16 cast. ha⁻¹). O fato de os castanhais estarem localizados bem próximos dessas comunidades, diferentemente daquelas com menor produtividade (Água Branca e Santa Clara), onde os castanhais estão mais distantes (Gonçalves, 2019), é um indicativo de que a maior densidade encontrada pode ser devido ao estabelecimento desses castanhais em áreas de agricultura itinerante. Como constatado por Guedes et al. (2014), Paiva et al. (2011) e Cotta et al. (2008), os roçados apresentam maior densidade de castanheiras, principalmente de árvores jovens, do que na floresta madura. Normalmente, a grande maioria das áreas utilizadas na agricultura é preparada em áreas próximas das comunidades, para economizar esforços no cuidado diário das plantações.

A produção total de castanha com casca na Resex Cajari, derivada da soma do que é comercializado em todas as 13 comunidades produtoras de castanha, pode variar de 11.477 hl a 32.959 hl por safra, considerando a variação em anos de baixa e elevada produção. Em anos com produção intermediária, esse valor gira em torno 22.218 hl, equivalente a aproximadamente 11 mil toneladas. Esse valor pode estar subestimado, pois foi adotado o hectolitro (100 L = 5 latas de 20 L) como medida geral de comercialização da castanha na região, mas muitos castanheiros ainda vendem em “barrica” (110 ou 120 L), medida essa que exige mais meia ou uma lata de 20 L, dependendo do intermediário que compra, para amenizar futuras quebras e compensar as perdas na sequência da cadeia produtiva.

Relações da produção de castanha com a distribuição diamétrica das castanheiras

Aqui será abordada a variação da produção de frutos e de castanha em função do diâmetro das castanheiras. As maiores produções relativas ao total de frutos produzidos sempre são observadas em castanheiras com diâmetro intermediário (Figura 6). As castanheiras mais grossas, já em processo de senescência, não são as mais produtivas, assim como aquelas com menores diâmetros que ainda não atingiram a maturidade reprodutiva.

No Amapá, a classe diamétrica de 100 cm a 150 cm concentrou a maior porcentagem da produção total de frutos de todas as castanheiras, considerando a média anual durante vários anos de monitoramento, nas duas áreas avaliadas (Figuras 6A e 6B). Esse padrão também foi observado no Acre (Figura 6E), onde se verifica, durante os cinco anos de monitoramento, que a produção média de frutos por castanheira também foi maior na classe de 100 cm a 150 cm. Em Roraima (Figuras 6C e 6D), a maior produção total absoluta e relativa continuou concentrada em castanheiras com diâmetros intermediários, com destaque nesse caso para as castanheiras com diâmetros entre 50 cm e 110 cm.

A concentração da produção total em classes de diâmetros intermediários das castanheiras pode ser devido à maior quantidade de árvores ou à maior produção média individual das castanheiras nessas classes. Apesar de no geral não haver diferenças entre a produção média por castanheira quando se compara em larga escala fitofisionomias ou comunidades, as diferenças entre classes diamétricas podem ser significativas, como evidenciado nas Figuras 6C, 6D e 6E. No entanto,

observa-se que as classes com as maiores produções médias não são aquelas que mais contribuem para a produção total (Figuras 6C e 6D). A produção total em cada classe é mais dependente da abundância de castanheiras, o que é mais uma evidência a favor do padrão anteriormente relatado de que a produção média por castanheira é menos importante para a produção total do que a quantidade de árvores. Confirmando esse padrão, a maior parte (46%) da produção concentrada na classe de 100 cm a 150 cm é coincidente com a maior abundância de castanheiras em uma das áreas do Amapá (Figura 6B).

Na outra área do Amapá (Figura 6A), no entanto, a maior abundância de castanheiras ficou concentrada na classe II (50 cm a 100 cm), que representa a segunda maior proporção (23%) da produção total. Essa é uma área que apresenta castanhais mais jovens e bem estabelecidos, oriundos da agricultura itinerante (Pastana, 2019; mais detalhes no capítulo 3.1), inclusive com algumas castanheiras superprodutivas, como aquela relatada anteriormente, com capacidade de produzir mais de mil frutos, que fica na classe de 100 cm a 150 cm. Isso pode puxar a média e aumentar a produção nessa classe que detém menor abundância do que a primeira, mas contém as castanheiras mais produtivas. Nesse caso do jovem castanhal que surgiu após abandono da área de roçado, muitas das castanheiras que corroboram a maior abundância na primeira classe a partir de 50 cm ainda estão em fase inicial do período reprodutivo e não atingiram seu potencial de produção de frutos.

Normalmente, quando se analisam as classes ontogenéticas e o ciclo de vida da espécie, a castanheira pode ser considerada reprodutiva a partir de 50 cm de DAP. No entanto, em determinadas condições, como em áreas de agricultura itinerante, em clareiras na floresta com maior incidência de luz, ou quando se considera o potencial genético diferenciado de um ou poucos indivíduos, as castanheiras podem iniciar o ciclo reprodutivo e começar a produzir bem mais cedo, tal como observado em Guedes et al. (2014) e Pastana et al. (2021). Nesses trabalhos foram registradas castanheiras produtivas com diâmetro menor que 30 cm. Todavia, são necessárias análises mais aprofundadas da quantidade relativa e porcentagem de castanheiras produtivas em cada classe diamétrica, em diferentes parcelas, ambientes e situações de manejo, para definir as idades reprodutivas. Por exemplo, em área plantada com mudas oriundas de sementes, no campo experimental da Embrapa Amapá, foi confirmada a idade reprodutiva e o início de produção de frutos com oito anos.

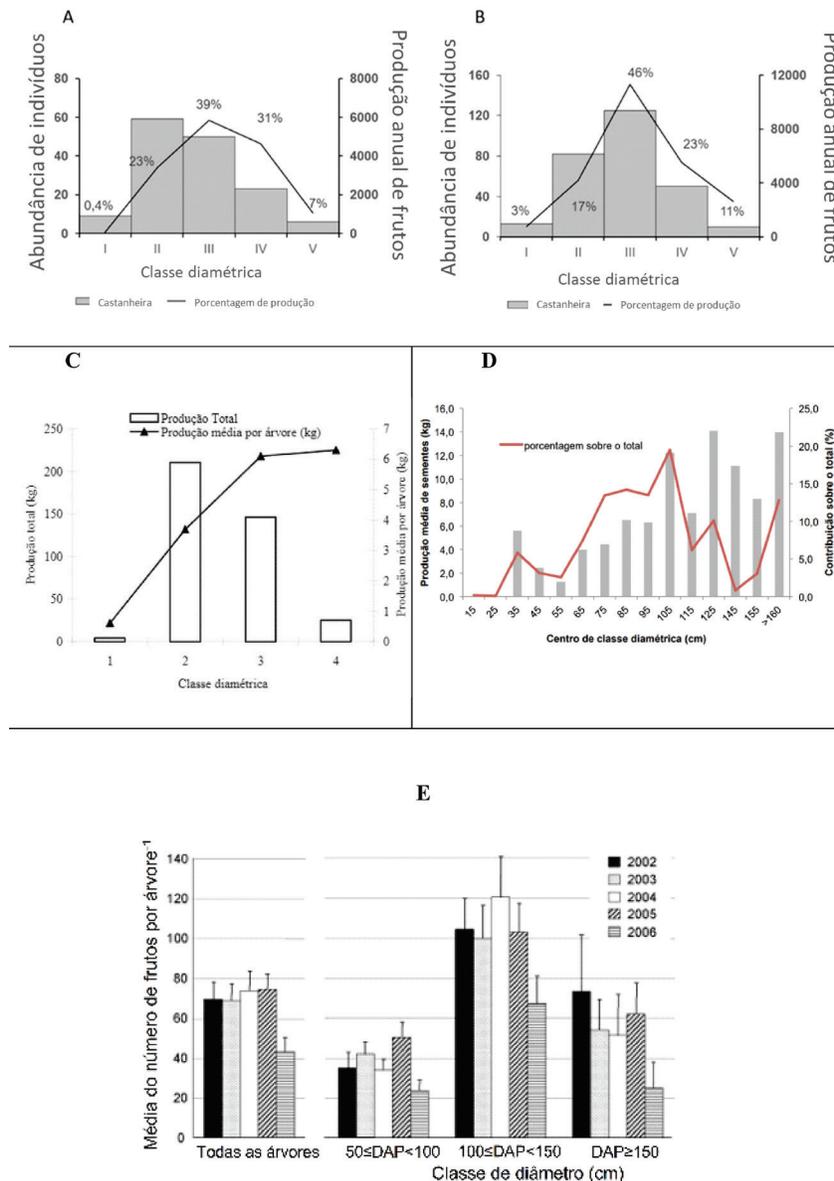


Figura 6. Relações da produção de frutos (Amapá e Acre) e de quilos de castanha (Roraima) com a abundância e distribuição diamétrica (cm) das castanheiras em três estados da Amazônia brasileira: Amapá (A e B), Roraima (C e D) e Acre (E). Classes segundo Wadt et al. (2005): 1 e I ($10 < \text{DAP} < 50$), 2 e II ($50 < \text{DAP} < 100$), 3 e III ($100 < \text{DAP} < 150$), 4 e IV ($150 < \text{DAP} < 200$) e V ($\text{DAP} \geq 200$).

Fonte: Amapá (Pastana, 2019); Roraima (Tonini et al., 2008) e Acre (Kainer et al., 2007).

Variação temporal na produção de frutos por castanheira

As castanheiras que ocorrem naturalmente nas florestas apresentam elevada variação temporal na produção de frutos, tanto entre diferentes árvores de uma determinada população como para uma mesma castanheira ao longo de diferentes anos (Kainer et al., 2006; Pedrozo et al., 2015). A avaliação da variação na produção de castanha ao longo dos anos é importante, pois afeta diretamente o tamanho das safras e os preços alcançados na comercialização destas. Nesse sentido, um modelo capaz de gerar uma previsão de safra para anos futuros seria muito útil para os envolvidos na cadeia de comercialização e nas políticas públicas relacionadas, como aquela que define o preço mínimo para produtos da sociobiodiversidade. No entanto, ainda não se tem esse modelo, pois são necessárias séries temporais de longo prazo para sua validação, havendo, ainda, a preocupação de que as mudanças climáticas podem estar alterando, cada vez mais, os padrões fenológicos das plantas, afetando, assim, a robustez do modelo.

Ao longo de um período de 15 anos de monitoramento da rede Kamukaia, foi constatado que os anos de 2012, 2015 e 2020 foram aqueles com as maiores produções de frutos de castanheiras na grande maioria das áreas avaliadas no Acre e no Amapá (Figura 7). Em Roraima, durante o período de monitoramento de 2006 a 2012, também foi detectado que em 2012 as castanheiras apresentaram produção bem acima dos demais anos (Tonini; Pedrozo, 2014).

Normalmente, os anos em que ocorrem picos de produção máxima são os mesmos em distintos ambientes e regiões. Isso pode ser um indicativo de que o *masting effect* é importante na definição dos anos com picos de produção acima da média. O efeito *masting* está relacionado com os anos em que a produção de frutos é elevada para várias espécies e sincronizada em grandes áreas, podendo ser associado com condições climáticas específicas, ocorridas em anos que antecedem o período reprodutivo (Bogdziewicz et al., 2019; Kelly et al., 2013; Piovesan; Adams, 2001, 2005; Schauber et al., 2002).

No sul do Amapá, foi possível verificar que os anos de maior produção foram relacionados com períodos anteriores de neutralidade ou anomalia negativa na temperatura das águas do Pacífico Sul, que define a predominância da La Niña em níveis globais (Pastana et al., 2021). Isso confirma que a variação temporal na produção de castanha depende de condições climáticas e meteorológicas que acontecem nos anos anteriores ao da safra. As anomalias como o aquecimento

e o resfriamento das águas do Pacífico Sul, denominadas de El Niño e La Niña, respectivamente, acarretam efeitos de diferentes escalas, tanto nos níveis globais quanto nos locais. Pastana et al. (2021) também confirmaram que houve relação da ampliação da anomalia positiva da temperatura nas águas do Pacífico com o aumento da temperatura máxima no nível local de ocorrência das castanheiras no sul do Amapá.

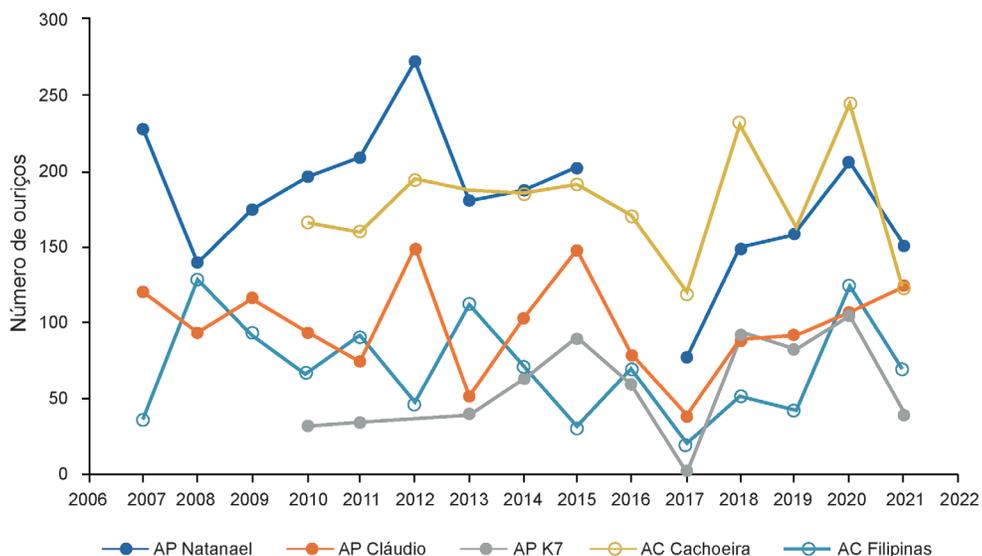


Figura 7. Variação anual na produção média individual de frutos (ouriços) por castanheira produtiva, durante 15 anos de monitoramento em parcelas permanentes localizadas em castanhais nativos no Amapá e no Acre. O monitoramento em AP K7 e AC Cachoeira foi iniciado em 2010. Em anos com a sequência temporal interrompida, não foi possível realizar o monitoramento em determinada área.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados da Rede Kamukaia.

Após os anos de máxima produção em cada área, pode-se observar uma tendência geral de queda acentuada na safra seguinte. Isso pode estar ligado à questão fisiológica, devido à maior drenagem de nutrientes e reservas de carboidratos para os frutos em anos de maior produção. Nesses anos, pode haver falta de nutrientes para formação da nova safra, pois o ciclo de desenvolvimento dos frutos da castanheira dura mais de 12 meses e a floração ocorre ao mesmo tempo que está acontecendo o amadurecimento final do fruto. Já foi relatado que a castanheira necessita acumular reservas nutricionais entre safras com grandes produções (Fenner, 1998), de modo a “recuperar-se” do esforço exigido para a produção de

uma grande safra. Isso pode indicar que áreas com solos mais férteis e maior disponibilidade de recursos nutricionais são importantes na definição da capacidade produtiva dos castanhais, pela manutenção de um fluxo constante de absorção e realocação de nutrientes pelas castanheiras. Essa lógica também se aplica em anos de queda muito acentuada na produção, como aconteceu em 2017, quando haveria menor drenagem de nutrientes, permitindo à castanheira acumular reserva para a recuperação da produção e a formação da safra seguinte.

Ainda não é possível definir um ciclo temporal de variação na produção de castanha, mas é certo que não se trata de um ano de alta produção seguido por outro de baixa produção e assim sucessivamente. Em algumas áreas e períodos, a variação parece ser bienal, alternando dois anos de produção crescente com dois anos de queda na produção, mas também se pode observar na Figura 7 sequências maiores de crescimento ou decréscimo na produção, chegando até a quatro anos.

No ano de 2017, foi observada a menor produção em todas as áreas monitoradas; essa queda drástica ocorreu em toda a Amazônia e elevou o preço da castanha a patamares nunca antes atingidos. A falta do produto na safra de 2017 fez o preço da lata (11 kg) de castanha subir para R\$ 120,00 em algumas regiões, em comparação a 2016, quando foi vendida em média por R\$ 50,00. Na Resex Cajari, uma lata chegou a ser comercializada por mais de R\$ 200,00 na safra de 2017 (Embrapa, 2017).

No Amapá e no Acre, essa queda na produção em 2017 foi associada com o mais forte El Niño ocorrido na Amazônia, em 2015/2016, que influenciou na redução do volume de chuvas, que prolongou o período menos chuvoso de três para seis meses (Pastana et al., 2021; Staudhammer et al., 2021). Também foi detectado aumento da temperatura máxima local e de anomalias térmicas no Pacífico acima de 2 °C, principalmente no terceiro semestre antes da safra de 2017, quando acontecia o florescimento e o início da formação de seus frutos (Pastana et al., 2021). Além disso, no estudo de Staudhammer et al. (2021), foi verificado que o preditor mais forte para a produção de frutos na castanheira foi a área da copa. A elevação do terreno e a área de alburno também impactaram significativa e positivamente na produção de frutos, mas esses efeitos variaram em função do local. Castanheiras localizadas em pontos com maior disponibilidade de P e K produziram quase três vezes mais frutos e pareciam mais resistentes à seca prolongada e às condições atmosféricas mais secas.

Considerações finais

As florestas com ocorrência de castanheiras em diferentes regiões da Amazônia apresentam um padrão de densidade foliar ao longo de seu perfil vertical semelhante ao padrão geral da floresta amazônica. No entanto, elas são diferenciadas na estrutura vertical, quanto à altura das árvores. Os castanhais da Amazônia Oriental apresentam as árvores mais altas da espécie e o dossel florestal mais elevado, assim como maiores densidades de castanheiras. Nessa região, foram registradas castanheiras com 52 m de altura total e altura de copa maior do que a altura comercial do tronco, o que confirma o padrão peculiar e exuberante das grandes copas da espécie.

Não há um padrão claro na estrutura da distribuição diamétrica das castanheiras na Amazônia, nem dentro do mesmo estado. Existem áreas com castanheiras muito grossas, com mais de 200 cm de diâmetro, que podem acumular mais de 60 m³ de volume em seus troncos e as quais têm um papel decisivo no armazenamento de carbono e para a ecologia histórica da Amazônia. Há também regiões com elevada frequência de castanheiras menores, e não se verifica uma ausência calamitosa de castanheiras jovens em áreas com elevada intensidade de coleta. Não se pode, portanto, associar a falta de castanheiras menores em determinadas áreas com a retirada dos frutos durante a atividade extrativista. Outra observação em relação à estrutura horizontal dos castanhais é que as castanheiras situadas em classes de diâmetro intermediário são responsáveis pela maior proporção da produção, e não as mais grossas.

A densidade de castanheiras também é maior na Amazônia Oriental, e isso tem relação direta com a produtividade de determinado castanhal. Nessa região, tanto a densidade como a produção total de uma determinada área são maiores em florestas mais abertas. Não foi observada variação significativa na produção média por árvore quando comparados castanhais em diferentes tipologias florestais e de diferentes comunidades. No entanto, como as castanheiras não ocorrem de maneira uniforme na floresta, mas, sim, de maneira aleatória ou com tendência à agregação, não é recomendável estimar o potencial produtivo de uma grande região pela simples multiplicação da área da região pela produtividade ou pela densidade média de castanheiras, ambas calculadas em função de uma pequena área amostrada dentro da respectiva área de ocorrência.

A variação temporal na produção de castanha depende de condições climáticas e meteorológicas que acontecem em anos anteriores ao da safra. Anos com picos de alta produção acontecem simultaneamente em vários estados da Amazônia e estão relacionados positivamente com anos anteriores mais chuvosos. Em contrapartida, anos com grandes quedas na produção podem ser associados com temperaturas máximas mais elevadas e ocorrência de fortes *el Niños* na Amazônia em anos anteriores à safra. A intensificação dos fenômenos e o estabelecimento da crise climática já é uma realidade, e as anomalias e os eventos extremos têm se tornado cada vez mais frequentes nos últimos anos, já afetando a produção de castanha. Assim, a crise climática e esses eventos específicos precisam ser considerados no planejamento estratégico em polos de produção de castanha e na elaboração de políticas para conservação das florestas amazônicas.

A renovação do castanhal e os cuidados, como o corte de cipós, podem ajudar a proteger a produção de castanha dos efeitos negativos da crise climática. O conhecimento e o monitoramento meteorológico da região de produção devem ser utilizados na previsão de safra e no planejamento de políticas e ações de mercado. Assim, é altamente recomendável a instalação e a manutenção de estações meteorológicas próximas das principais regiões produtoras de castanha na Amazônia. A constatação de que a densidade próxima de 20 castanheiras por hectare pode gerar as maiores produtividades em castanhais nativos é um indicativo de que essa é uma densidade ótima para orientar recomendações de enriquecimento e manejo em condições naturais, visando ao fortalecimento da base produtiva da castanha-da-amazônia nas comunidades agroextrativistas.

Referências

ARCHIBALD, S.; BOND, W. J. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. **Oikos**, v. 102, n. 1, p. 3-14, July 2003. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12181.x>.

BADDLEY, A. **Analyzing spatial patterns in R**: workshop notes, version 4.1. Australia: CSIRO, 2010. Disponível em: https://research.csiro.au/software/wp-content/uploads/sites/6/2015/02/Rspatialcourse_CMIS_PDF-Standard.pdf._CMIS_PDF-Standard>. Acesso em: 18 mar. 2021.

BATISTA, A. P. B.; SCOLFORO, H. F.; MELLO, J. M. de; GUEDES, M. C.; TERRA, M. C. N. S.; SCALON, J. D.; GOMIDE, L. R.; SCOLFORO, P. G. V.; COOK, R. L. Spatial association of fruit yield of *Bertholletia excelsa* Bonpl. trees in eastern Amazon. **Forest Ecology Management**, v. 441, p. 99-105, June 2019.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.043>.

- BOGDZIEWICZ, M.; SZYMKOWIAK, J.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M.; PEÑUELAS, J.; ESPELTA, J. M. The effects of local climate on the correlation between weather and seed production differ in two species with contrasting masting habit. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 268, p. 109–115, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.016>.
- BORELLA, D. R.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P.; BOUVIÉ, L.; NOGUEIRA, A. S.; PEREIRA, C. A. L.; SILVA, M. A. L. V. Biometria de frutos e sementes da castanha-do-brasil da região médio-norte do Mato Grosso. **Nativa**, v. 5, n. 7, p. 628-633, Dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05nespa01>.
- BULLOCK, S. H. Developmental patterns of tree dimensions in a neotropical deciduous forest. **Biotropica**, v. 32, n. 1, p. 42-52, Mar. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00446.x>.
- CAPRETS, R. L. **Análise dos padrões espaciais de árvores em quatro formações florestais do estado de São Paulo, através de análises de segunda ordem, com função K de Ripley**. 1994. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo.
- COSTA, F. F. **Ocorrência e estrutura vertical de florestas com castanheiras na Amazônia brasileira**. 2018. 88 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- COTTA, J. N.; KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1-2, July 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.026>.
- CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B. de; CUNHA, H. F. A. (org.). **Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do Projeto REMETAP no estado do Amapá**. Macapá: IEPA, 2010. p. 83-96.
- DEAN, T. J.; LONG, J. N. Validity of constant-stress and elastic-instability principles of stem formation in *Pinus contorta* e *Trifolium pratense*. **Annals of Botany**, v. 58, n. 6, p. 833-840, Dec. 1986. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087265>.
- GONÇALVES, D. A. **Construção de banco de dados georreferenciados sobre castanha-da-amazônia na Resex Cajari, usando software livre**. 2019. 58 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado do Amapá, Macapá.
- GUEDES, M. C.; NEVES, E.; RODRIGUES, E. G.; PAIVA, P.; COSTA, J. B. P.; FREITAS, M. F.; LEMOS, L. M. `Castanha na roça': expansão da produção e renovação dos castanhais em áreas de agricultura itinerante no Amapá, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 381-398, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.532>.
- GUEDES, M. C.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; MELEM JUNIOR, N. J.; SILVA, K. E. da. Classificação do solo e relação com densidade e produção de castanheiras na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 36., 2017, Belém, PA. **Amazônia e seus solos: peculiaridades e potencialidades: anais**. Belém, PA: SBCS, 2017.
- HOMMA, A. K. O.; MENEZES, J. A. E. A.; MAUÉS, M. M. Castanha-do-pará: os desafios do extrativismo para plantios agrícolas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 293-306, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.526>.
- ISHII, H.; ASANO, S. The role of crown architecture, leaf phenology and photosynthetic activity in promoting complementary use of light among coexisting species in temperate forests. **Ecological Research**, v. 25, p. 715-722, July 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-009-0668-4>.

- JARDIM, F. C. S.; SERRÃO, D. R.; NEMER, T. C. Efeito de diferentes tamanhos de clareiras sobre o crescimento e a mortalidade de espécies arbóreas em Moju-PA. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 36-48, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100004>.
- KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; GOMES-SILVA, D. A. P.; CAPANU, M. Liana loads and their association with *Bertholletia excelsa* fruit and nut production, diameter growth and crown attributes. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 2, p. 147-154, Mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467405002981>.
- KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Explaining variation in Brazil Nut fruit Production. **Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 244-255, Oct. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.024>.
- KAMINSKI, P. E.; TONINI, H.; MOURÃO JÚNIOR, M.; SCHWENGBER, L. A. M. Biometria de fruto de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em Roraima. In: SEMINÁRIO DO PROJETO KAMUKAIA – MANEJO SUSTENTÁVEL DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO-MADEIREIROS NA AMAZÔNIA, 1., 2008, Rio Branco, Acre. **Anais...** Rio Branco, AC: Embrapa, 2008.
- KING, D. A. Tree dimensions: maximizing the rate of height growth in dense stands. **Oecologia**, v. 51, p. 351-356, Jan. 1981. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00540905>.
- KING, D. A. Tree form, height growth, and susceptibility to wind damage in *Acer saccharum*. **Ecology**, v. 67, n. 4, p. 980-990, Aug. 1986. DOI: <https://doi.org/10.2307/1939821>.
- KING, D. A. Allometry and life history of tropical trees. **Journal of Tropical Ecology**, v. 12, n. 1, p. 25-44, Jan. 1996. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467400009299>.
- KOHYAMA, T. S.; HOTTA, M. Significance of allometry in tropical saplings. **Functional Ecology**, v. 4, n. 4, p. 515-521, 1990. DOI: <https://doi.org/10.2307/2389319>.
- LIDA, Y.; KOHYAMA, T. S.; KUBO T.; KASSIM, A. R.; POORTER, L.; STERCK, F.; POTTS, M. D. Tree architecture and life-history strategies across 200 co-occurring tropical tree species. **Functional Ecology**, v. 25, n. 6, p. 1260-1268, Dec. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01884.x>.
- LIMA, A. S. **Equações de volume para estimativa de biomassa de castanha-da-amazônia**. 2015. 46 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- MCMAHON, T. Size and shape in Biology: elastic criteria impose limits on biological proportions, and consequently on metabolic rates. **Science**, v. 179, n. 4079, p. 1201-1204, Mar. 1973. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.179.4079.1201>.
- MYERS, G. P.; NEWTON, A. C.; MELGAREJO, O. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 127, n. 1-3, p. 119-128, Mar. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00124-3).
- NEVES, E. S.; GUEDES, M. C.; RODRIGUES, E. G. Relação da produção de frutos de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) com variáveis das próprias castanheiras, em capoeira e floresta da Resex Cajari. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 31-37, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n2p31-37>.
- NIKLAS, K. J. The allometry of safety-factors for plant height. **American Journal of Botany**, v. 81, n. 3, p. 345-351, Mar. 1994. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1994.tb15453.x>.

NORBERG, R. A. Theory of growth geometry of plants and self-thinning of plant populations: geometric similarity, elastic similarity, and different growth modes of plant parts. **The American Naturalist**, v. 131, n. 2, p. 220-256, Feb. 1988. DOI: <https://doi.org/10.1086/284787>.

PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology Management**, v. 261, n. 3, p. 508-514, Feb. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.001>.

PASTANA, D. N. B. **Produção de frutos da castanheira-da-amazônia no Amapá – 12 anos de monitoramento e as relações com anomalias climáticas**. 2019. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Curso de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, Macapá.

PASTANA, D. N. B.; MODENA, É. S.; WADT, L. H. O.; NEVES, E. S.; MARTORANO, L. G.; LIRA-GUEDES, A. C.; SOUZA, R. L. F.; COSTA, F. F.; BATISTA, A. P. B.; GUEDES, M. C. Strong El Niño reduces fruit production of Brazil-nut trees in the eastern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 51, p. 270-279, jul./set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392202003702>.

PEDROZO, C. A.; TONINI, H.; RESENDE, M. D. V.; JORDÃO, S. M. S. Repeatability of fruits and seeds production and selection of brazil nut genotypes in native populations in Roraima. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 863-871, Oct. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500009>

PERES, C. A.; BAIDER, C.; ZUIDEMA, P. A.; WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P.; SALOMÃO, R. P.; SIMÕES, L. L.; FRANCIOSI, E. R. N.; VALVERDE, F. C.; GRIBEL, R.; SHEPARD JUNIOR., G. H.; KANASHIRO, M.; COVENTRY, P.; YU, D. W.; WATKINSON, A. R.; FRECKLETON, R. P. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, v. 302, n. 5635, p. 2112-2114, Dec. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1091698>.

POORTER, L.; ROZENDAAL, D. M. A. Leaf size and leaf display of thirty-eight tropical tree species. **Oecologia**, v. 158, p. 35-46, Nov. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1131-x>.

ROETIS, B. V.; ROSSI, A. A. B.; BALDONI, A. B.; TIAGO, A. V.; TONINI, H. Divergência genética de castanha-do-Brasil por meio de caracteres biométricos de frutos e sementes. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 8, p. 249-259, out./nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0022>.

ROCHA, V. D.; LIMA, J. S.; BISPO, R. B.; COCHEV, J. S.; ROSSI, A. A. B. Caracterização biométrica de frutos e sementes de castanha-do-brasil na Amazônia mato-grossense. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 24, p. 186, 2016. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1008>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SALOMÃO, R. P. A castanheira: história natural e importância socioeconômica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 259-266, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.524>.

SANTOS, J. U. M.; BASTOS, M. N. C.; GURGEL, E. S. C.; CARVALHO, A. C. M. *Bertholletia excelsa* Humboldt & Bonplad (Lecythidaceae): aspectos morfológicos do fruto, da semente e da plântula. **Boletim do Museu paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 1, n. 2, p. 103-112, maio/ago. 2006. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v1i2.745>.

SILVA, A. C. C.; WADT, L. H. O. Remoção de sementes de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em castanhas nativas no sudoeste da Amazônia. In: SEMINÁRIO ANUAL DE COOPERAÇÃO UFAC/UF, 6., 2008, Rio Branco. **Parcerias em pesquisa e pós-graduação**: anais. Rio Branco: Ufac: University of Florida, 2008. p. 137. 1 CD-ROM.

- SILVIUS, K. M.; FRAGOSO, J. M. V. Red-rumped Agouti (*Dasyprocta leporina*) home range use in an Amazonian forest: implications for the aggregated distribution of forest trees. **Biotropica**, v. 35, n. 1, p. 74-83, Mar. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb00264.x>.
- SMITH, A. P.; HOGAN, K. P.; IDOL, J. R. Spatial and temporal patterns of light and canopy structure in a lowland tropical moist forest. **Biotropica**, v. 24, n. 4, p. 503-511, Dec. 1992. DOI: <https://doi.org/10.2307/2389012>.
- SOUZA, R. L. F. **Variabilidade espacial da produtividade e estrutura arbórea de castanhais nativos na Amazônia Oriental**. 2021. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- SPOSITO, T. C.; SANTOS, F. A. M. Scaling of stem and crown in eight Cecropia (Cecropiaceae) species of Brazil. **American Journal of Botany**, v. 88, n. 5, p. 939-949, May 2001. DOI: <https://doi.org/10.2307/2657047>.
- STARK, S. C.; ENQUIST, B. J.; SALESKA, S. R.; LEITOLD, V.; SCHIETTI, J.; LONGO, M.; ALVES, L. F.; CAMARGO, P. B.; OLIVEIRA R. C. de. Linking canopy leaf area and light environments with tree size distributions to explain Amazon forest demography. **Ecology Letters**, v. 18, n. 7, p. 636-645, July 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12440>.
- STARK, S. C.; LEITOLD, V.; WU, J. L.; HUNTER, M. O.; CASTILHO, C. V. de; CAROLINA, V.; COSTA, F. R. C.; MCMAHON, S. M.; PARKER, G. G.; SHIMABUKURO, M. T.; LEFSKY, M. A.; MICHAEL, A.; KELLER, M.; ALVES, L. F.; SCHIETTI, J.; SHIMABUKURO, Y. E.; BRANDÃO, D. O.; WOODCOCK, T. K.; HIGUCHI, N.; CAMARGO, P. B. de; OLIVEIRA, R. C. de; SALESKA S. R. Amazon forest carbon dynamics predicted by profiles of canopy leaf area and light environment. **Ecology Letters**, v. 15, n. 12, p. 1406-1414, Dec. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01864.x>.
- STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; CUNHA, T. A. Comparative models disentangle drivers of fruit production variability of an economically and ecologically important longlived Amazonian tree. **Scientific Reports**, v. 11, 2563, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81948-4>.
- STEEGE, H. ter.; PITMAN, N.; SABATIER, D.; CASTELLANOS, H.; HOUT, P. V. D.; DALY, D. C.; SILVEIRA, M.; PHILLIPS, O.; VASQUEZ, R.; ANDEL1, T. V.; DUIVENVOORDEN, J.; OLIVEIRA, A. A.; EK, R.; LILWAH, R.; THOMAS, R.; ESSEN, J. V.; BAIDER, C.; MAAS, P.; MORI, S.; TERBORGH, J.; VARGAS, P. N.; MOGOLLÓN, H.; MORAWETZ, W. A spatial model of tree α -diversity and density for the Amazon. **Biodiversity and Conservation**, v. 12, p. 2255-2277, Nov. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024593414624>.
- TONINI, H.; COSTA, P.; KAMINSKI, P. E. Estrutura e produção de duas populações nativas de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **Revista Floresta**, v. 38, n. 3, p. 445-457, jul./set. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v38i3.12410>.
- TONINI, H.; PEDROZO, C. A. Variações anuais na produção de frutos e sementes de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) em florestas nativas de Roraima. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 133-144, Fev. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100013>
- TREMMEL, D. C.; BAZZAZ, F. A. Plant architecture and allocation in different neighborhoods: implications for competitive success. **Ecology**, v. 76, n. 1, p. 262-271, Jan. 1995. DOI: <https://doi.org/10.2307/1940647>.
- VINCENT, G.; HARJA, D. Exploring ecological significance of tree crown plasticity through three-dimensional modelling. **Annals of Botany**, v. 101, n. 8, p. 1221-1231, May 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm189>.

- WADT, L. H. de O.; BALDONI, A. B.; SILVA, V. S.; CAMPOS, T. de; MARTINS, K.; AZEVEDO, V. C. R.; MATA, L. R. da; BOTIN, A. A.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; TONINI, H.; SEBBENN, A. M. Mating system variation among populations, individuals and within and among fruits in *Bertholletia excelsa*. **Silvae Genetica**, v. 64, p. 248_259, Nov. 2015.
- WADT, L. H. O.; FAUSTINO, C. L.; STAUDHAMMER, C. L.; KAINER, K. A.; EVANGELISTA, J. S. Primary and secondary dispersal of *Bertholletia excelsa*: implications for sustainable harvests. **Forest Ecology and Management**, v. 415-416, p. 98-105, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.014>.
- WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371-384, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061>.
- WEINER, J. Allocation, plasticity and allometry in plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 6, n. 1, p. 207-215, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00083>.
- WIRTH, R.; WEBER, B.; RYEL, R. J. Spatial and temporal variability of canopy structure in a tropical moist forest. **Acta Oecologica**, v. 22, n. 5-6, p. 1-10, Sept./Dec. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(01\)01123-7](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(01)01123-7).
- ZUIDEMA, P.; BOOT, R. Demography of the Brazil Nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 1, p. 1-31, Jan. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002018>.

Capítulo 5

Fitossociologia e diversidade arbórea associada a castanheiras na Amazônia brasileira

Katia Emidio da Silva; Lucia Helena de Oliveira Wadt; Marcelino Carneiro Guedes; Aisy Botega Baldoni; Francisca Dioniza de A. Matos; Nadiele Pereira Pacheco; Rosiele dos Santos Vasconcelos.

Introdução

Biodiversidade pode ser entendida como a variedade e a variabilidade dos seres vivos resultantes da história evolutiva dos genomas, que acumularam estratégias adaptativas utilizadas no passado (Nee; May, 1997). A biodiversidade pode ser descrita em termos de número de entidades (quantidade de genótipos, espécies ou ecossistemas), igualdade de sua distribuição, diferenças em seus aspectos funcionais e suas interações. Em linhas gerais, quanto maior o número de espécies, maior a biodiversidade, maior o número de estratégias diferentes de explorar os recursos do ambiente e, como consequência, maior é a redundância funcional, que aumenta a estabilidade dos ecossistemas e mantém os serviços ecossistêmicos (Hooper et al., 2005).

A floresta amazônica é o maior reservatório natural da diversidade vegetal do planeta, com mais de 15 mil espécies vegetais (Steege et al., 2020), apresentando múltiplas inter-relações de seus componentes bióticos e abióticos, os quais formam um conjunto de ecossistemas altamente complexos e de equilíbrio ecológico extremamente frágil (Oliveira; Amaral, 2005). Compreender as relações entre as espécies de interesse e o ambiente onde elas se encontram é chave para a definição de ações de manejo e conservação de hábitat visando sua sustentabilidade. Nesse contexto, a castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*), espécie de grande importância social e econômica para milhares de famílias, ocorre associada a outras espécies vegetais, de modo a formar os chamados castanhais, cujas relações bióticas precisam ser mais bem compreendidas para que tanto essa espécie quanto

as demais que ocorrem na floresta sejam conservadas e manejadas de forma a manter a função e, conseqüentemente, o equilíbrio dos castanhais.

O estudo da composição florística e da diversidade vegetal associada à castanheira-da-amazônia contribui para a ampliação do conhecimento sobre seus ambientes bióticos bem como para qualificação e quantificação dos serviços ecossistêmicos associados aos castanhais. A vegetação vizinha às castanheiras desempenha papel relevante para o equilíbrio ecossistêmico, por meio do apoio a populações de polinizadores, por exemplo, que são de grande importância para a sustentabilidade dos castanhais, além de outras funções que precisam ser compreendidas. Há poucos estudos sobre composição florística e diversidade vegetal nos castanhais nativos, mas este capítulo propõe abordar essa lacuna, por meio da apresentação de resultados de estudos sobre a composição florística e a diversidade arbórea em castanhais nativos de quatro estados brasileiros.

Pesquisas realizadas no âmbito do Mapeamento de Castanhais Nativos e Caracterização Socioambiental e Econômica de Sistemas de Produção da Castanha-do-Brasil na Amazônia (MapCast), coordenado pela Embrapa, em 2014, objetivaram, entre outros temas, levantar a diversidade vegetal associada às castanheiras, como subsídio à conservação e ao manejo dos castanhais e à quantificação de serviços ecossistêmicos associados aos castanhais. Para a realização da pesquisa, foram selecionados sete castanhais no Acre, Amapá, Amazonas e Mato Grosso. No Acre, foram selecionados dois castanhais, um localizado no município de Xapuri, PAE Chico Mendes (castanhal Cachoeira), e outro no município de Epitaciolândia, Resex Chico Mendes (castanhal Filipinas). No Amapá, foram selecionados dois castanhais no município de Laranjal do Jarí, na Resex do Rio Cajari (castanhal do Claudio e K7). No Amazonas, os castanhais estudados estão localizados em Tefé (castanhal Ariramba-propriedade particular-Jutica) e em Anori, na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Purus (castanhal Tabocão). No Mato Grosso, foi escolhido apenas um castanhal, situado no município de Itaúba, em propriedade particular (castanhal Itaúba). Em cada castanhal, 15 castanheiras foram selecionadas e constituíram o centro de uma parcela circular com raio de 15 m (706,85 m² de área), subdivididas em oito subparcelas, identificadas como arcos (Figura 1). Todas as árvores e palmeiras com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 10 cm foram identificadas em cada um dos oito arcos estabelecidos (Silva et al., 2017).

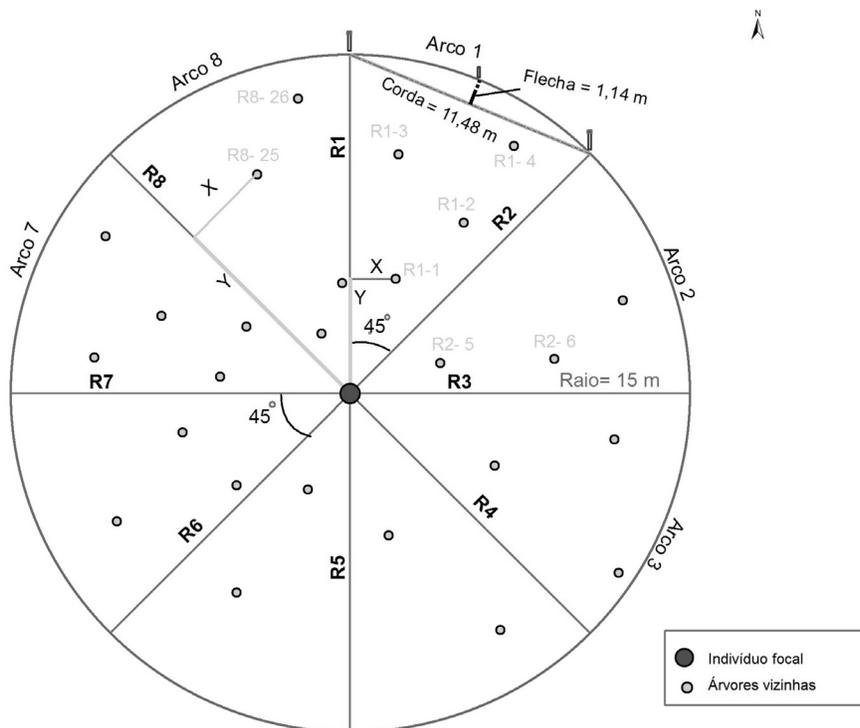


Figura 1. Modelo da estrutura da parcela circular com raio de 15 m e oito arcos, estabelecida em cada castanhal estudado pelo projeto MapCast no Acre, no Amapá, no Amazonas e em Mato Grosso.

Fonte: Silva et al., 2017.

Nas 105 parcelas circulares, foram inventariados 3.186 indivíduos ($DAP \geq 10\text{cm}$), representados por 157 famílias, 340 gêneros e 504 espécies. Os castanhais do Acre apresentaram a menor densidade total de indivíduos (Figura 2). Os resultados, em termos quantitativos indicam diferenças entre os estados, com destaque para o Acre e o Mato Grosso, que apresentaram os menores e os maiores números, respectivamente, exceto para o número de espécies. ha^{-1} , em que o Amazonas apresentou o maior valor.

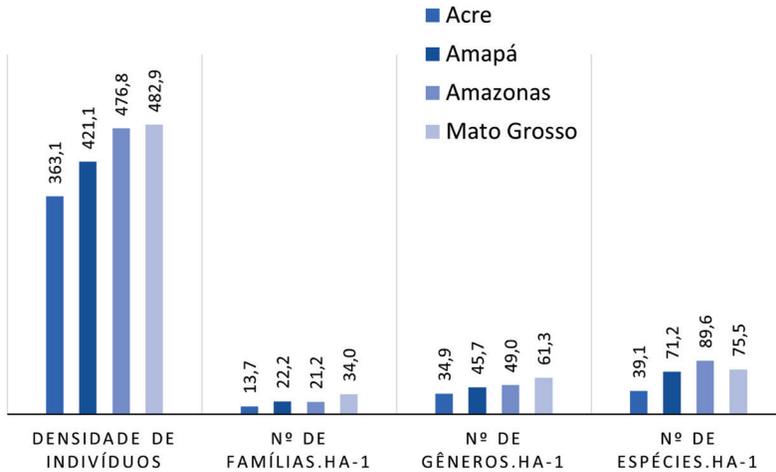


Figura 2. Densidade total de indivíduos arbóreos e número de famílias, gêneros e espécies por hectare em vegetação associada a castanheiras nativas estudadas pelo projeto MapCast em quatro estados da Amazônia brasileira: Acre, Amapá, Amazonas e Mato Grosso.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do Projeto MapCast.

Fitossociologia da vegetação arbórea associada a castanheiras

A composição florística de determinada área é representada por uma lista com o nome das espécies, dos gêneros e das famílias dos indivíduos-alvo presentes na área de estudo sem considerar qualquer diferença ecológica. Todas as espécies têm o mesmo peso, sendo importante a distribuição dos grupos, ou seja, se algum táxon ocorre em maior frequência dentro de determinada comunidade. A fitossociologia é analisada em função da densidade, frequência e abundância das espécies, definida pela importância relativa das espécies na comunidade vegetal. Permite também inferir sobre distribuição espacial de cada espécie e possibilidades de associações intraespecíficas, que identificam vários aspectos da ecologia de comunidades, como agressividade, propagação vegetativa, ciclo de vida e dispersão (Tabarelli et al., 1993). Tem, ainda, papel importante na definição de programas de gestão ambiental e estudos para caracterização da tipologia florestal (Isernhagen, 2001).

Neste estudo da vegetação vizinha às castanheiras de diferentes estados, dez famílias estiveram presentes em todos os sete locais de estudo, sendo a mais frequente Fabaceae e a menos frequente Bignoniaceae (Figura 3). Já outras

16 famílias de plantas foram registradas apenas em um local, o que representa um certo endemismo, com Acre e Mato Grosso apresentando menor número de famílias endêmicas (Figura 4). Todas essas famílias endêmicas foram localmente raras, uma vez que poucos indivíduos foram registrados.

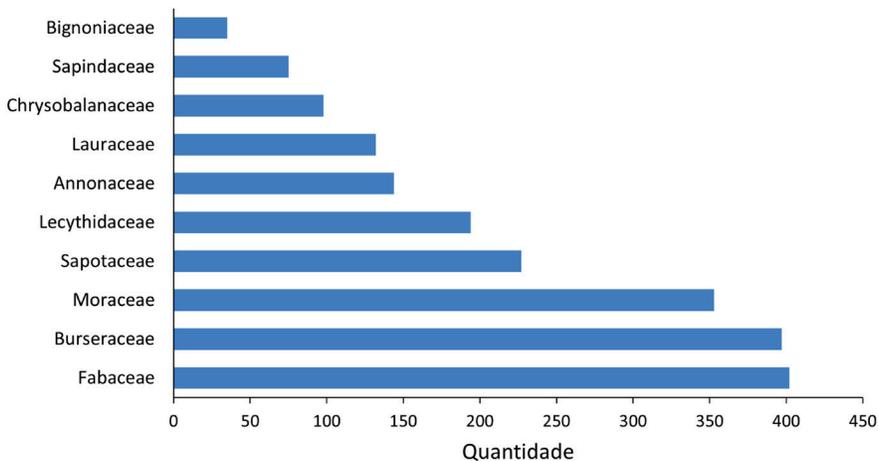


Figura 3. Número de indivíduos registrados nas famílias comuns a todos os sete locais de estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do Projeto MapCast.

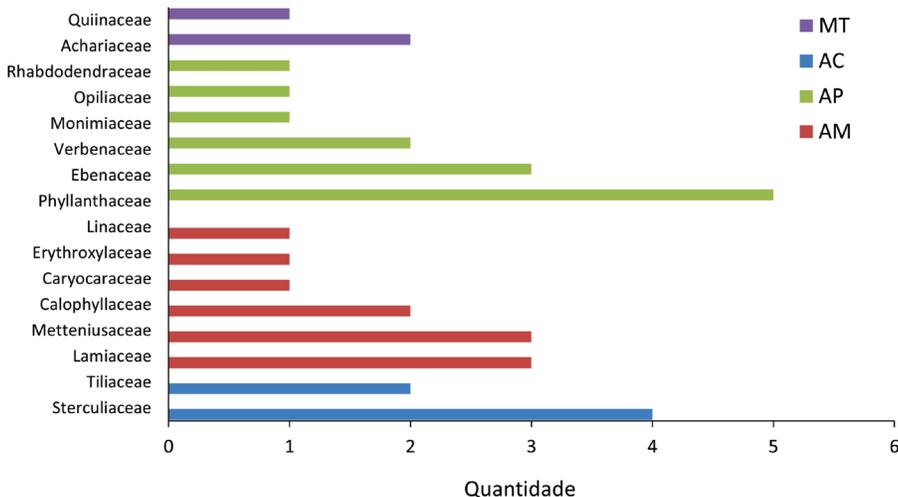


Figura 4. Número de indivíduos registrados para as famílias encontradas em apenas um dos sete locais estudados, em cada estado.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do Projeto MapCast.

Analisando as cinco famílias mais abundantes em cada estado, verifica-se que, no Acre e no Mato Grosso, essas famílias de grande representação corresponderam a mais de 60% dos indivíduos, enquanto para o Amazonas e o Amapá foram 52,2% e 50,3%, respectivamente. Fabaceae, Burceraceae e Moraceae foram as famílias mais frequentes considerando todas as parcelas (Figura 3), o que representa, cada uma delas, mais de 10% dos indivíduos registrados. Dessas três famílias, a Fabaceae não está entre as cinco mais ocorrentes no Mato Grosso; a Burceraceae não está entre as cinco mais ocorrentes no Amazonas; e a Moraceae não está entre as cinco mais ocorrentes no Amapá (Figura 5). Esse é um padrão semelhante aos padrões encontrados em outros trabalhos com florística de florestas tropicais, onde poucas famílias respondem pelo maior número total de indivíduos amostrados (Silva, 2010; Pacheco, 2018).

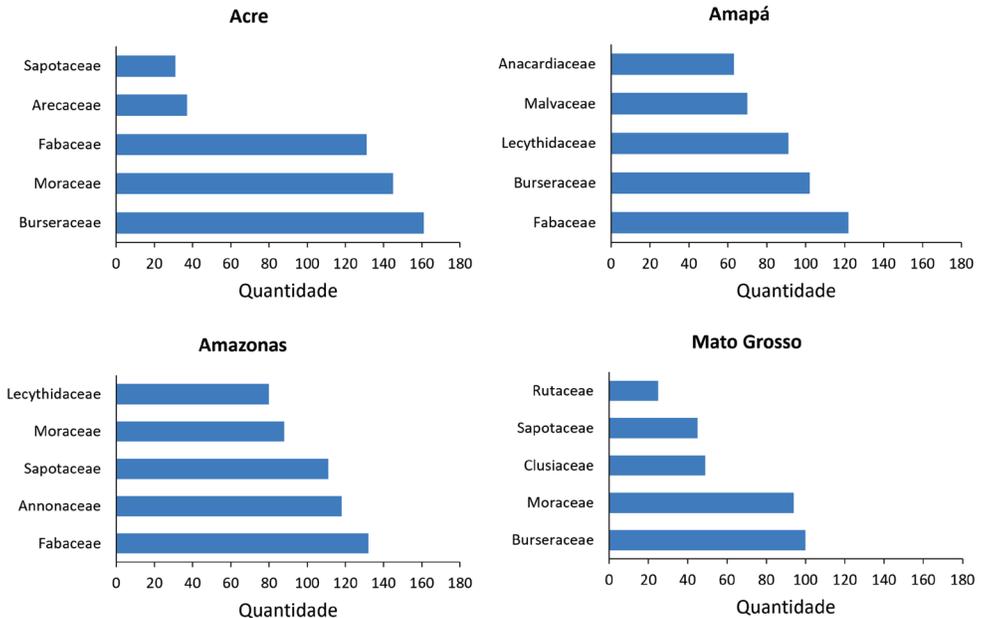


Figura 5. Distribuição das cinco famílias mais abundantes nas amostras de castanhais nativos de cada estado.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do Projeto MapCast.

Segundo Mori et al. (2017), alguns estudos têm mostrado uma maior abundância e riqueza de espécies pertencentes à família Lecythidaceae (família à qual pertence a castanheira), especialmente na Amazônia Central. Esse fato foi observado também no estudo em questão, em que, para o Amazonas (Amazônia Central), foi registrado o maior número de espécies de Lecythidaceae (12 espécies), comparado aos demais estados: Acre, com duas espécies; Amapá, com cinco espécies; e Mato Grosso, com uma espécie.

A estrutura horizontal das florestas com castanheiras (castanhais) pode ser descrita pelo parâmetro fitossociológico Índice de Valor de Importância (IVI) – que é formado pela somatória da frequência relativa (Frel), dominância relativa (Dorel) e densidade relativa (Drel) da vegetação – e expressa a importância ecológica das espécies na comunidade vegetal. A Frel expressa o número de ocorrências de uma determinada espécie nas diferentes parcelas, obtida pela soma total das frequências absolutas, para cada espécie. A dominância é um parâmetro que expressa a influência de cada espécie na comunidade, por meio de sua biomassa, e a Dorel corresponde à participação da espécie, em porcentagem, em relação à área basal total. A Drel diz respeito ao número de indivíduos total de uma mesma espécie por unidade de área e revela, em porcentagem, a participação de cada espécie em relação ao número total de indivíduos de todas as espécies.

De modo geral, as dez espécies de maior IVI foram diferentes entre as localidades estudadas (Figura 6), muito em função das características fitossociológicas das regiões. Em todos os estados, exceto no Acre, a castanheira-da-amazônia esteve entre as cinco espécies de maior IVI, mas no Amapá e em um castanhal do Amazonas, foi a espécie vizinha mais importante, devido à sua dominância. Observa-se que, em todos os locais, a importância das castanheiras está associada majoritariamente à Dorel, diferentemente das demais espécies (Figura 6). Nos castanhais do Acre, a castanheira não apareceu entre as espécies com maiores valores de IVI, provavelmente devido à baixa densidade da espécie nessa região e à consequente baixa ocorrência nas subparcelas; *Tetragastris altissima* (breu), uma Burseraceae, foi a espécie que apareceu com maior IVI nos castanhais do Acre, em função da Dorel e da Drel.

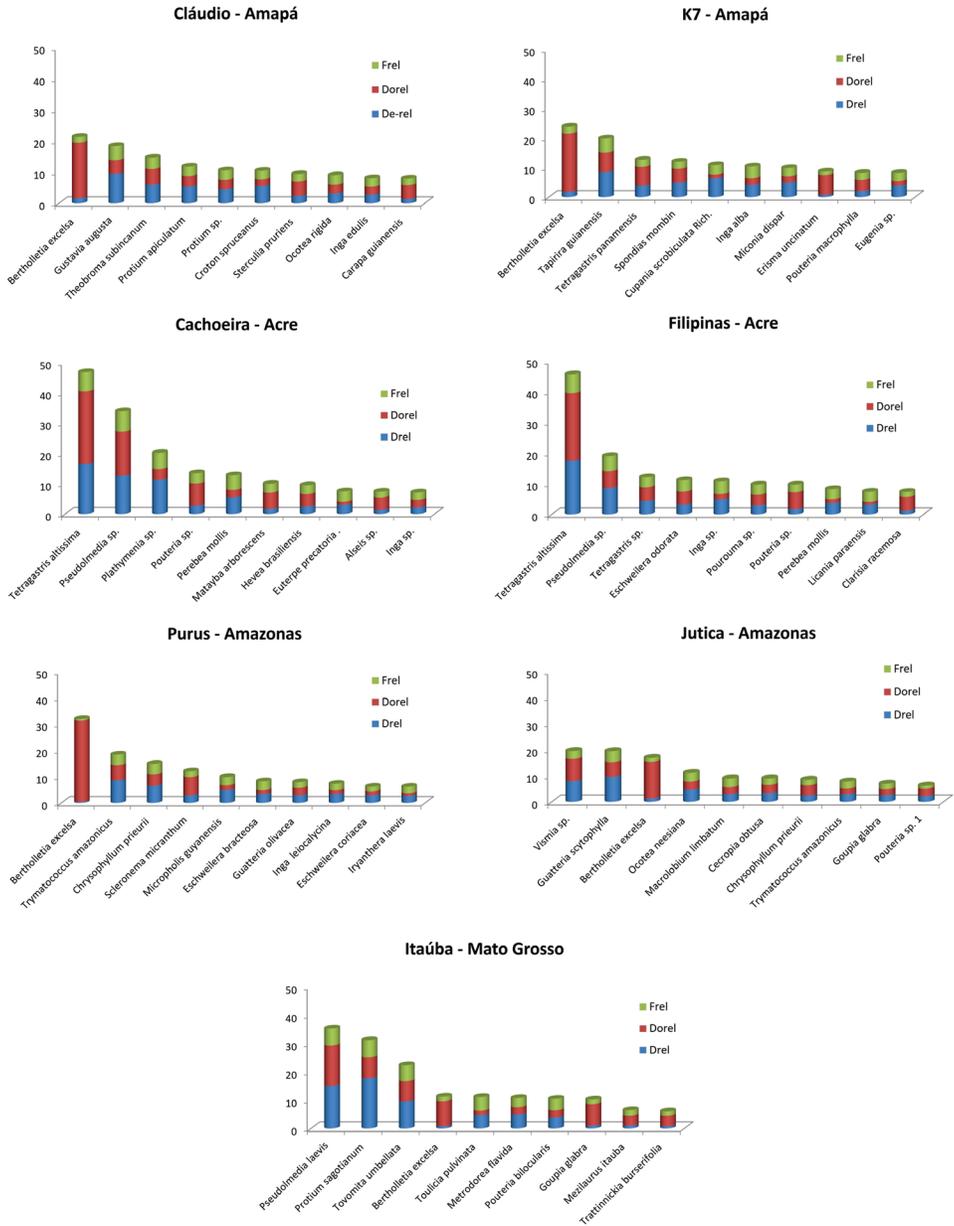


Figura 6. Distribuição das espécies em função do índice de valor de importância (IVI). O IVI é formado pela somatória da frequência relativa (Frel), da dominância relativa (Dorel) e da densidade relativa (Drel), da vegetação associada a castanhais no Acre (Cachoeira e Filipinas), Amapá (Cláudio e K7), Amazonas (Tabocão e Ariramba) e Mato Grosso (Itaúba).

Diversidade arbórea associada às castanheiras

A diversidade observada nos castanhais pode ser avaliada por meio dos parâmetros riqueza de espécies e espécies equivalentes ou efetivo número de espécies (ENS), que é o número de espécies em uma comunidade equivalente, composta de espécies igualmente abundantes. O ENS permite comparar valores de diversidade, de forma mais robusta, na unidade de medida de espécies, sem distorcer o valor da diversidade (Jost, 2006). Aqui, o ENS foi calculado pela transformação do índice de Shannon-H, segundo a fórmula do exponencial de H. \exp^H . Os valores mínimos e máximos de riqueza de espécies são apresentados na Figura 7, com as maiores variações observadas no Amapá e no Acre. O Amazonas foi o estado que apresentou a maior riqueza de espécies, seguido pelo Amapá, enquanto o estado do Acre apresentou o menor valor para riqueza.

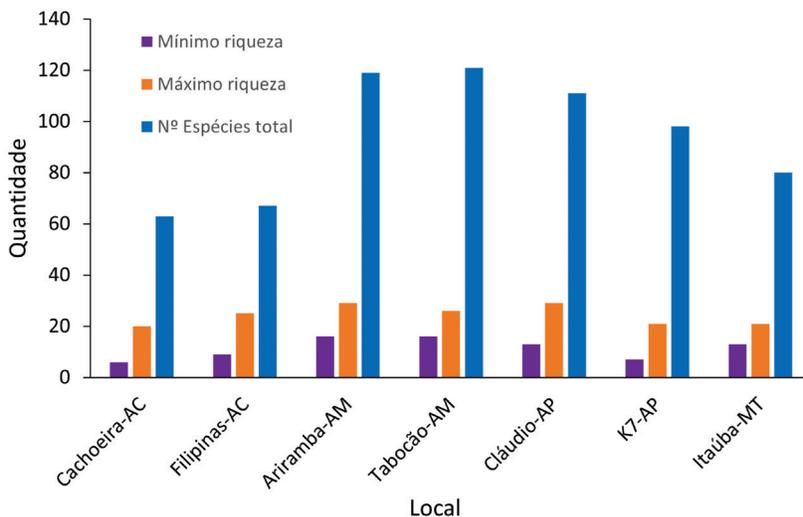


Figura 7. Riqueza de espécies e número total de indivíduos em cada castanhal estudado.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do Projeto MapCast.

Em termos de diversidade local, com o ENS como parâmetro e aplicando o teste de Wilcoxon com 5% de probabilidade, não houve diferença entre os castanhais estudados no Acre (Filipinas e Cachoeira: p-valor=0,22) e Amazonas (Tabocão e Ariramba: p-valor=0,63; Figura 8). Três castanhais se destacaram em termos de riqueza, Cláudio-AP, Ariramba-AM e Tabocão-AM. Os castanhais com menor riqueza de espécies foram aqueles localizados na porção sul da Amazônia (Acre

e Mato Grosso). Vale destacar que apenas o valor de diversidade foi comparado (único índice), e não a composição de espécies entre as diferentes localidades, que será discutida mais adiante.

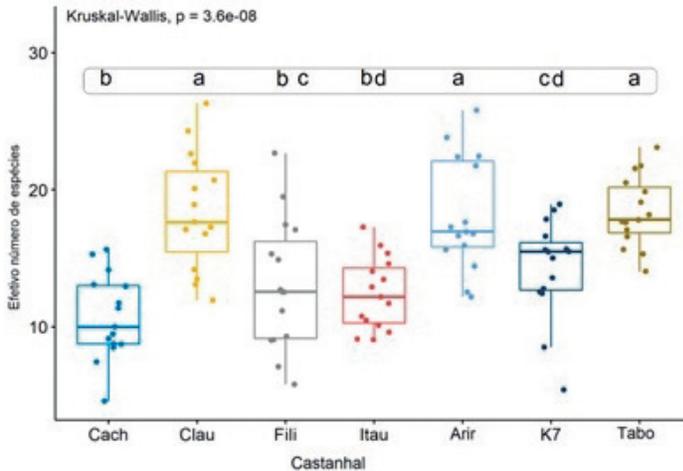


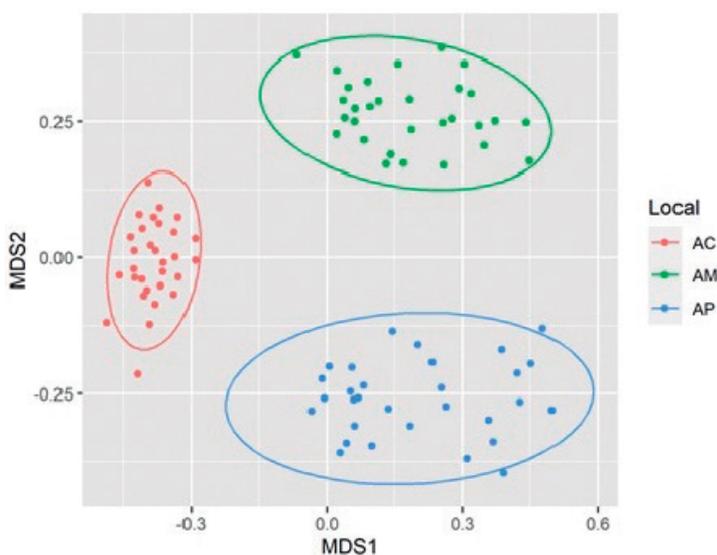
Figura 8. Boxplot da diversidade arbórea efetivo avaliada pelo número de espécies número de espécies (ENS), comparada entre os sete castanhais por meio do teste de Wilcoxon. Cach (Cachoeira-AC), Clau (Cláudio-AP), Fili (Filipinas-AC), Itau (Itaúba-MT), Arir (Ariramba-AM), K7 (K7-AP) e Tabo (Tabocão-AM).

A Tabela 1 mostra os valores calculados de Shannon-Weaver e ENS para cada castanhal. Em um outro estudo sobre a diversidade vegetal de seis castanhais do Amazonas, Pacheco (2018) encontrou valores de ENS semelhantes aos deste estudo, podendo-se dizer que são castanhais com alta diversidade de espécies. Os castanhais do Amapá apresentaram diversidade média a alta e os do Acre e Mato Grosso, média a baixa quando comparado entre eles.

As diferenças em termos de composição florística de cada localidade podem ser visualizadas na Figura 9, em que se espera que comunidades mais distantes sejam mais diferentes que as mais próximas. O Acre, o Amazonas e o Amapá, quando analisados conjuntamente, apresentam diferenças em suas composições florísticas, em termos de espécies, como era de se esperar, uma vez que os castanhais estão distantes geograficamente entre si, o que reflete na composição de sua flora (Hubbell et al., 1999).

Tabela 1. Índice de Shannon-Weaver e ENS para as amostras dos sete castanhais estudados.

Local – castanhal	Shannon-Weaver	ENS
Ariramba-AM	4,16	64,11
Tabocão-AM	4,16	64,05
Cláudio-AP	4,06	57,81
K7-AP	4,01	55,19
Filipinas-AC	3,51	33,60
Itaúba-MT	3,40	29,94
Cachoeira-AC	3,33	27,84

**Figura 9.** Comparação da diferença florística entre amostras de castanhais em três estados (Acre, Amazonas e Amapá). Intensidade amostral de dois castanhais (30 parcelas) em cada estado, usando método multivariado NMDS (Stress=0,1035). Teste de homogeneidade de variância (p-valor= 0,79) e permutacional análise de variância multivariada adonis (p-valor=0,001).

Ao avaliar a composição de espécies entre castanhais de cada localidade (considerando 15 parcelas de estudo em cada castanhal), também foram observadas diferenças significativas para todas as localidades, o que indica que mesmo distâncias geográficas não tão grandes, como aquelas entre estados, refletem

em variações ambientais, que conseqüentemente influenciam a composição das espécies.

A análise da composição florística dentro de cada castanhal, foi feita pela comparação entre pares de parcelas circulares, utilizando os oito arcos como subparcelas. Ficou demonstrado que em alguns casos há diferenças na composição florística dentro de castanhais.

O castanhal K7-AP apresentou a maior variação na composição de espécies entre as parcelas. Em contrapartida, embora no mesmo estado, o castanhal Cláudio apresentou a menor variação, mostrando ser mais homogêneo em termos de composição florística. Essas diferenças são explicadas pelo ambiente e pela tipologia florestal, pois o castanhal do K7-AP é uma área de transição, cuja floresta está em fase inicial de sucessão, sendo mais aberta e com maior entrada de luz. Além disso, o relevo nesse local é mais movimentado, com presença de grotas, enquanto no castanhal do Cláudio o relevo é bem plano. No Acre, os castanhais estudados demonstraram ter a mesma variabilidade interna quanto à composição florística, o que não significa ter a mesma composição de espécies, conforme ficou evidenciado pelas dez espécies mais importantes em termos de IVI (Figura 6). Este estudo demonstra a versatilidade de ambientes em que a castanheira se desenvolve, confirmando o dito popular e o reconhecimento internacional de que essa espécie é símbolo da conservação da floresta amazônica.

Considerações finais

A diversidade vegetal associada às castanheiras mostrou ser bastante alta, com elevados valores de diversidade no Amapá e Amazonas. Embora todos os locais de estudo tenham apresentado valores altos de diversidade de espécies expressos pelo índice de Shannon, a análise comparativa do ENS demonstra que os castanhais da porção sul da Amazônia brasileira compartilham uma matriz florestal com menor diversidade de espécies.

Apesar das diferenças na composição e da diversidade de espécies entre os locais estudados, houve famílias importantes associadas aos castanhais, como as Fabaceae, Burseraceae e Moraceae, não deixando de observar que essas famílias são altas produtoras de frutas e, por conseguinte, bastante visitadas por aves. Da mesma forma, observaram-se famílias e espécies endêmicas a determinados locais.

Diferenças florísticas foram observadas em todos os níveis de avaliação, tanto entre estados, castanhais como dentro de cada castanhal. O castanhal do Amapá (K7) se destacou dos demais por apresentar maior variação entre parcelas dentro do castanhal, refletindo o ambiente diferenciado dos demais, pois está inserido em uma área de transição floresta-cerrado com relevo e tipologia florestal diferenciados.

Os resultados deste estudo mostram a importância dos castanhais na conservação das florestas, uma vez que a alta diversidade e a variação na composição florística da matriz florestal associada aos castanhais nativos desempenham papel importante na manutenção do equilíbrio desses ecossistemas. Além disso, a atividade do extrativismo da castanheira é importante para a manutenção dessa diversidade, uma vez que estudos demonstram que o uso dos castanhais favorece a dinâmica florestal (ver capítulo 3.1). Dessa forma, o manejo sustentável de castanhais nativos deve ser cada vez mais valorizado, inclusive sob a perspectiva da prestação de serviços ambientais pelos castanhais. Estudos futuros que utilizem dados históricos de monitoramento da produção de frutos da castanheira podem elucidar melhor as relações entre espécies vizinhas, de modo a possibilitar compreender possíveis efeitos sobre a polinização, indo além dos benefícios da diversidade florística representada pelos castanhais.

Referências

HOOPER, D. U.; CHAPIN III, F. S.; EWEL, J. J.; HECTOR, A.; INCHAUSTI, P.; LAVOREL, S.; LAWTON, J. H.; LODGE, D. M.; LOREAU, M.; NAEEM, S.; SCHMID, B.; SETÁLÁ, H.; SYMSTAD, A. J.; VANDERMEER, J.; WARDLE, D. A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consequence of current knowledge. **Ecological Monographs**, v. 75, n. 1, p. 3-35, Feb. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1890/04-0922>.

HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B.; O'BRIEN, S. T.; HARMS, K. E.; CONDIT, R.; WECHSLER, B.; WRIGHT, S. J.; LAO, S. L. de. Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. **Science**, v. 283, n. 5401, p. 554-557, Jan. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.283.5401.554>.

ISERNHAGEN, I. **A fitossociologia florestal no Paraná e os programas de recuperação de áreas degradadas**: uma avaliação. 2001. 219 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

JOST, L. Entropy and diversity. **Oikos**, v. 113, n. 2, p. 363-375, May 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>.

MORI, S. A.; KIERNAN, E. A.; SMITH, N. P.; KELLEY, L. M.; HUANG, Y. Y.; PRANCE, G. T.; THIERS, B. Observations on the phytogeography of the Lecythidaceae clade (Brazil nut family). **Phytoneuron**, v. 30, p. 1- 86, Apr. 2017. Disponível em: <https://www.phytoneuron.net/2017Phytoneuron/30PhytoN-Lecythidaceae.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2021.

OKSANEN, J. **Vegan**: an introduction to ordination. Disponível em: project.org/web/packages/vegan/vignettes/intro-vegan.pdf.

OLIVEIRA, N. A.; AMARAL, I. L. Aspectos florísticos, fitossociológicos e ecológicos de um sub-bosque de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 1-16, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000100002>.

PACHECO, N. P. **Diversidade vegetal associada a castanheiras produtivas nas principais regiões produtoras do estado do Amazonas**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

SILVA, K. E. **Florística e estrutura espacial**: 15 hectares de parcelas permanentes na floresta densa de terra firme na Amazônia Central. 2010. 102 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, K. E.; MATOS, F. D. A.; WADT, L. H. O.; GUEDES, M. C. Instalação de parcelas circulares para caracterização da vegetação associada a espécies arbóreas tropicais. *In*: WADT, L. H. O.; SANTOS, L. M. H.; BENTES, M. P. M.; OLIVEIRA, V. B. V. (ed.). **Produtos florestais não madeireiros-guia metodológico da rede Kamukaia**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 33-40.

STEEGE, H. ter; PRADO, P. I.; LIMA, R. A. F. de.; POS, Edwin.; COELHO, L. de S.; FILHO, D. de A. L.; SALOMÃO, R. P.; AMARAL, I. L.; MATOS, F. D. de A.; CASTILHO, C. V.; PHILLIPS, O. L. GUEVARA, J. E.; CARIM, M. de J. V.; LÓPEZ, D. C.; MAGNUSSON, W. E.; WITTMANN, F.; MARTINS, M. P.; SABATIER, D.; IRUME, M. V.; GUIMARÃES, J. R. da S.; MOLINO, J. F.; BÁNKI, O. S.; PIEDADE, M. T. F.; PITMAN, N. C. A.; RAMOS, J. F.; MENDOZA, A. M.; VENTICINQUE, E. M.; LUIZE, B. G.; VARGAS, P. N.; SILVA, T. S. F.; NOVO, E. M. M. de L.; REIS, N. F. C.; TERBORGH, J.; MANZATTO, A. G.; CASULA, K. R.; CORONADO, E. N. H.; MONTERO, J. C.; DUQUE, A.; COSTA, F. R. C.; ARBOLEDA, N. C.; SCHÖNGART, J.; ZARTMAN, C. E.; KILLEEN, T. J.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; VASQUEZ, R.; MOSTACEDO, B.; DEMARCHI, L. O.; FELDPAUSCH, T. R.; ENGEL, J.; PETRONELLI, P.; BARALOTO, C.; ASSIS, R. L.; CASTELLANOS, H.; SIMON, M. F.; MEDEIROS, M. B. de.; QUARESMA, A.; LAURANCE, S. G. W.; RINCÓN, L. M.; ANDRADE, A.; SOUSA, T. R.; CAMARGO, J. L.; SCHIETTI, J.; LAURANCE, W. F.; QUEIROZ, H. L. de.; NASCIMENTO, H. E. M.; LOPES, M. A.; FARIAS, E. de S.; MAGALHÃES, J. L. L.; BRIENEN, R.; AYMARD C., G. A.; REVILLA, J. D. C.; VIEIRA, I. C. G.; CINTRA, B. B. L.; STEVENSON, P. R.; FEITOSA, Y. O.; DUIVENVOORDEN, J. F.; MOGOLLÓN, H. F.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; FERREIRA, L. V.; LOZADA, J. R.; COMISKEY, J. A.; TOLEDO, J. J. de.; DAMASCO, G.; DÁVILA, N.; LOPES, A.; GARCÍA-VILLACORTA, R.; DRAPER, F.; VICENTINI, A.; VALVERDE, F. C.; LLOYD, J.; GOMES, V. H. F.; NEILL, D.; ALONSO, A.; DALLMEIER, F.; SOUZA, F. C. de.; GRIBEL, R.; ARROYO, L.; CARVALHO, F. A.; AGUIAR, D. P. P. de.; AMARAL, D. D. do.; PANSONATO, M. P.; FEELEY, K. J.; BERENQUER, E.; FINE, P. V. A.; GUEDES, M. C.; BARLOW, J.; FERREIRA, J.; VILLA, B.; MORA, M. C. P.; JIMENEZ, E. M.; LICONA, J. C.; CERÓN, C.; THOMAS, R.; MAAS, P.; SILVEIRA, M.; HENKEL, T. W.; STROPP, J.; PAREDES, M. R.; DEXTER, K. G.; DALY, D.; BAKER, T. R.; HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; MILLIKEN, W.; PENNINGTON, T.; TELLO, J. S.; PENA, J. L. M.; PERES, C. A.; KLITGAARD, B.; FUENTES, A.; SILMAN, M. R.; FIORE, A. di.; HILDEBRAND, P. von.; CHAVE, J.; ANDEL, T. R. Van.; HILÁRIO, R. R.; PHILLIPS, J. F.; RIVAS-TORRES, G.; NORONHA, J. C.; PRIETO, A.; GONZALES, T.; CARPANEDO, R. de SÁ.; GONZALES, G. P. G.; GÓMEZ, R. Z.; RODRIGUES, D. de J.; ZENT, E. L.; RUSCHEL, A. R.; VOS, V. A.; FONTY, É.; JUNQUEIRA, A. B.; DOZA, H. P. D.; HOFFMAN, B.; ZENT, S.; BARBOSA, E. M.; MALHI, Y.; BONATES, L. C. de M.; MIRANDA, I. P. de A. SILVA, N.; BARBOSA, F. R.; VELA, C. I. A.; PINTO, L. F. M.; RUDAS, A.; ALBUQUERQUE, B. W.; UMAÑA, M. N.; MÁRQUEZ, Y. A. C.; HEIJDEN, G. van der.; YOUNG, K. R.; TIRADO, M.; CORREA, D. F.; SIERRA, R.; COSTA, J. B. P.; ROCHA, M.; TORRE, E. V.; WANG, O.; OLIVEIRA, A. A.; KALAMANDEEN, M.; VRIESENDORP, C.; RAMIREZ-ANGULO, H.; HOLMGREN, M.; NASCIMENTO, M. T.; GALBRAITH, D.; FLORES, B. M.; SCUDELLER, V. V.; CANO, A.; REATEGUI, M. A. A.; MESONES, I.; BAIDER, C.; MENDOZA, C.; ZAGT, R.; GIRALDO, L. E. U.; FERREIRA, C.;

VILLARROEL, D.; LINARES-PALOMINO, R.; FARFAN-RIOS, W.; FARFAN-RIOS, W.; CASAS, L. F.; CÁRDENAS, S.; BALSLEV, H.; TORRES-LEZAMA, A.; ALEXIADES, M. N.; GARCIA-CABRERA, K.; GAMARRA, L. V.; SANDOVAL, E. H. V.; AREVALO, F. R.; HERNANDEZ, L.; SAMPAIO, A. F.; PANSINI, S.; CUENCA, W. P.; OLIVEIRA, E. A. de.; PAULETTO, D.; LEVESLEY, A.; MELGAÇO, K.; PICKAVANCE, G. Biased-corrected richness estimates for the Amazonian tree flora. **Scientific Reports**, v. 10, 10130, June 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66686-3>.

TABARELLI, M.; VILLANI, J. P.; MANTOVANI, W. Aspectos da sucessão secundária em trecho da floresta atlântica no Parque Estadual da Serra do Mar, SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 5, n. 1, p. 99-112, jul. 1993. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/iflorestal/ifref/RIF5-1/RIF5-1_99-112.pdf. Acesso em: 15 ago. 2021.

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.

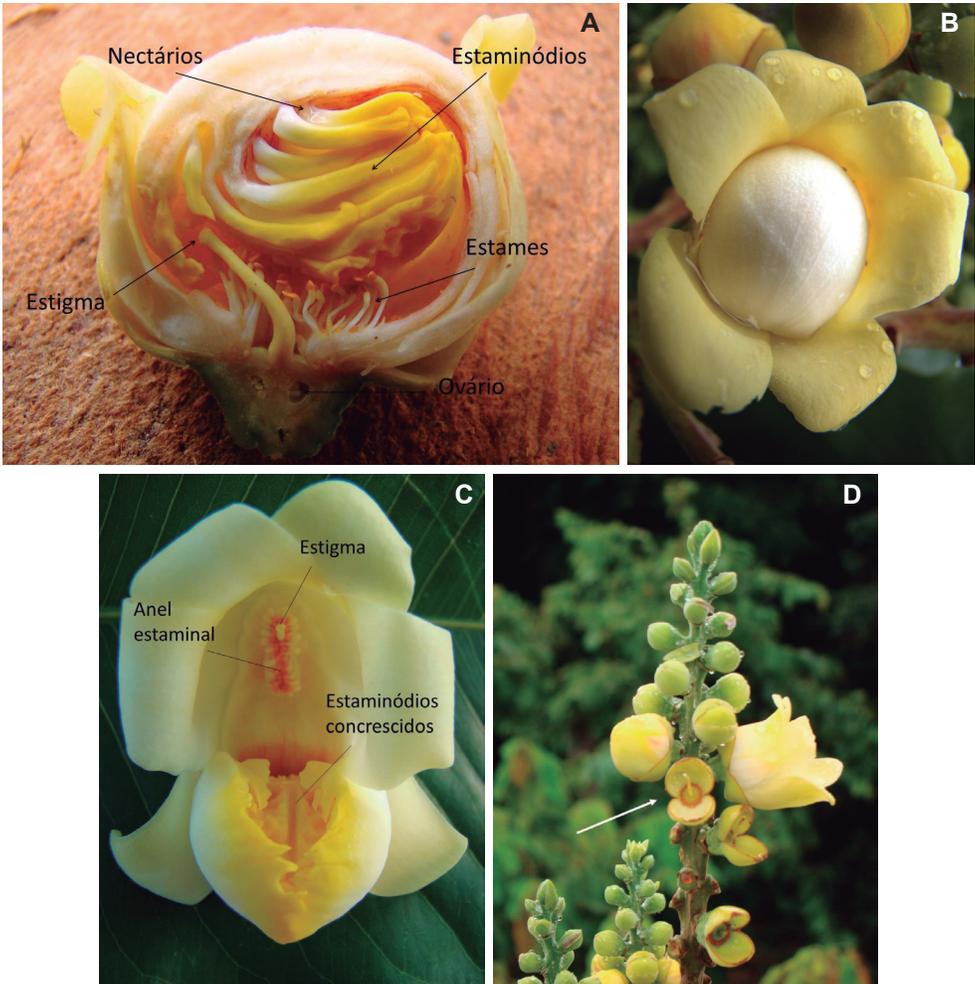
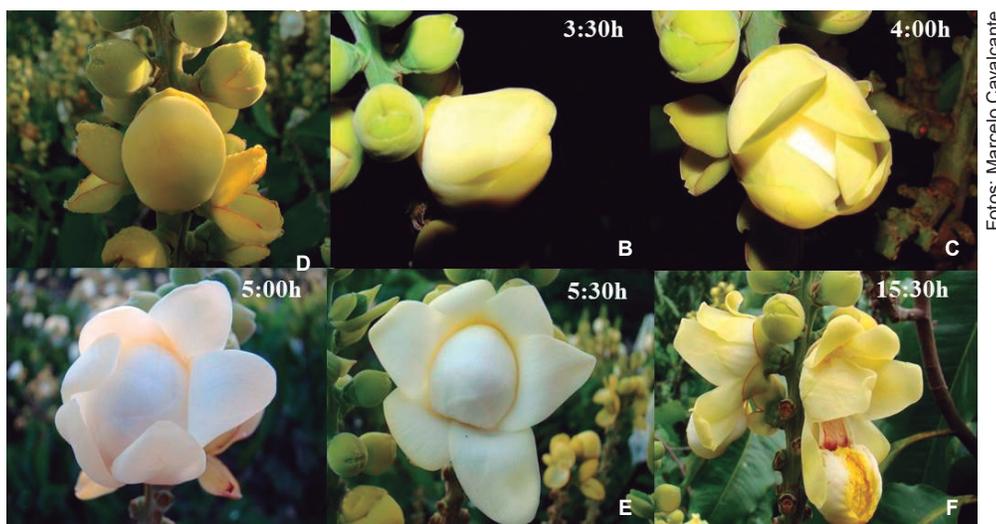


Figura 2. Florescimento da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*). 2A – corte transversal da flor evidenciando todas as estruturas reprodutivas; 2B – detalhe da flor; 2C – exposição das estruturas reprodutivas na flor (anel estaminal, estigma e estaminódios concrescidos); e 2D – estrutura que 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.



Fotos: Marcelo Cavalcante

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

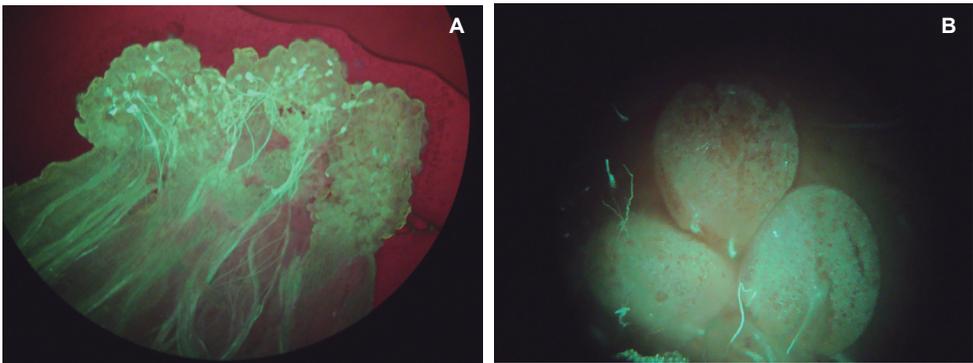


Figura 4. Microscopia de fluorescência no gineceu de flores de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*). A) grãos de pólen germinados na superfície estigmática e tubos polínicos crescendo ao longo do estilete em direção aos óvulos; e (B) tubos polínicos penetrando em óvulos pela micrópila (fertilização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

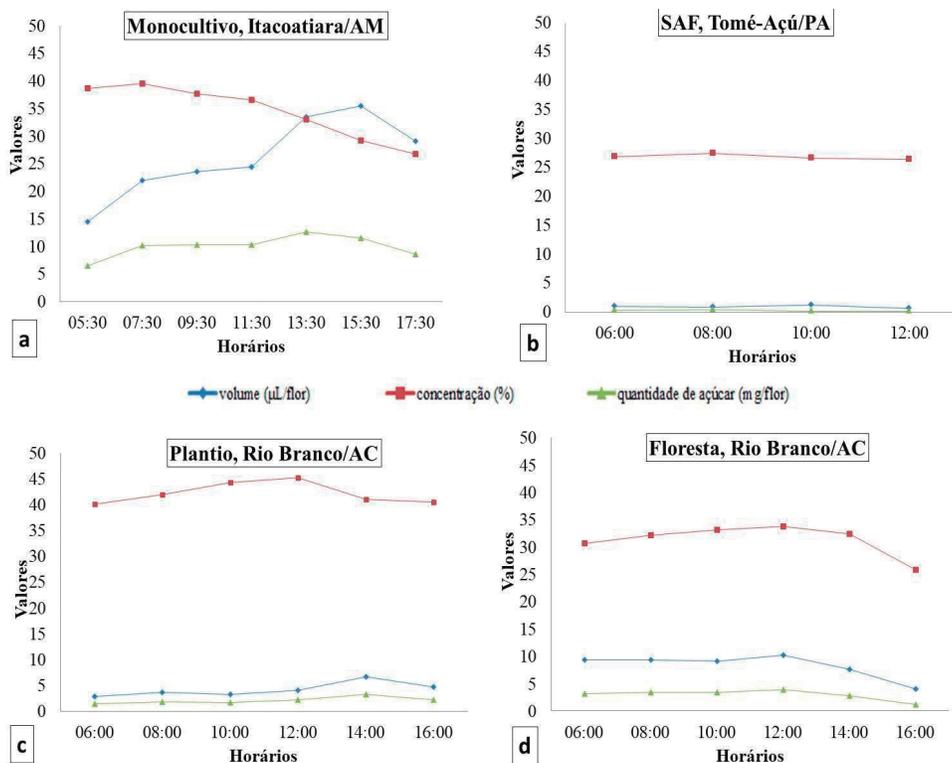


Figura 5. Padrão de secreção do néctar (volume, concentração e quantidade de açúcar) na castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*). (A) monocultivo (Itacoatiara-AM); (B) sistema agroflorestal (Tomé-Açú-PA); (C) plantio (Rio Branco-AC); e (D) floresta (Rio Branco-AC).

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.

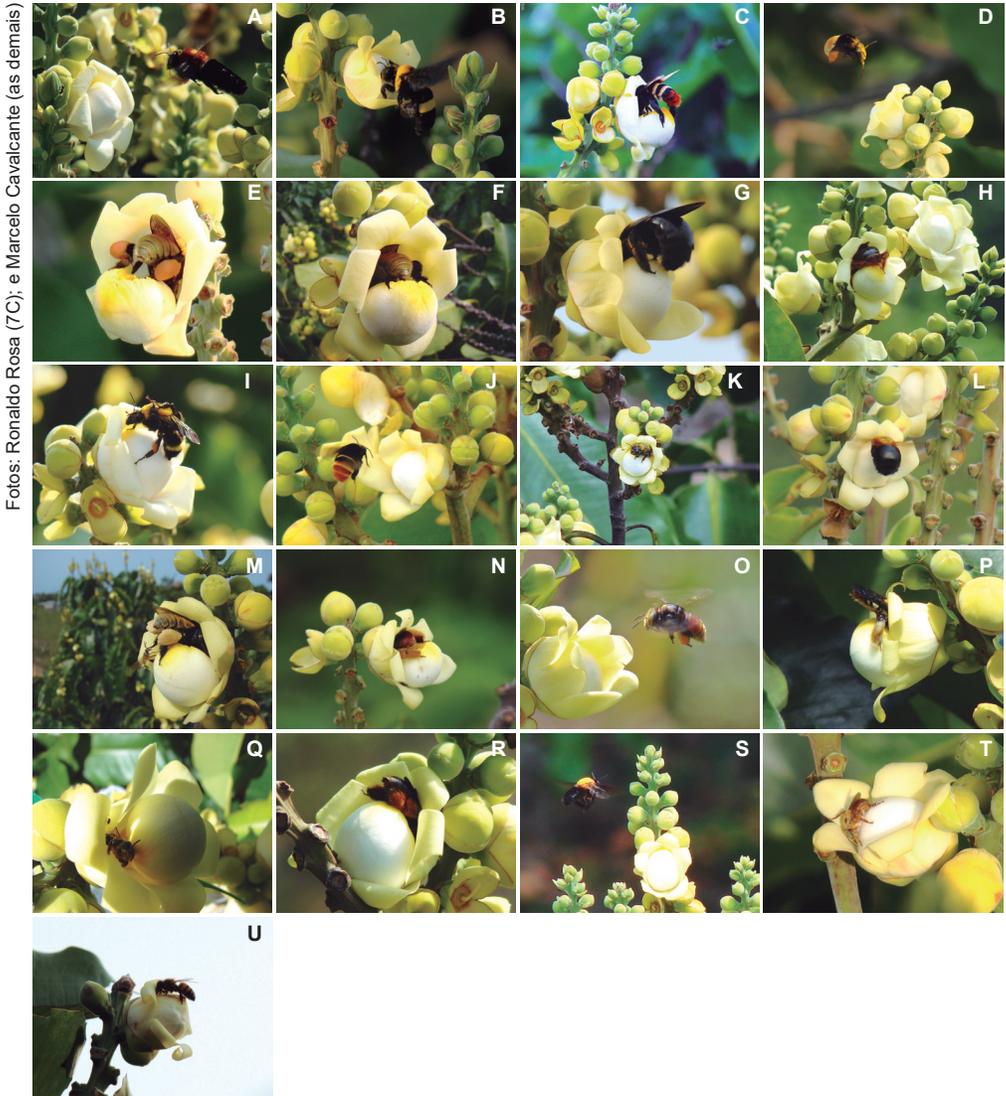
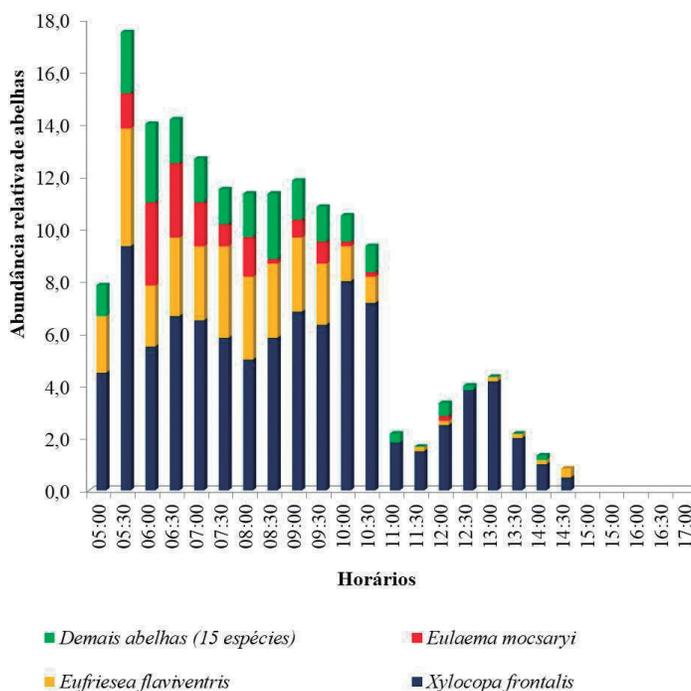


Figura 7. Abelhas visitantes florais e potenciais polinizadores abordando e visitando flores de castanheira-da-amazônia (*Berholletia excelsa*). (A) *Centris denudans* (♀); (B) *Centris americana* (♀); (C) *Eulaema meriana* (♂); (D) *Eulaema mocsaryi* (♀); (E e F) *Eufriesea flaviventris* (♀ e ♂, respectivamente); (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 (língua), 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.

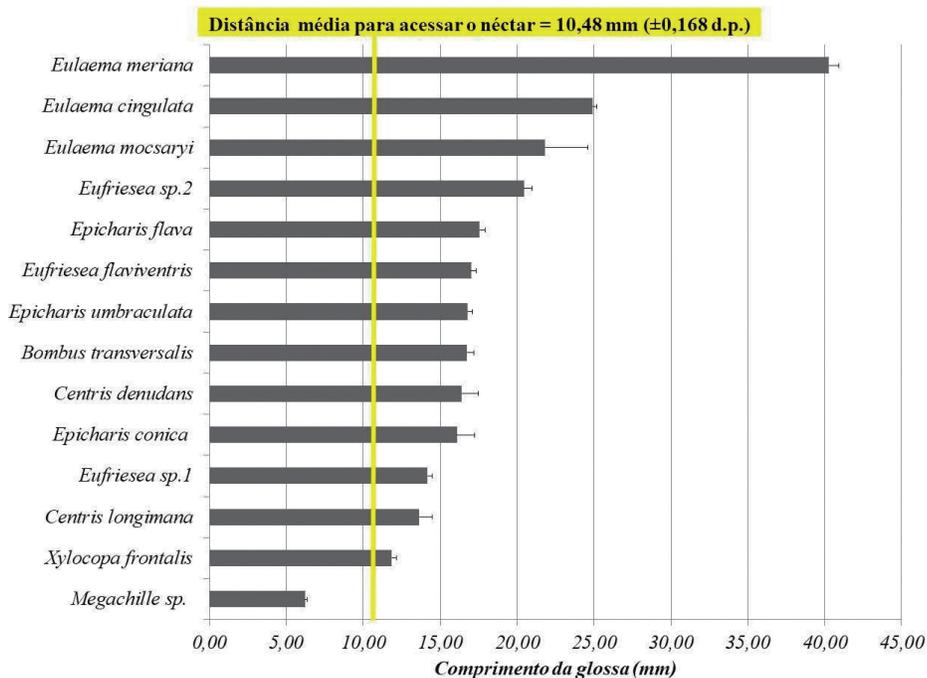


Figura 9. Comprimento médio das línguas (glossas) dos potenciais polinizadores da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*) em cultivo na Amazônia Central.

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 deficit 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).

Capítulo 7

Solos, clima e vegetação em áreas de ocorrência natural de castanheiras na Amazônia brasileira

Luciello Manoel da Silva; Marcos Gervasio Pereira; Camila Santos da Silva; Edson Alves de Araújo; Gilsonley Lopes dos Santos; Michelle Vasconcelos Cordeiro; Ciro Augusto de Souza Magalhães; Darlisson Bentes dos Santos; Rafael Lucas Figueiredo de Sousa; Valdinar Ferreira Melo; Karine Dias Batista; Kátia Emidio da Silva; Lucieta Guerreiro Martorano; Leila Sheila Lisboa; Lúcia Helena de Oliveira Wadt; Marcelino Carneiro Guedes; Marcos Silveira; Maurício Lourenzoni Augustini; Raimundo Cosme de Oliveira Júnior.

Introdução

A castanheira-da-amazônia ocorre não apenas no Brasil, mas também nas Guianas, na Venezuela, na Colômbia, no Peru e na Bolívia. No Brasil, ocorre nos estados da região Norte, além do norte e nordeste do Mato Grosso e do Maranhão, respectivamente. Dentro e entre os estados brasileiros, a ocorrência, a distribuição e a produção da espécie variam bastante. Possivelmente, essa variação decorre da influência de fatores abióticos e bióticos, tais como condições específicas de solo, clima e vegetação.

O bioma amazônico ocupa uma região de grandes dimensões, com alta diversidade em termos de características geológicas, pedológicas, climáticas e de vegetação. Boa parte dos solos apresenta-se como bem drenados, mas com grande variação nos atributos físicos, químicos e mineralógicos. Essas variações, por vezes, contrastam com as condições climáticas que são observadas na região, principalmente quanto ao regime térmico-hídrico, que favorece o avançado intemperismo dos solos. Na região, são encontrados tanto solos com maior maturidade pedogenética – tais como os argissolos e os latossolos, os quais são predominantes – quanto solos geologicamente recentes, como os vertissolos e cambissolos.

As mesmas classes de solos encontradas na região apresentam características distintas entre os estados, principalmente no tocante à constituição mineralógica e textural. A maior parte da Amazônia é caracterizada pela presença de solos distróficos de baixa fertilidade, ácidos, com predominância de argila de atividade baixa e altos teores de alumínio. Entretanto, em uma porção significativa, são observados solos com elevada saturação por bases, argilas de atividade alta, altos teores de cálcio e magnésio. Essa grande variação pode ser observada em solos localizados ao longo da planície aluvial do rio Amazonas, terraços e baixos planaltos das bacias do rio Acre e do Alto Amazonas, formados por basaltos e diabásios, em Roraima, no Pará e no Amapá (Schaefer et al., 2017).

Em estudos que descrevem as classes de solos, Bardales et al. (2011), Ferreira et al. (2017) e Spera et al. (2019) verificaram que as castanheiras ocorrem em diversos tipos de solos, mas predominam nas classes de solos mais intemperizados, como os argissolos e latossolos com textura variada, desde arenosa a muito argilosa. Esses autores observaram a ocorrência de castanheiras em solos com presença de concreções, plintita e petroplintita, o que pode restringir a drenagem nesses ambientes. Entretanto, a maioria das castanheiras mais produtivas ocorreu em solos mais profundos e com boa drenagem.

Os estudos iniciais que descrevem as características de solos sob castanheiras afirmam que a espécie se desenvolve em solos profundos, bem drenados e com textura média a argilosa, não se adaptando em áreas alagadas (Neves, 1938; Locatelli et al., 2005). Com relação à produção de frutos, Tonini et al. (2018) constataram que a espécie produz melhor em solos de textura franco-argilosa e argilo-arenosa, porém os atributos dos solos apresentaram pouca influência na variação da produção.

Em estudo realizado no Acre, Kainer et al. (2007) verificaram correlação positiva da produção de frutos com a capacidade de troca catiônica (CTC) e correlação negativa com o teor de fósforo (P), o que sugeriu que as plantas mais produtivas absorvem mais P, diminuindo o teor desse elemento no solo. Já Costa et al. (2017) verificaram que em Roraima as castanheiras foram muito exigentes em cálcio e que as árvores mais produtivas removem mais bases trocáveis, contribuindo para maior acidificação e empobrecimento do solo.

Quanto à vegetação existente na Amazônia, observam-se diversos ecossistemas, como florestas ombrófilas abertas e densas, florestas estacionais, florestas de

igapó, campos alagados, várzeas e savanas. As castanheiras ocorrem com maior frequência em florestas ombrófilas e florestas estacionais. Por ser uma espécie que necessita de muita radiação solar para se estabelecer (Myers et al., 2000), observam-se altas densidades de regenerantes em florestas secundárias, especialmente em capoeiras oriundas da agricultura itinerante (Cotta et al., 2008; Paiva et al., 2011).

Em se tratando de clima, a região é regida por elevadas temperaturas e altos teores de umidade relativa do ar, em decorrência dos totais anuais de chuva, distribuídos de forma variada (Rebiota et al., 2010). O período mais chuvoso, chamado de inverno amazônico, se concentra em uma determinada época do ano, intercalado por períodos com baixa oferta pluvial, denominado de verão amazônico. Vale destacar que as áreas no Brasil que estão na porção sul do Equador vivenciam condições térmicas elevadas, típicas da estação de verão, entre 21 de dezembro a 20 de março, mas na Amazônia, como nesse período ocorre intensa nebulosidade, principalmente pelos efeitos da zona de convergência intertropical (ZCIT), as populações na região consideram como inverno, pois é o período em que ocorrem reduções térmicas na região. Entretanto, as condições são diferenciadas entre os estados, em decorrência das interações solo-floresta-atmosfera em diferentes escalas espaço-temporal, inclusive por efeitos de outros sistemas frontais que ocasionam as chamadas “friagens” no Acre e em Rondônia, bem como outros efeitos de meso e grande escala, como a redução no regime de chuvas, em anos de El Niño, ou intensos volumes pluviais, em anos de La Niña (Ronchail; Gallaire, 2006; Martorano et al., 2017; Panisset et al., 2018).

Diante do exposto, este capítulo tem como objetivo integrar uma base de informações das classes de solos, vegetação e clima nos municípios onde a castanheira-da-amazônia ocorre naturalmente, no âmbito do território da Amazônia Legal. São apresentados mapas de solo, clima e vegetação para cada estado, com a classificação desses atributos ambientais nos municípios e suas relações com ampla base de dados georreferenciados de ocorrência de castanheiras na Amazônia Legal. Vale ressaltar que a castanheira é uma espécie de vida longa, centenária, e bastante plástica em termos de adaptação. Dessa forma, o ambiente atual de ocorrência pode não ser o mesmo quando do estabelecimento inicial das castanheiras. Este capítulo irá focar na descrição dos ambientes atuais onde há registros de castanheiras, mas não tem a pretensão de explicar relações de causa-efeito para o estabelecimento da espécie.

Características das principais classes de solos, tipologias florestais e do clima nos locais de ocorrência

Base de dados

Os locais de ocorrência natural de castanheiras-da-amazônia nos estados foram definidos com base nas informações disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no nível do município (2020a, ano-base 2018); em Wadt et al. (2005, 2019), além de informações fornecidas pelas Secretarias de Estado de Agricultura e informações de campo de pesquisadores experientes em trabalhos com a espécie em todos os estados da Amazônia. Para consolidar os pontos de ocorrência, foi utilizada uma ampla base de dados georreferenciados de locais com presenças confirmadas de castanheiras, especializados em Touner et al. (2019).

Os atributos de solos foram obtidos a partir da base de dados sistematizada por Cooper et al. (2005) e Amaral (2007). A espacialização das classes de solos e da vegetação foram efetuadas a partir de dados disponibilizados pelo IBGE (2020b, 2020c). Apesar de utilizar a base do IBGE, no nível municipal, somente as classes de solos e tipologias florestais com ocorrência comprovada de castanheiras-da-amazônia serão mencionadas e detalhadas.

As informações sobre clima foram obtidas da mesma base de dados utilizada por Martorano et al. (2011, 2017, 2019). A caracterização climática foi obtida a partir da base interpolada de Hijmans et al. (2005), que disponibiliza dados médios mensais de variáveis como a temperatura do ar (máxima, média e mínima) e a precipitação mensal. Esses dados abrangem a série histórica entre 1950 e 2000 e tem origem em modelos globais (Global Historical Climate Network – GHCN), com resolução espacial de 1 km². A partir dos dados espaciais, obteve-se a superfície resposta analisada, considerando que cada par de coordenadas geográficas apresenta condições climáticas médias em cada área analisada.

Caracterização dos municípios dos estados do bioma Amazônia em que ocorrem castanheiras

O bioma Amazônia ocupa uma área com cerca de 4.196.943 km², que corresponde a cerca de 40,0 % do território brasileiro. Esse bioma engloba 608 municípios, com uma distribuição por estado da seguinte forma: 52 municípios em Rondônia,

23 no Acre, 62 no Amazonas, 15 em Roraima, 144 no Pará, 16 no Amapá, 139 no Tocantins, 95 no Mato Grosso (dados fornecidos pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso) e 62 no Maranhão (Maranhão, 2020). Desse total de 608 municípios, já foi registrada a ocorrência de castanheira-da-amazônia em 198 municípios (Figura 1), com ampla diversidade de tipos de solos, vegetação e clima, o que reflete a plasticidade na adaptação da espécie.

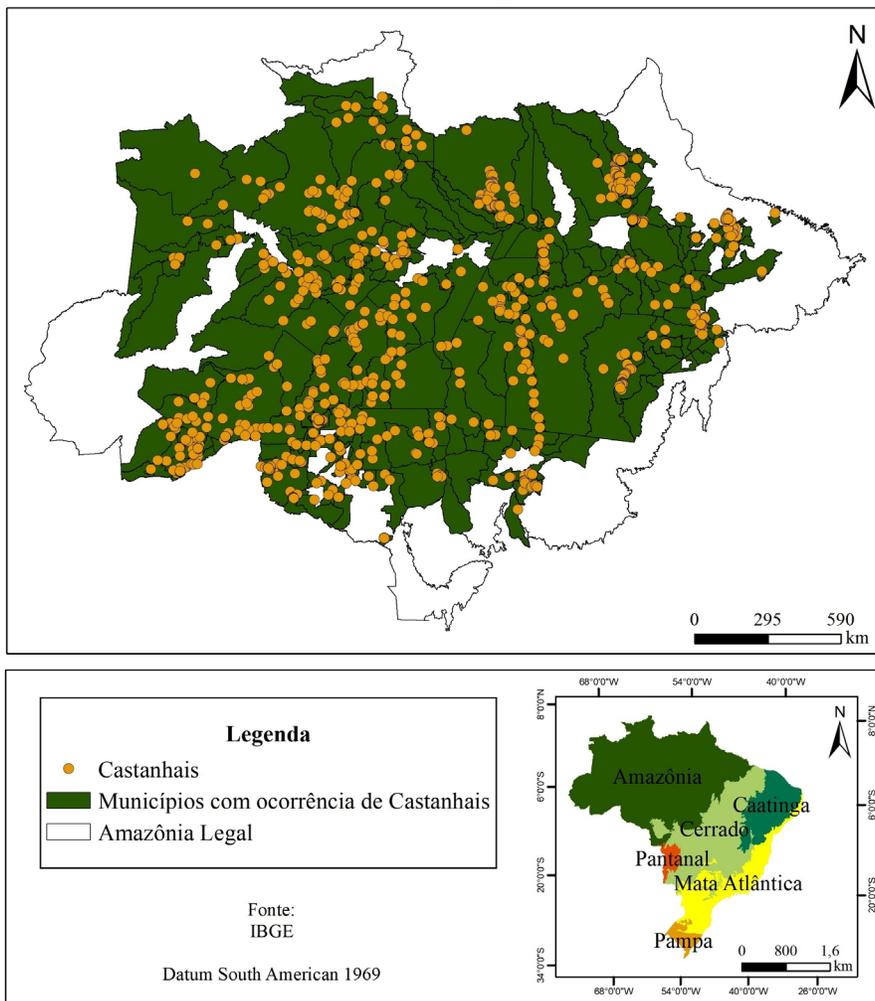


Figura 1. Municípios com ocorrência de castanheiras no bioma Amazônia.

Fontes: IBGE; Touner et al. (2019).

No Pará e no Amazonas, verifica-se o maior número de municípios com registro de castanheiras nativas, o que representa 36% do total de 198 municípios com ocorrência (Tabela 1). Amapá (cinco) e Roraima (nove) são os estados com o menor número absoluto de municípios onde há castanheiras. Entretanto, nesses estados, os municípios com ocorrência de castanheiras representam, respectivamente, 31% e 60% do total dos municípios do Amapá e de Roraima. Os demais estados apresentam de 12 a 28 municípios onde a ocorrência da espécie foi registrada. O maior número de municípios com ocorrência da castanheira pode refletir a proporção da área ocupada pela castanheira em cada estado. Ressalta-se, no entanto, que nem sempre a ocorrência das castanheiras abrange toda a área de cada município.

No Pará e no Amazonas, a área ocupada pelos municípios com ocorrência de castanheira ultrapassou 80% da área total. Nos estados com menor número de municípios em que a castanheira foi registrada, essa proporção varia. Em Roraima, os municípios que apresentaram ocorrência de castanheiras representam apenas 7,58% da área do estado, enquanto no Amapá representam 42,46%.

Tabela 1. Número total de município e de municípios com ocorrência natural de castanha-da-amazônia, área total dos municípios com ocorrência da espécie por estado (km²) e porcentagem da área com ocorrência de castanheiras em relação à área total dos estados.

Estado	Total de Municípios	Municípios com ocorrência de castanheiras	Área total com ocorrência de castanheiras por estado (km ²)	% da área com ocorrência de castanheiras em relação à área total
Acre	23	12	61.911,34	37,75
Amapá	16	5	60.637,37	42,46
Amazonas	62	46	1.313.733,465	83,62
Mato Grosso	141	27	266.232,003	29,47
Pará	144	71	1.042.937,015	83,57
Rondônia	52	28	181.270,79	76,30
Roraima	15	9	15.8307,10	7,58
Total	453	198		

Principais características edáficas dos locais com ocorrência de castanheira-da-amazônia

Os solos predominantes nas áreas de ocorrência da castanheira-da-amazônia são altamente intemperizados, a exemplo dos latossolos e argissolos (Tabela 2), classes que predominam em todos os estados, com exceção do Acre, onde a classe luvisolos tem maior expressão que a de latossolo. No entanto, também são observados solos pedologicamente jovens com ocorrência de castanheiras, como os cambissolos, luvisolos, vertissolos e gleissolos (Tabela 2). Das 13 classes de solos descritas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2018), por nível de ordem, 11 classes ocorrem nos municípios onde a espécie foi registrada (Figura 2), entretanto não foram observadas castanheiras em áreas de organossolos e planossolos.

Tabela 2. Porcentagem da ocorrência da classe de solos e de castanheira-da-amazônia georreferenciada (nos parênteses) em cada estado.

Classes de solos	Acre	Amapá	Amazonas	Mato Grosso	Pará	Rondônia	Roraima
Percentual de castanheiras georreferenciada							
Argissolos	65,51 (40)	8,68 (379)	40,00 (163)	45,96 (47)	52,12 (193)	35,42 (29)	30,58 (16)
Amarelo aluminico	2,84	-	5,27 (23)	-	-	-	0,02
Amarelo distrófico	-	-	3,4 (9)	1,44	0,46	-	11,07 (13)
Vermelho distrófico	1,43 (1)	-	0,05	-	0,57	0,01	-
Vermelho eutrófico	0,63	-	-	-	0,03 (1)	-	0,40
Vermelho-amarelo alumínio	42,34 (14)	-	17,35 (131)	-	-	0,44 (2)	-
Vermelho-amarelo distrófico	18,27 (25)	8,68 (379)	13,93 (64)	42,51 (44)	51,03 (192)	25,80 (19)	19,08 (3)
Vermelho-amarelo eutrófico	-	-	-	2,02 (3)	-	9,17 (8)	0,02
Cambissolos	-	-	1,51 (1)	0,12	0,24 (2)	2,52 (3)	-
Háplico aluminico	-	-	1,45 (1)	-	-	0,51	-
Háplico Ta eutrófico	-	-	-	0,02	-	1,03 (3)	-
Háplico Tb distrófico	-	-	0,06	0,10	0,03 (1)	0,51	-
Háplico Tb eutrófico	-	-	-	-	0,02 (1)	-	-
Espodossolos	-	-	8,45 (1)	0,01	0,20	0,45	12,49 (2)
Ferri-humilúvico órtico	-	-	0,37 (1)	-	0,09	-	-
Humilúvico hidro-hiperespesso	-	-	6,63	-	-	-	7,63 (2)

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Classes de solos	Acre	Amapá	Amazonas	Mato Grosso	Pará	Rondônia	Roraima
Gleissolos	6,49 (6)	2,26	8,54 (526)	1,43 (1)	2,96 (18)	2,37 (8)	5,16 (3)
Háplico Ta distrófico	-		1,46 (5)		-	-	-
Háplico Ta eutrófico	6,29 (6)	1,28	3,76 (253)		1,53 (1)	-	-
Háplico Tb distrófico	-		1,94 (268)	1,41 (1)	0,58 (13)	2,37 (8)	5,16 (3)
Háplico Tb eutrófico	0,20	0,98	0,58		0,81 (4)	-	-
Latossolos	4,95 (4)	84,46 (1114)	30,13 (135)	29,58 (25)	29,59 (752)	42,44 (77)	35,40 (21)
Amarelo ácrico	-	-	2,06 (6)	-	-	-	-
Amarelo distrófico	-	12,06 (842)	20,35 (117)	1,04	18,13 (734)	19,94 (37)	18,27 (4)
Vermelho distrófico	0,90 (1)	-	-	8,84 (19)	0,15	0,37	0,03
Vermelho-amarelo alumínio	-	-	2,82 (7)	-	--	0,56 (2)	-
Vermelho-amarelo ácrico	-	-	-	-	-	0,36 (7)	-
Vermelho-amarelo distrófico	3,93 (3)	72,4 (272)	4,40 (5)	19,71 (6)	11,31 (18)	21,21 (31)	17,10 (17)
Luvissolos	22,71 (7)	-	0,92	-	-	-	-
Háplicos órtico	17,68 (7)	-	0,08	-	-	-	-
Neossolos	-	-	3,75 (5)	20,43 (3)	9,30 (15)	9,85 (28)	13,55
Flúvico Ta eutrófico	-	-	1,32 (1)	-	0,19	-	-
Flúvico Tb distrófico	-	-	0,24 (3)	0,13	0,20	1,27	0,01
Litólico distrófico	-	-	1,10 (1)	11,42 (3)	4,27 (10)	3,18 (4)	8,32
Quartzarênico hidromófico	-	-	0,92	0,13	0,11	1,04 (23)	3,11
Quartzarênico órtico	-	-	0,15	7,60	4,29 (5)	4,25 (1)	2,11
Nitossolos	-	-	-	0,10	1,24 (7)	0,19 (2)	0,58
Vermelho distrófico	-	-	-	0,03	0,1 (1)	-	0,01
Vermelho eutrófico	-	-	-	0,07	1,14 (6)	-	0,57
Vermelho distroférrico	-	-	-	-	-	0,19 (2)	-
Piintossolos	0,32	3,08 (11)	3,76 (9)	1,63 (3)	1,48 (21)	2,97	0,93
Argilúvicos alumínico	-	-	2,67 (4)	-	-	0,43	-
Argilúvicos distrófico	0,32	1,01 (8)	0,07 (1)	0,23	0,2 (6)	2,54	-
Háplico alumínico	-	-	0,78 (3)	-	-	-	0,20
Háplico distrófico	-	2,07 (3)	0,18 (1)	-	0,15	-	0,15
Pétrico concrecionário	-	-	0,05	1,39 (3)	1,13 (15)	-	0,58

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em informações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS.

Em todos os estados foram observadas castanheiras nas classes de solo dos argissolos, latossolos e gleissolos (Figura 2), com exceção do Amapá, onde não foi constada a presença da espécie na classe gleissolos. A classe plintossolos ocorre em todos os estados, mas não foram registradas castanheiras no Acre, em Rondônia e em Roraima, tendo Roraima e Acre apresentado menos de 1% de ocorrência dessa classe de solo. Na classe espodossolo foram registradas castanheiras no Amazonas e em Roraima; na classe cambissolos, além do Amazonas, a espécie ocorre no Pará e em Rondônia. Apenas no Acre foram observadas castanheiras em luvisolos.

A maioria dos solos com ocorrência da castanheira apresenta baixos estoques de nutrientes e é ácida, grande parte com predomínio do Al^{+3} na saturação de base. Foram verificados desde solos profundos e bem drenados até solos rasos e mal drenados, com drenagem imperfeita ou impedida, com ou sem concreções. Apresentam textura que varia de arenosa a muito argilosa, atividade de argila variável, de alta (valores superiores a $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila) a baixa – com valores inferiores a $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila (Santos et al., 2018), saturação por bases acima ou abaixo de 50%, eutróficos e distróficos, respectivamente, e altos teores de óxido de ferro, como aqueles observados nos nitossolos do Pará e de Rondônia.

Argissolos

A principal característica dessa ordem é o acúmulo de argila em profundidade, em razão da translocação de argila ou por remoção superficial. Ambas as situações conduzem à formação de um horizonte de acúmulo de argila, denominado B textural (Bt). Em função da formação de um gradiente textural, maiores teores de areia em superfície em contraste com o horizonte Bt em profundidade, o fluxo de água ocorre de forma mais lenta em subsuperfície, o que torna esses solos mais suscetíveis aos processos erosivos, principalmente em áreas mais declivosas – relevo ondulado a forte ondulado (Santos et al., 2018).

Nas áreas dos castanhais, observa-se textura que varia de média a muito argilosa, com fertilidade natural variável, sendo verificados solos desde aqueles que não apresentam limitações quanto à disponibilidade de nutrientes (eutróficos) até aqueles que apresentam menores concentrações de nutrientes e maiores teores de Al^{+3} . São predominantemente bem drenados, sendo alguns exemplares dessa ordem com concreções que podem ocorrer em superfície. Nesse grupo, são verificados solos que possuem capacidade de troca catiônica da fração argila variável, com predomínio, nas áreas dos castanhais, de solos com argila de baixa atividade, ou seja, com valores inferiores a $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila.

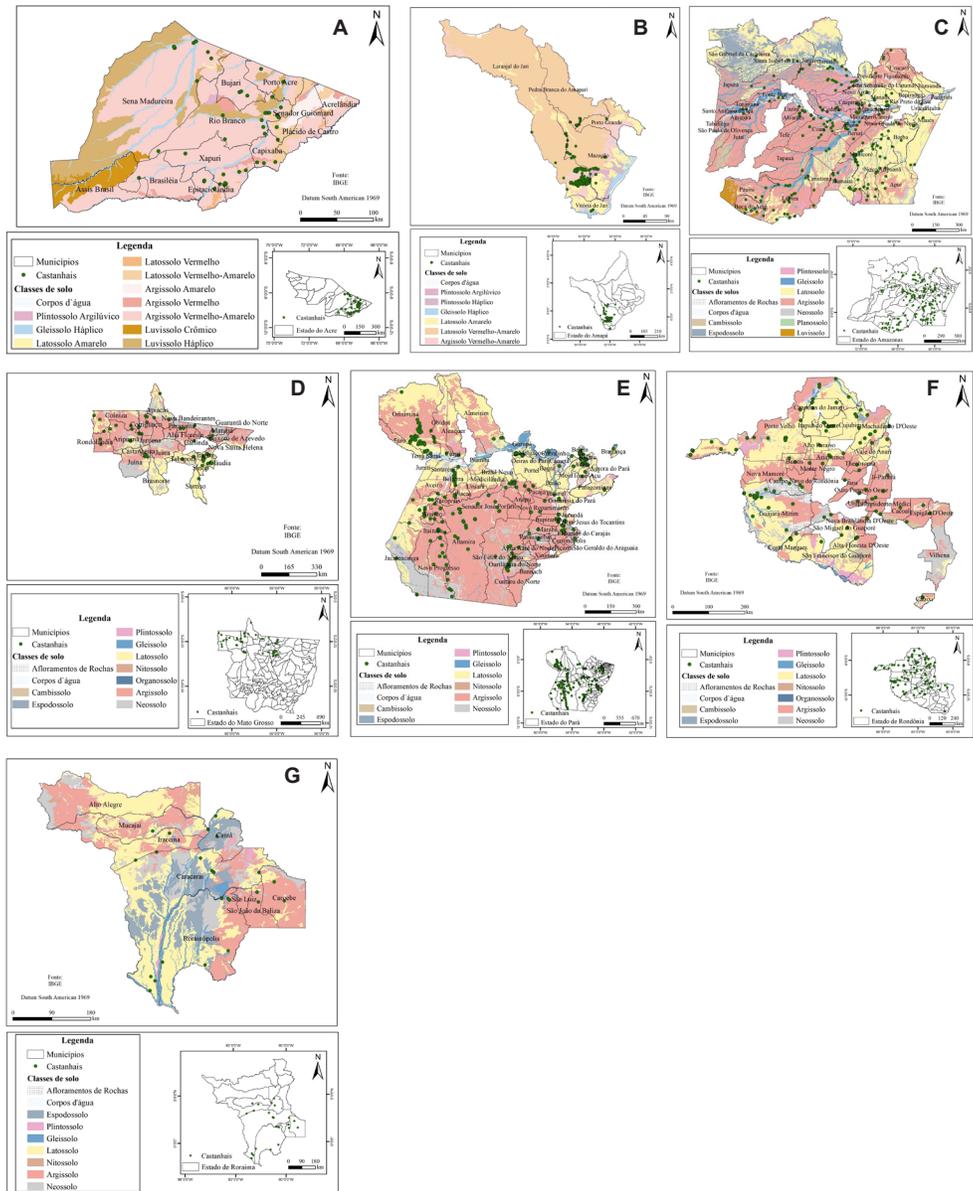


Figura 2. Principais classes de solos nos municípios de ocorrência de castanheiras no Acre (A), no Amapá (B), no Amazonas (C), em Mato Grosso (D), no Pará (E), em Rondônia (F) e em Roraima (G).

Fonte: IBGE.

Cambissolos

Os cambissolos são solos que possuem baixo grau de desenvolvimento – pedogênese (Santos et al., 2018), sendo observados nas áreas dos castanhais o predomínio dos cambissolos háplicos. A profundidade desses solos é variável, porém os de maior expressão na área de estudo são os de menor profundidade. Essa característica pode propiciar limitações quanto ao uso, sendo algumas dessas similares àquelas verificadas para os neossolos litólicos.

De maneira geral, apresentam uma boa drenagem e a fertilidade natural é variável, com predomínio na área de estudo daqueles que possuem elevados teores de alumínio trocável e com atividade da fração argila variável, podendo ser observados tanto solos com alta quanto com baixa capacidade de troca catiônica e até presença de cascalho no horizonte superficial.

Em castanhal no sul do Amapá, após levantamento pedológico detalhado, foi confirmada a ocorrência de cambissolo háplico Tb eutroférico gleissólico A chernozêmico, textura argilosa (Oliveria júnior et al., 2020).

Espodossolos

Os espodossolos são solos de pequena ocorrência nas áreas dos castanhais, são verificados os espodossolos ferri-humulúvicos, solos que apresentam acúmulo de matéria orgânica associada a íons de ferro e alumínio nos horizontes subsuperficiais. Apresentam drenagem imperfeita e características que os limitam para o uso agrícola, com destaque para a textura arenosa nos horizontes superficiais, que reduz a capacidade de retenção de água e de nutrientes.

Gleissolos

São solos formados por deposição de sedimentos, e distinguem-se dos neossolos flúvicos, entre outros atributos, pela sua condição de má drenagem (encharcamento do solo) nos períodos de maior precipitação pluviométrica (Santos et al., 2018).

A fertilidade natural é variável, sendo observado nas áreas dos castanhais o predomínio daqueles com fertilidade baixa e elevada acidez bem como os com alta saturação por alumínio. Também se verifica em menor expressão aqueles com melhor fertilidade natural e com argila de atividade alta.

Dentro dessa ordem são observados solos com textura que varia de arenosa a argilosa. A atividade da fração argila também é variável, o que favorece que ocorram solos que apresentam maior capacidade de troca catiônica (presença de minerais de argilas como montmorilonitas) até aqueles que na fração argila verifica-se a presença de caulinita e óxidos, e dessa forma apresentam menor atividade.

Latossolos

Os latossolos são solos com elevado grau de evolução pedogenética, tendo sido submetidos a intenso processo de intemperismo, o que faz que sejam profundos e bem drenados. Eles apresentam como principais minerais da fração argila caulinita e óxidos de ferro e alumínio. A presença desses minerais propicia uma baixa capacidade de retenção de nutrientes (Santos et al., 2018).

Nos locais de ocorrência de castanheiras, observa-se predominantemente a situação de relevo que varia de plano a suave ondulado. Os de maior expressão são aqueles com predomínio de Al^{+3} como principal cátion trocável. Possuem textura que varia de média a muito argilosa, com predomínio da argilosa ou muito argilosa, são ácidos e com saturação por bases inferior a 50% (distróficos). No Amapá, no Mato Grosso, no Pará e em Rondônia, se observam áreas com presença de concreções ao longo do perfil.

Luvissolos

São solos que apresentam um horizonte de acúmulo de argila (Bt) associado a argilas de atividade alta e alta saturação por bases (Santos et al., 2018). A presença do horizonte Bt faz que o fluxo de água ocorra de forma diferenciada no perfil de solo, sendo mais lento nesse horizonte, o que pode intensificar o processo erosivo.

Apresentam elevada fertilidade natural, elevados valores de saturação por bases, de maneira geral superior a 50%, com predomínio de Ca^{+2} e Mg^{+2} no complexo de troca. Quanto à drenagem, são observados solos desde bem drenados até moderadamente drenados. Alguns possuem mudança textural abrupta, característica que pode tornar o solo ainda mais susceptível à erosão.

Neossolos

Os neossolos apresentam como característica marcante a ausência de horizonte B diagnóstico, por serem solos com baixo desenvolvimento pedogenético (Santos et al., 2018).

Os neossolos quartzarênicos apresentam textura predominantemente arenosa ou areia franca (<150 g kg⁻¹ de argila) ao longo do perfil do solo (normalmente até 1,5 m da superfície), o que favorece boa drenagem. São solos que possuem baixa fertilidade natural e baixa capacidade de retenção de água no solo. A textura arenosa também propicia a rápida decomposição da matéria orgânica, além de favorecer a erosão eólica.

Nitossolos

Os nitossolos são solos que apresentam um horizonte diagnóstico subsuperficial identificado como B nítico, Bt (Santos et al., 2018), no qual o acúmulo de argila é constatado pela presença de cerosidade, atributo morfológico resultante da translocação e deposição da argila na superfície dos agregados. Em função da presença de um horizonte de acúmulo de argila, são solos que possuem uma certa suscetibilidade à erosão. Nas áreas dos castanhais, são verificados solos dessa ordem com padrões variáveis quanto à fertilidade natural e ao teor de óxidos de ferro, desde aqueles que possuem maior fertilidade e conteúdo de óxidos de ferro mais elevados – nitossolos vermelhos eutróficos e eutroféricos, respectivamente – até os que apresentam menores valores desses atributos.

Plintossolos

Os plintossolos são solos que se formam em condições de drenagem imperfeita. Em virtude dos ciclos de umedecimento e secagem do solo, se verifica a segregação de ferro e a formação de plintitas, sendo verificada a presença de mosqueamento de cor avermelhada na matriz do solo. A plintita é um corpo que pode ser individualizado da matriz do solo; apresenta consistência friável (que se esboroa facilmente), porém, quando submetida a ciclos de dessecação (perda de água), pode se transformar de forma irreversível em uma concreção endurecida, denominada de petroplintita (Santos et al., 2018). A petroplintita pode ocorrer em qualquer horizonte dentro do perfil do solo; quando em subsuperfície pode limitar o desenvolvimento do sistema radicular de muitas espécies florestais, já em superfície podem limitar as práticas de manejo.

Nesses solos, verifica-se o predomínio de drenagem imperfeita, o que também pode limitar o desenvolvimento das castanheiras. Quanto à atividade da fração argila, são observados solos que apresentam argilas de atividade alta ou baixa. Possuem textura que varia de média a muito argilosa, baixa fertilidade natural e teor de carbono e cátions trocáveis; adicionalmente apresentam elevada saturação

por Al⁺³. Nos plintossolos argilúvicos, de maneira similar ao verificado para os argissolos, observa-se um horizonte de acúmulo de argila, o que também pode favorecer o processo erosivo desses solos.

Principais características edáficas de locais com presença de castanheiras nos diversos estados

A análise em escala mais detalhada no Amapá indica que a ocorrência das castanheiras nesse estado é observada predominantemente na porção sudoeste do estado (Figura 3). O mapeamento de mais de 70 mil castanheiras adultas em cerca de 400 mil hectares na região do Alto Cajari (Picanço et al., 2014) indica a predominância de solos na ordem dos latossolos amarelos (44%) e argissolos vermelho-amarelos (44%). Mas verifica-se também, em menor expressão, a ocorrência das classes latossolos vermelho-amarelos (8,71%), plintossolos argilúvicos (2,08) e plintossolos háplicos (1,55%).

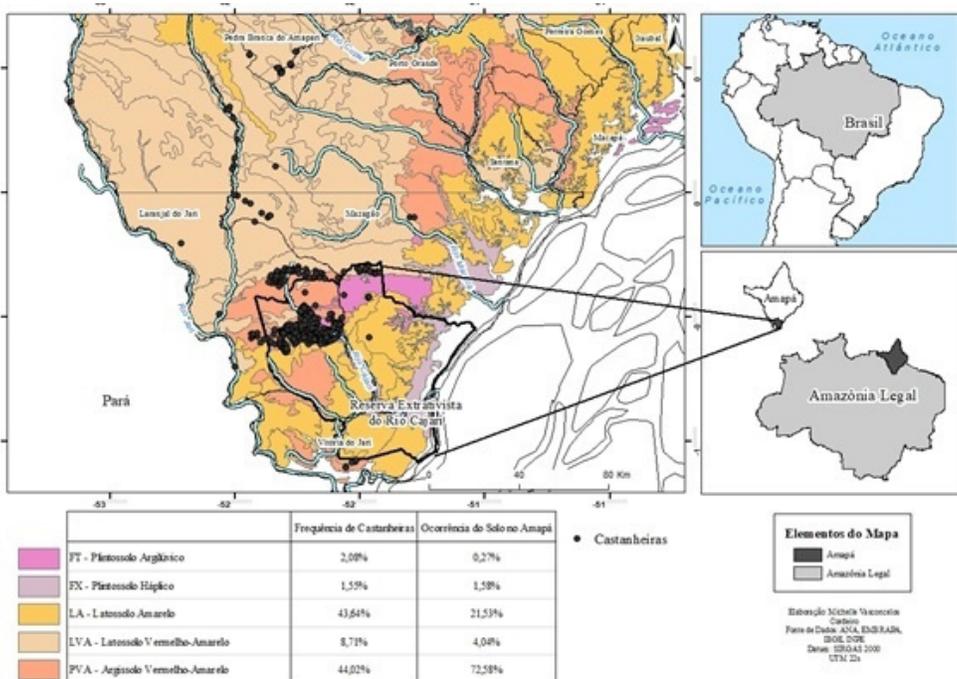


Figura 3. Áreas e classes de solo com ocorrência de castanha-da-amazônia na Resex do Rio Cajari e na região sudoeste do Amapá.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.

Neste estudo, o cruzamento dos dados do Censo das castanheiras com as bases cartográficas do IBGE sobre classificação dos solos permitiu a constatação de que a maior frequência das castanheiras (73%) ocorreu sobre argissolo (Figura 3).

Nas duas classes de solo (LA e PVA) predominantes (88%) na área, ocorreram 94% das castanheiras inventariadas. Apesar da maior frequência nas áreas de argissolo, que pode favorecer a ocorrência de castanheiras por alguns atributos próprios, outros fatores como clima e vegetação (luz) podem ser mais restritivos ao estabelecimento dessas castanheiras, que é direcionado pelos centros de origem das matrizes e pelos mecanismos de dispersão. Isso é reforçado pelo fato de que, nessa região, as castanheiras conseguem se adaptar aos diversos substratos disponíveis, inclusive em solos de caráter petroplíntico.

A presença de castanheiras em áreas de plintossolos foi observada na região de transição com a savana, onde é comum se verificar a presença de superfícies planas inclinadas com afloramento (lajedos) de arenito do grupo urupadi, e platôs relictuais com vertentes ravinadas cobertos por couraça laterítica (Gomes Sobrinho, 2017). Os concrecionários lateríticos também podem ser observados em vários castanhais que ocorrem sobre latossolos e argissolos.

Em levantamento em escala de maior detalhe, com abertura de perfis e tradagens a cada 50 m, nas parcelas permanentes da rede Kamukaia (Oliveira Júnior et al., 2020) com ocorrência de castanheiras no sul do Amapá, foram identificadas três principais classes de solos (argissolos, latossolos e cambissolos), que resultou em nove unidades de mapeamento (Tabela 3).

Em outro estudo conduzido em uma parcela permanente de 300 m x 300 m, ainda no Amapá, foi realizado o levantamento pedológico detalhado, com abertura de três perfis. Foi gerado um mapa específico das classes de solo dessa parcela e verificada a relação com a produção (Guedes et al., 2017). Foram encontradas duas classes de solo, argissolos e latossolos, com três unidades de mapeamento (Figura 4): argissolo vermelho-amarelo distrófico típico (PVAD – 62,4% da área), argissolo acinzentado distrófico típico (PACD – 17,6% da área) e latossolo amarelo distrófico típico, LAd – 18,2% da área (Figura 5). A densidade de castanheiras em cada classe de solo foi 6, 6 e 8 cast. ha⁻¹, respectivamente, com porcentagem de castanheiras produtivas de 56%, 44% e 62%. A produtividade média anual em cada classe de solo foi de 843, 137 e 831 frutos ha⁻¹ e a produção média anual foi de 251, 56 e 175 frutos castanheira⁻¹, respectivamente. Na parcela de 9 ha, o latossolo foi a

Tabela 3. Classes de solos observadas em parcelas permanentes com presença de castanheiras-da-amazônia no Amapá.

Classes de solos	Características	Localização
Argissolos		
Acinzentado distrófico arênico gleico	A moderado, textura arenosa à média	0°35'3.68" S e 52°14'14.89" W
Vermelho-amarelo distrófico arênico abrupto	A moderado, textura arenosa à argilosa	0°35'3.68" S e 52°14'14.89" W
Vermelho-amarelo eutrófico nitossólico	A chernozêmico, textura arenosa à média	0°33'42.84" S e 52°18'19.31" W
Vermelho eutrófico chernossólico petroplíntico	A chernozêmico, textura média à argilosa	0°19'19.48" S e 51°56'29.29" W
Cambissolos		
Cambissolo háplico Tb eutroférrico gleissólico	A chernozêmico, textura argilosa	0°19'19.48" S e 51°56'29.29" W
Latossolos		
Vermelho-amarelo distrófico	A moderado, textura média	0°35'3.68" S e 52°14'14.89" W
Vermelho-amarelo distrófico petroplíntico	A moderado, textura argilosa	0°25'21.18" S e 51°57'52.72" W
Vermelho-amarelo distrófico cambissólico	A moderado, textura média	0°25'21.18" S e 51°57'52.72" W
Vermelho-amarelo distrófico típico	A moderado, textura argilosa	0°25'21.18" S e 51°57'52.72" W

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do Projeto MapCast.

ordem com maior porcentagem de castanheiras produtivas, mas a produção média por castanheira foi menor em comparação ao argissolo vermelho-amarelo.

No Acre foram realizados levantamentos semidetalhados (1:50.000) em duas regiões com presença de castanheiras: i) seringal Filipinas; e ii) seringal Cachoeira (Bardales et al., 2011; Ferreira et al., 2017). No seringal Filipinas, os autores identificaram duas classes de solo, argissolos e latossolos, com seis unidades de mapeamentos (Figura 5).

Os argissolos representaram cerca de 83% da área mapeada, com as seguintes características: solos profundos, altos teores de silte e areia fina, alta saturação por alumínio em subsuperfície (70%), baixa de saturação por bases (hipodistrófico) em todo o perfil, extremamente ácidos (pH 4,1 – 4,8) e com baixos teores de matéria

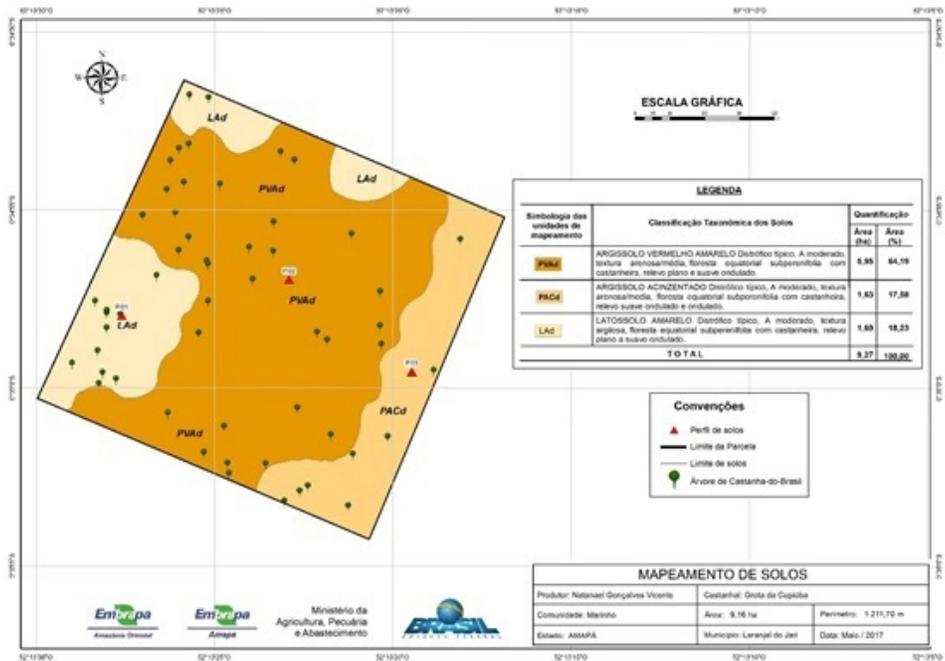


Figura 4. Mapa e classificação de solos em parcela permanente de 9 ha com a localização geográfica das castanheiras com DAP \geq 10 cm.

Fonte: Guedes et al. (2017).

orgânica e fósforo assimilável. Foram verificados principalmente em áreas de relevo variando de suave ondulado a ondulado e localizados na encosta e no topo no seu terço médio, inferior e superior da paisagem.

Os latossolos ocorrem com maior expressão nas áreas mais elevadas, com cerca de 290 m de altitude, e planas da porção sul da colocação (área delimitada pertencente a um determinado produtor). São solos que apresentam características intermediárias para argissolos com concreções, pouco abaixo da ruptura entre o relevo plano e o suave ondulado a ondulado. São solos profundos, com textura franco-arenosa em superfície e franco-argiloarenosa em profundidade, saturação por alumínio acima de 70%, baixa saturação por bases, acidez extremamente alta em superfície e fortemente ácida em sub-superfície, com valores de pH entre 3,6 e 4,6, nos horizontes A e Bw, respectivamente. Os autores verificaram que as castanheiras com maiores produtividades ocorreram nos solos mais desenvolvidos, profundos e localizados em áreas de relevo plano.

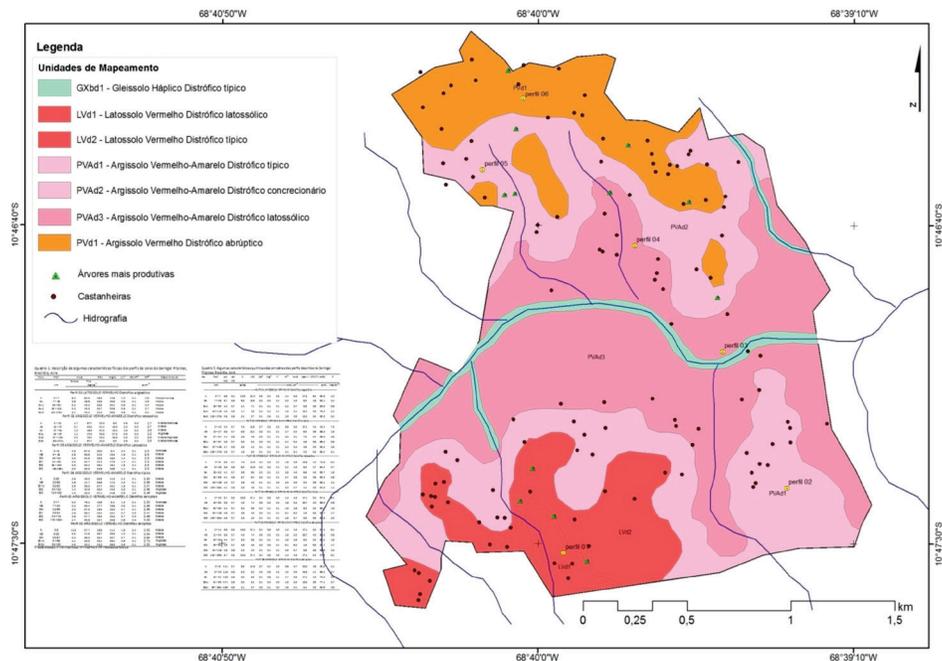


Figura 5. Mapa de solos semidetalhado (1:50.000) e espacialização de espécies de castanheira na Colocação Rio de Janeiro, Seringal Filipinas, município de Epitaciolândia-AC. Fonte: Bardales et al (2011).

No seringal Cachoeira, também foram descritas duas classes de solos, argissolos e latossolos, com três unidades de mapeamento: argissolo vermelho distrófico latossólico, argissolo vermelho-amarelo Ta distrófico típico e o latossolo vermelho distrófico argissólico, com predominância dos argissolos com ou sem concreções lateríticas (Figura 6).

A primeira unidade são solos profundos (profundidade superior a 160 cm), textura média, teores elevados de silte e areia em todo o perfil, o que implica baixo grau de intemperização, ou seja, são solos relativamente jovens.

A segunda unidade de mapeamento são solos com textura franco-siltosa na maior parte do perfil, com mudança para argila siltosa no horizonte Btf. Localizados em relevo suave ondulado, possuem uma relativa mudança textural abrupta entre o horizonte E e o horizonte Btf3. Também ocorre impedimento de drenagem em profundidade nesse solo, o que diminui a sua profundidade efetiva.

A terceira unidade de mapeamento são solos de textura franco-arenosa em superfície e aumento no teor de argila a partir do horizonte BA, passando a franco-argiloarenosa até 2 m de profundidade. São solos muito profundos, bem estruturados, distróficos com textura média e bastante presença de silte, o que indica um latossolo pouco desenvolvido, típico da Amazônia Sul Ocidental, e ocorrem em relevo plano.

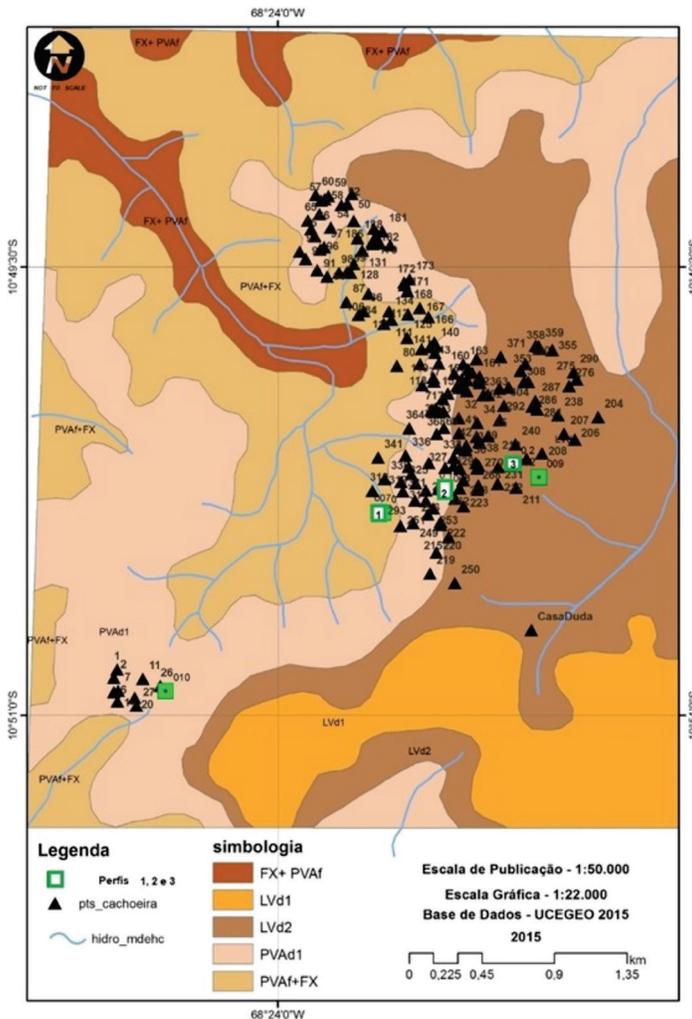


Figura 6. Mapa de solos semidetalhado (1:50.000) com os perfis (1, 2, 3) e a espacialização de espécies de castanheira na Colocação Fazendinha, Seringal Cachoeira, município de Xapuri-AC. LV – latossolo vermelho; e PVA – argissolo vermelho-amarelo.

Fonte: Ferreira et al (2017).

A fertilidade dos solos desses dois seringais é diferente, sendo a fertilidade do seringal Cachoeira superior ao do Filipinas, o que pode estar influenciando na produção, já que o seringal Cachoeira apresenta maior produtividade quando comparado ao Filipinas.

Em Mato Grosso, Spera et al. (2019) realizaram o levantamento pedológico em quatro locais de ocorrência natural da castanheira. Os autores identificaram as classes de solos argissolos, latossolos e plintossolos (Figura 7), sendo as unidades de mapeamento o argissolo vermelho-amarelo distrófico nitossólico, o latossolo vermelho-amarelo distrófico típico, o latossolo vermelho-amarelo distrófico álico e o plintossolo argilúvico distrófico arênico.

No geral, esses solos ocorrem em áreas de relevo plano a ondulado, apresentam acidez elevada, textura variando de arenosa a média, são de baixa fertilidade natural e também pode ser verificado, por vezes, elevado teor de alumínio, com presença dos minerais caulíníticos ou caulíníticos-gibbsíticos.

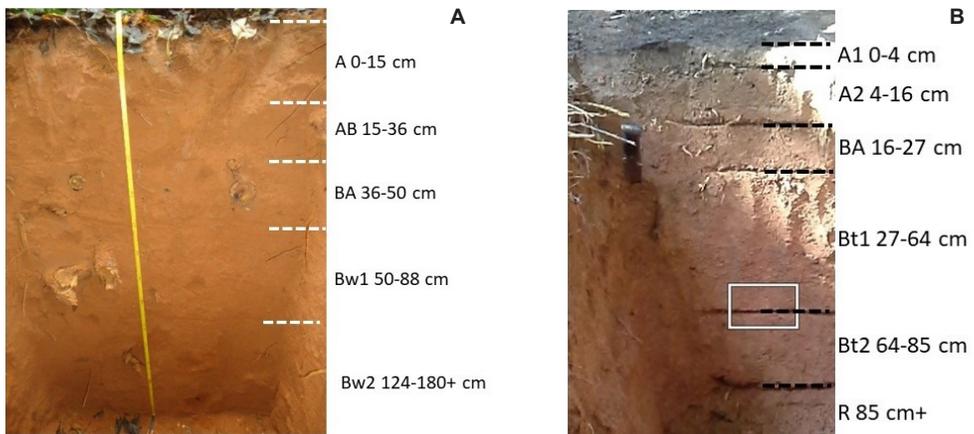


Figura 7. Perfil de latossolo vermelho-amarelo distrófico em Itaúba-MT (A) e perfil de argissolo vermelho-amarelo em Cotriguaçu-MT (B).

Fonte: Spera et al (2019).

Em Roraima, a ocorrência de castanheira-da-amazônia predomina em quatro zonas de floresta ombrófila. A primeira se estende desde o baixo rio Branco, abrange os vilarejos de Terra Preta, Caicubí, Santa Maria do Boiaçu, Cachoeirinha, Sacaiá, nos municípios de Caracará e Rorainópolis, até os municípios de Caroebe, São João do

Baliza e São Luiz, considerada a maior área de ocorrência no estado, na região sul de Roraima, Figura 8 (Tonini; Borges, 2010).

A segunda compreende os municípios de Caracaraí e Cantá, com ocorrência localizada nas regiões do Itã e Cujubim, parte central do estado (Figura 8). A terceira localiza-se nos municípios de Caracaraí, Iracema e Mucajaí (no alto rio Mucajaí), com concentrações expressivas na região do Ajarani (Figura 8). A quarta ocorre no município do Alto Alegre, com ocorrência mais especificamente na região do paredão (Figura 8). Os povoamentos com castanheiras em Roraima apresentados neste capítulo são fundamentados em prospecções de campo e informações coletadas de produtores, ribeirinhos e técnicos que realizam atividades de georreferenciamento de terras no estado.

Nos ambientes de castanhais, é observada a ocorrência das classes de solos argissolos, gleissolos, latossolos, neossolos, nitossolos e plintossolos, com predominância dos argissolos e latossolos (Figura 8). As classes de solos são distribuídas de forma diferente entre as quatro zonas em que ocorrem castanheiras em Roraima (Figura 9).

Os argissolos estão presentes em todas as zonas de ocorrência de castanhais mapeados, com maior frequência na parte sul do estado, que corresponde à maior área de ocorrência de castanhais em Roraima. Ocorrem em relevo suave a ondulado, apresentam textura média a argilosa, são bem drenados, profundos e ácidos, com pH entre 4,5 e 5,0. Possuem baixa fertilidade natural, mas, em termos de potássio, os valores são bastante variados, solos com mais de 80 mg kg⁻¹, em superfície, até solos com concentrações inferiores a 20 mg kg⁻¹. Valores mais altos de potássio podem estar associados a perfis nas proximidades de formações rochosas. Entre as classes dos argissolos, destacam-se os argissolos amarelos distróficos e os argissolos vermelho-amarelos distróficos. Os argissolos amarelos distróficos possuem textura arenosa em superfície e média em subsuperfície, apresentando, alguns deles, característica plíntica ou petroplíntica (Santos et al., 2018).

Na classe dos latossolos, predominam os latossolos amarelos distróficos, com maior concentração e área no domínio do baixo rio Branco, abaixo da linha do Equador, região de Santa Maria do Boiaçú, Terra Preta e Caicubí. Os latossolos amarelos são de textura média a argilosa, profundos, distróficos, ácidos (pH 3,5-5,0) e de baixa fertilidade natural, com altos teores de alumínio alto.

Locais com presença de castanha-do-brasil

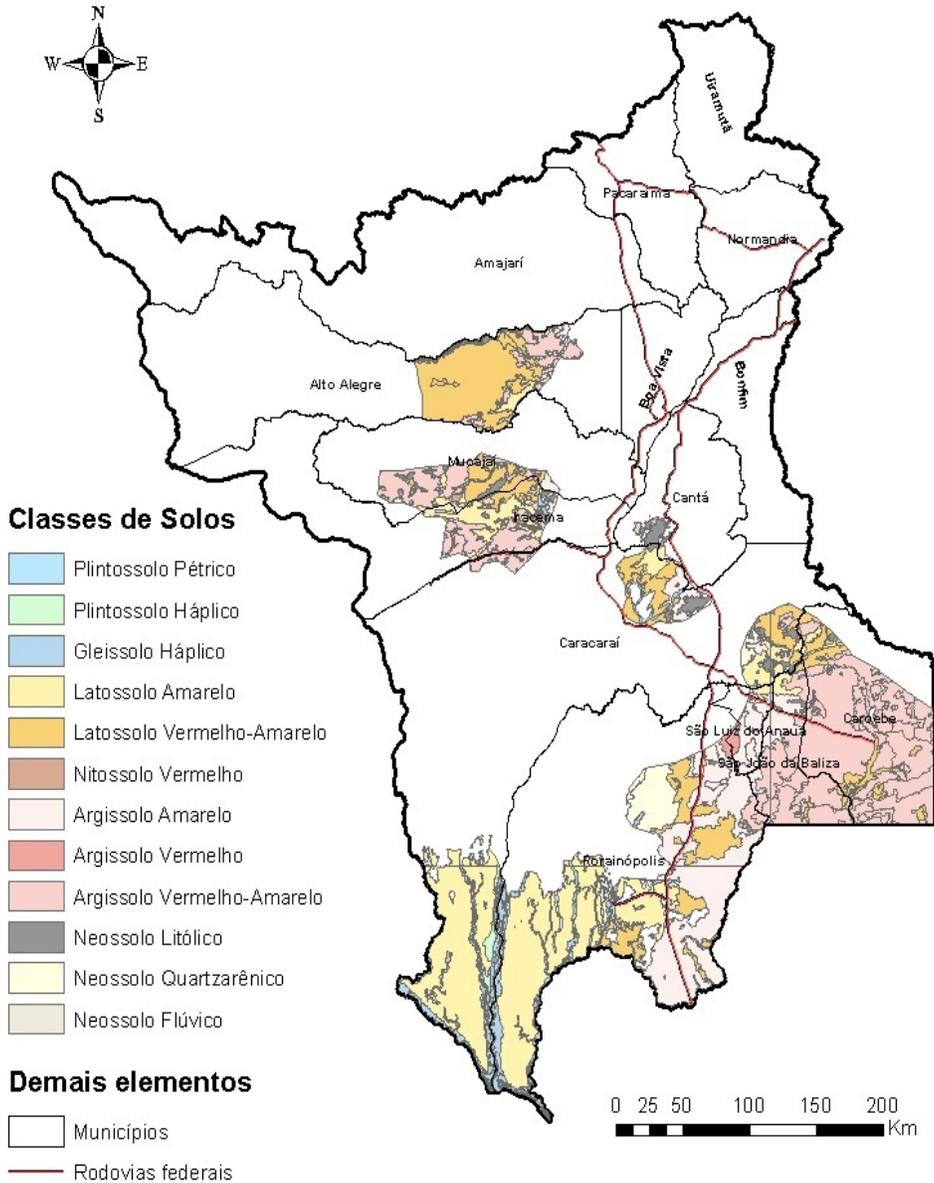


Figura 8. Mapa de solos com ocorrência de castanhais nativos em Roraima.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.

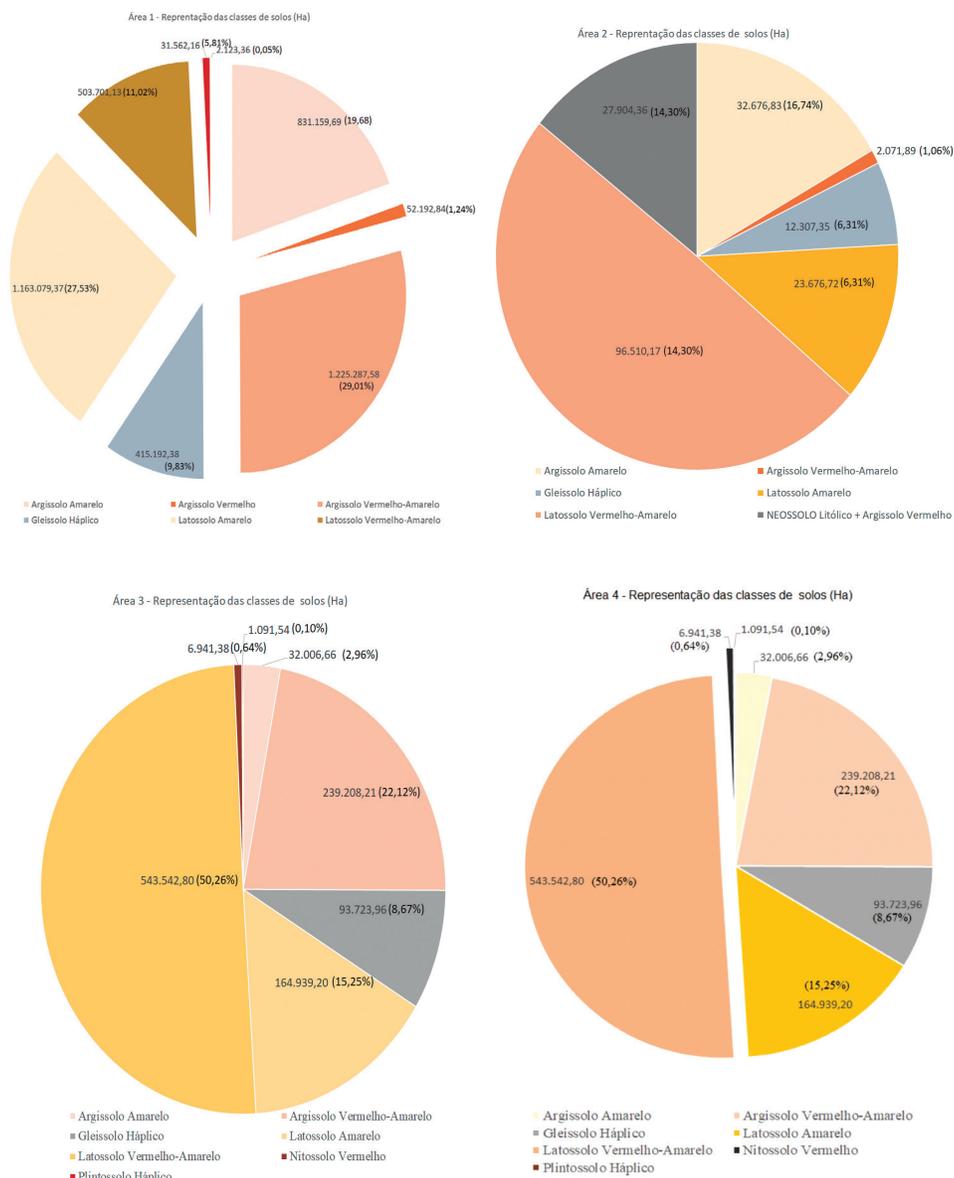


Figura 9. Distribuição das classes de solos nas quatro zonas de ocorrência de castanhais em Roraima.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.

Principais características das tipologias florestais dos municípios com ocorrência de castanheiras-da-amazônia

As tipologias florestais nas áreas de ocorrência de castanhais nativos são compostas, predominantemente, por floresta ombrófila. Também ocorrem as formações pioneira, savana (Cerrado), refúgio, campinarana, contato e florestas estacionais (Tabela 4, Figura 10), que acompanham o arco do desmatamento na transição Amazônia-Cerrado, desde o leste do Acre, Rondônia, norte do Mato Grosso, sul do Amazonas e do Pará e norte do Tocantins e do Maranhão.

A tipologia floresta ombrófila predomina em todos os estados de ocorrência da castanheira-da-amazônia (Tabela 2, Figura 6). Essa tipologia tem várias subcategorias, mas todas elas são caracterizadas por vegetação de alto porte e predomínio de elevada densidade de árvores. As castanheiras podem ser encontradas tanto na floresta ombrófila densa, que predomina na Amazônia Central, quanto na floresta aberta, com palmeiras e bambus do gênero *Guadua*, comuns na parte sul-ocidental da bacia amazônica. Por definição, essas florestas ocorrem em regiões de clima com altas temperaturas e de precipitação pluviométrica elevada. No entanto, elas podem ocorrer em áreas na Amazônia onde as chuvas não são bem distribuídas durante o ano, o que determina uma situação bioecológica com período seco (< 100 mm por mês) durante o verão amazônico.

Na Amazônia Central e Ocidental, a floresta ombrófila apresenta maior densidade e diversidade de espécies arbóreas (Steege et al., 2003), o que pode contribuir para variações na estrutura do dossel e predomínio de floresta mais fechada e de menor porte. Na Amazônia Oriental, a floresta e as próprias castanheiras apresentam porte mais elevado, acima de 40 m (Costa, 2018). Independentemente da tipologia, a castanheira sempre é uma espécie dominante e emergente no dossel, o que mostra sua estreita relação com a definição da estrutura vertical e horizontal das florestas.

A castanheira também está presente na floresta estacional, que ocorre no Mato Grosso, no Pará, em Rondônia, na transição entre a Amazônia e o Cerrado, e em Roraima, onde há duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa e outra de longo período biologicamente seco, onde ocorrem espécies perenifólias – que mantêm as folhas durante todo o ano –, semidecíduas – que perdem parte das folhas durante o período mais seco – ou completamente decíduas – que perdem todas as folhas durante o período mais seco. Essa tipologia, assim como outras

mais abertas, que permitem maior penetração de radiação solar, podem facilitar o estabelecimento das castanheiras.

A presença da espécie é comum nas áreas de contato (transição), no Amazonas, no Mato Grosso, em Rondônia e em Roraima (Figura 6), que constituem uma região de transição entre duas ou mais tipologias florestais. No Amapá, já foi confirmada a ocorrência da espécie em áreas de contato (transição) de savana amazônica com floresta ombrófila (Costa, 2018). Nessas áreas de contato, na maioria das vezes, floras de regiões distintas formam comunidades indiferenciadas e constituem transições florísticas ou contatos edáficos. Essa ocorrência de vegetação de transição edáfica não oferece dificuldade em ser delimitada, seja para os tipos de vegetação com estruturas fisionômicas semelhantes, seja para aqueles com estruturas diferentes.

No entanto, pode-se observar que os castanhais estão presentes também em ambientes com baixa diversidade de espécies, raridades e endemismos estreitos, como as campinaranas, onde uma ou poucas espécies respondem pela dominância da estrutura da vegetação, o que contrasta com a maioria das florestas amazônicas. Essa formação vegetal sobre areia branca ocorre no Amazonas, no Acre, no Mato Grosso, no Pará e em Roraima, em áreas fronteiriças da Colômbia e Venezuela, nas bacias dos rios Negro e Rio Branco e sob a forma de disjunções por toda a Amazônia. Nessas áreas planas e temporariamente alagadas, onde predominam os espodossolos, ocorrem três tipos principais e distintos de campinarana, a campinarana arbórea e a florestada.

A savana (Cerrado) ocorre em todos os estados, exceto no Acre, embora diversas espécies características desse bioma ocorram no estado (Figura 6). A savana ocorre sob distintos tipos de clima, mas sempre com uma estação seca, mesmo que curta, bem definida. Ela é caracterizada pela ocorrência majoritária de árvores de baixo porte, geralmente com troncos e ramos tortuosos, e de um estrato arbustivo-herbáceo rico em espécies, normalmente associado a gramíneas. As savanas amazônicas são áreas consideradas “refúgio” desse tipo de vegetação, que predominava na Amazônia até o médio Holoceno, cerca de 6 mil anos atrás, devido ao clima seco e à constante presença de fogo. Nesse período, o clima começou a ser alterado, favorecendo mais as árvores e a expansão das florestas e das próprias castanheiras, cuja distribuição geográfica foi se aproximando cada vez mais da atual (Thomas et al., 2014).

A formação pioneira ocupa áreas de solos formados a partir da deposição de sedimentos, ainda instáveis, como as planícies fluviais e as depressões aluvionares (pântanos, lagoas e lagoas), onde predomina uma vegetação de porte herbáceo-arbustivo; e formações mais arbóreas e florestais apenas onde as condições edáficas são mais favoráveis não é observada no Acre e em Roraima.

Tabela 4. Porcentagem das tipologias florestais e castanheiras georreferenciadas (entre parênteses) nos municípios de ocorrência da espécie.

Tipologias Florestais	Acre	Amapá	Amazonas	Mato Grosso	Pará	Rondônia	Roraima
% / Número castanheiras georreferenciadas							
Campinarana	-	-	11,11 (6)	0,03	0,40 (1)	-	19,47 (1)
Arborizada	-	-	1,63 (4)	0,01	0,12 (1)	-	0,90
Florestada	-	-	8,17 (2)	-	0,15	-	12,07 (1)
Contato	-	-	0,95 (1)	6,00 (5)	0,09	2,48 (3)	4,59 (1)
Floresta Ombrófila	83,50 (31)	92,22 (1491)	81,99 (554)	50,65 (35)	79,50 (847)	69,79 (109)	66,78 (33)
Aberta Aluvial	6,92 (5)	0,16	3,02 (252)	0,11	-	2,34 (8)	-
Aberta das Terras Baixas	59,94 (12)	-	8,31 (5)	-	0,05	20,91 (37)	0,17
Aberta Submontana	-	0,9	3,75 (11)	29,81 (36)	24,11 (61)	37,98 (54)	5,93 (2)
Densa Aluvial	0,02	3,1	7,18 (24)	0,99 (1)	2,72 (43)	1,05 (4)	1,87
Densa das Terras baixas	16,62 (14)	8,7 (346)	43,88 (262)	-	13,06 (606)	0,98	6,19 (4)
Densa Montana	-	0,63 (159)	0,85	-	0,12	-	8,22
Densa Submontana	-	78,73 (986)	15 (21)	19,74 (8)	39,43 (137)	6,53 (6)	44,39 (27)
Floresta Estacional	-	-	-	23,19 (18)	1,30	1,61	4,12 (1)
Semidecidual	-	-	-	10,33 (9)	0,96	0,47	3,97 (1)
Submontana Sempre Verde	-	-	-	12,21 (9)	-	0,96	-
Submontana	-	-	-	-	-	-	-
Florestamento/ Reflorestamento	0,01	0,81	-	-	0,12 (3)	-	-
Formação Pioneira	-	2,47	0,78 (4)	0,13	0,86 (1)	2,27	-
Com influência fluvial e/ou lacustre	-	2,47	0,78 (4)	0,13	0,83 (1)	2,27	-
Savana	-	1,77 (3)	1,03 (1)	6,13	4,46 (1)	5,98	2,26 (1)
Gramíneo-Lenhosa	-	-	0,08	0,02	0,20	0,15	1,47 (1)
Parque	-	1,55 (3)	0,59 (1)	0,50	1,14 (1)	1,15	-
Vegetação Secundária	0,22	0,93 (10)	0,79 (301)	0,10	2,39 (111)	0,30 (1)	0,44 (1)

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do Projeto MapCast.

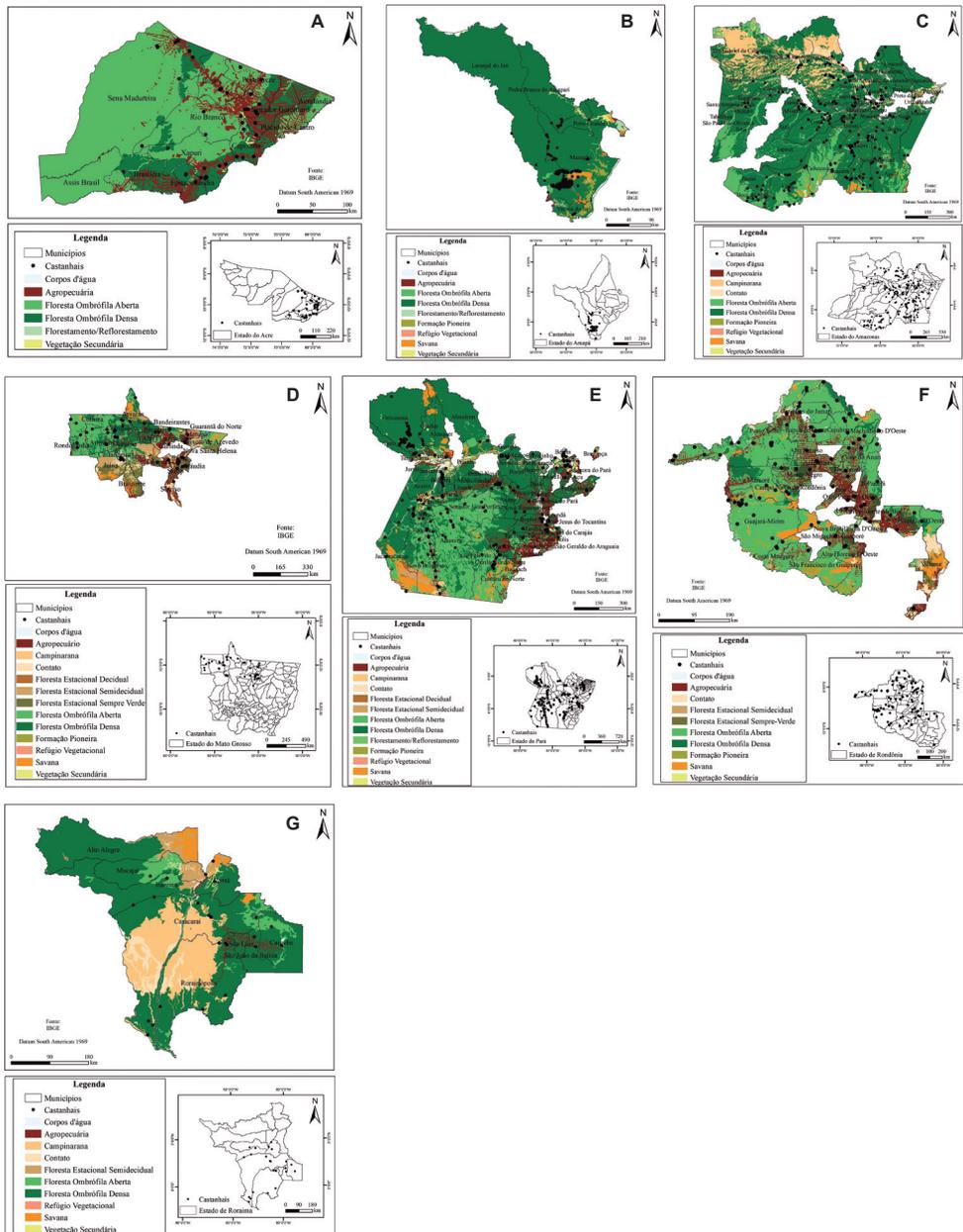


Figura 10. Principais tipologias florestais nos municípios de ocorrências de castanheiras no Acre (A), Amapá (B), Amazonas (C), Mato Grosso (D), Pará (E), Rondônia (F) e Roraima (G). Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.

Destaca-se a presença de castanheiras em FOD das terras baixas (altitude < 100 m), já nas proximidades do canal norte do rio Amazonas, próximo à foz do rio Jari, no município de Vitória do Jari. Essas áreas são ocupadas por florestas densas, logo após os campos inundados, mas que permanecem livres da inundação, porém, nas florestas de várzea ou florestas aluviais, não foram constatadas castanheiras. Também se verificaram castanheiras na vegetação classificada como savana parque. No entanto, o que se observa em campo é que essas castanheiras estão presentes em ilhas de floresta no meio da savana ou em áreas de transição. Não se verificam castanheiras isoladas ou em áreas de savana parque *sensu strictu*. Esses resultados confirmaram o resultado da análise mais geral para toda a Amazônia, no nível de município, constatando que, nas áreas com ocorrência de castanheiras, predomina a floresta ombrófila densa (FOD). Entretanto, apesar de a maior parte da área ser coberta por floresta densa, a maior densidade foi encontrada na floresta ombrófila aberta – 31.422 castanheiras (45%) do total inventariado (70.646), em uma área de 400 mil hectares. É possível que a FOD observada atualmente se desenvolveu após o estabelecimento das castanheiras, considerando a necessidade de luz para o estabelecimento das castanheiras (Myers et al., 2000).

Em estudos recentes, como os de Tonini e Baldoni (2019), que avaliaram a regeneração natural da castanheira em diferentes tipologias florestais nos estados de Roraima e do Mato Grosso, os autores identificaram que a sobrevivência de plântulas não diferiu entre a floresta aberta e a densa, ou seja, nesta fase a espécie não possui preferência de sítio. Entretanto, somente em floresta aberta as plântulas conseguiram se desenvolver e chegar à condição de vareta, com altura ≥ 1,5 m, quando de fato ocorre o estabelecimento da espécie. Nessa fase, a taxa de mortalidade é próxima de zero (Zuidema, 2003).

Principais características do clima nos estados que compõem a Amazônia Legal

Com base nos estudos apresentados em Martorano et al (1993) para o estado do Pará e nas análises topoclimáticas no contexto da região amazônica (Martorano et al., 2011, 2017, 2019; Tourne et al., 2019), nota-se na Figura 12 que o Amapá apresenta padrões altimétricos em que as cotas abaixo de 100 m localizam-se na porção sudeste do estado, seguidas de cotas de 100 a 200 m nas áreas mais ao centro da área, e as maiores altitudes predominam na porção mais a noroeste do estado (A). Observa-se que a tipologia climática predominante na área de interesse

é o Am₂, que rege cerca de 71%, seguida do Am₃, com 21%, indicando que no mês menos chuvoso as cotas pluviiais são inferiores a 60 mm (B). Em termos de chuva anual, na tipologia Am₂ as chuvas anuais variam de 2 mil a 2,5 mil milímetros e no Am₃ as cotas pluviiais concentram-se na faixa de 1,5 mil e 2 mil milímetros.

Vale destacar que na tipologia Am₃ são identificadas as maiores ocorrências de castanheira-da-amazônia no estado. A temperatura média anual nesses locais de ocorrência da espécie concentra-se na faixa entre 25,0 a 26,0 °C, sendo identificada como a área mais úmida do estado, onde em média a umidade relativa do ar encontra-se entre 80% e 85%, em termos de média anual.

Em Rondônia as ocorrências predominam em cotas altimétricas inferiores a 200 m (Figura 13A), regidas pela tipologia climática que apresenta características dos subtipos (Figura 13B), indicando que nos meses menos pluviosos os eventos são inferiores a 60 mm, mas em termos Am₃, Am₄, Aw₃ e Aw₄ de total pluvial anual os valores variam de 1,5 mil a 2,5 mil milímetros (Figura 9C). As condições térmicas máximas concentram-se entre 30,0 °C e 32,0 °C (Figura 13D), com temperaturas médias entre 25,5 °C e 27,0 °C (Figura 13E); as temperaturas nas madrugadas (quando ocorrem as mínimas) apresentam valores entre 19,0 °C e 21,5 °C (Figura 13F).

Nas áreas de ocorrência, o *deficit* de pressão de vapor (DPV) varia entre 0,5 e 0,7 (Figura 13G); os valores de umidade relativa do ar ficam entre 80% e 85% (Figura 13H), reforçando que essas variáveis climáticas apresentam padrões associados às ocorrências da espécie. Considerando-se a distribuição espacial no estado do Pará, nota-se que, em termos de hipsometria, as ocorrências se concentram também em cotas altimétricas inferiores a 200 m (Figura 14A). Todavia, em se tratando de tipologia climática, foram observadas ocorrências além do Am₃, Am₄ e Aw₃, também no Af₃ (Figura 14B), reforçando que o regime de chuva anual se manteve na mesma faixa das cotas pluviiais observadas em Rondônia, ou seja, predominando entre 1,5 mil e 2,5 mil milímetros (Figura 14C).

As temperaturas máximas (30,0 a 32,0 °C), médias (25,5 °C a 27,0 °C) e mínimas (19,0 °C a 23,0 °C) indicam que apenas nas madrugadas as condições térmicas das mínimas foram ampliadas em 1,5 °C (Figuras 14D, 14E e 14F, respectivamente),

ao comparar as condições térmicas no Pará com as registradas em Rondônia, mas as demais seguem o mesmo padrão climático com relação ao DPV (Figura 10G) e à umidade relativa do ar (Figura 10H). No Amazonas (Figura 15), as ocorrências também predominam nas cotas altimétricas inferiores a 200 m (A), nos subtipos Af₃, Am₂ e Am₃ (B), o que indica que, nos meses menos pluviosos no Af₃, as cotas são superiores a 60 mm, ampliando-se a faixa pluvial anual que vai de 1,5 mil a 3 mil milímetros (C). As temperaturas máximas variam entre 29,5 °C a 32,0 °C (D); as médias, entre 25,0 °C e 27,0 °C (E); e as mínimas, entre 19,0 °C e 23,0 °C (F). O DPV nas ocorrências varia entre 0,4 e 0,7 (G) e a umidade relativa do ar, entre 80% a 85% (H).

Ao analisar os locais de ocorrência no estado do Acre (Figura 16), nota-se que a hipsometria também é inferior a 200 m (A) e o subtipo climático predominante é o Am₄ (B), com os totais de chuva anual variando entre 1,5 mil a 2 mil milímetros (C). As máximas variam entre 31,0 °C e 32,0 °C (D); as médias, entre 24,5 °C e 26,5 °C (E); e as mínimas, entre 18,0 °C e 21,5 °C (F). O DPV também varia entre 0,4 e 0,7 (G), semelhante às condições no Amazonas, mas quanto à umidade relativa do ar a faixa amplia-se entre 75% a 85% (H).

No Mato Grosso, os valores altimétricos apresentam cotas abaixo de 200 m (Figura 17), sendo o subtipo climático predominante no Am₃ e Aw₃ (B), com chuvas anuais variando entre 2 mil a 2,5 mil milímetros (C). Nesse estado, as temperaturas máximas variam entre 31,0 °C e 32,0 °C (D) nas áreas de ocorrência da espécie, sendo as temperaturas médias entre 25,0 °C e 26,5 °C (E) e as mínimas variando entre 19,0 °C e 21,0 °C (F). Observa-se que a faixa do DPV varia entre 0,4 e 0,6 (G) e a umidade do ar varia de 80% a 85% (H).

Em se tratando do estado de Roraima (Figura 18), as ocorrências também estão abaixo de 200 m (A) de altitude (A), e os subtipos climáticos Af₃, Am₃ e Am₄ (B) indicam que as cotas pluviais durante o ano variam entre 1,5 mil a 2,5 mil milímetros (C). As condições térmicas máximas, médias e mínimas variam entre 30,0 °C e 32,0 °C (D); 25,0 °C e 27,0 °C (E) e 19,0 °C e 22,5 °C (F), respectivamente. A variação do DPV ficou na faixa entre 0,6 e 0,8 (G), com a umidade variando entre 75% e 85% (H).

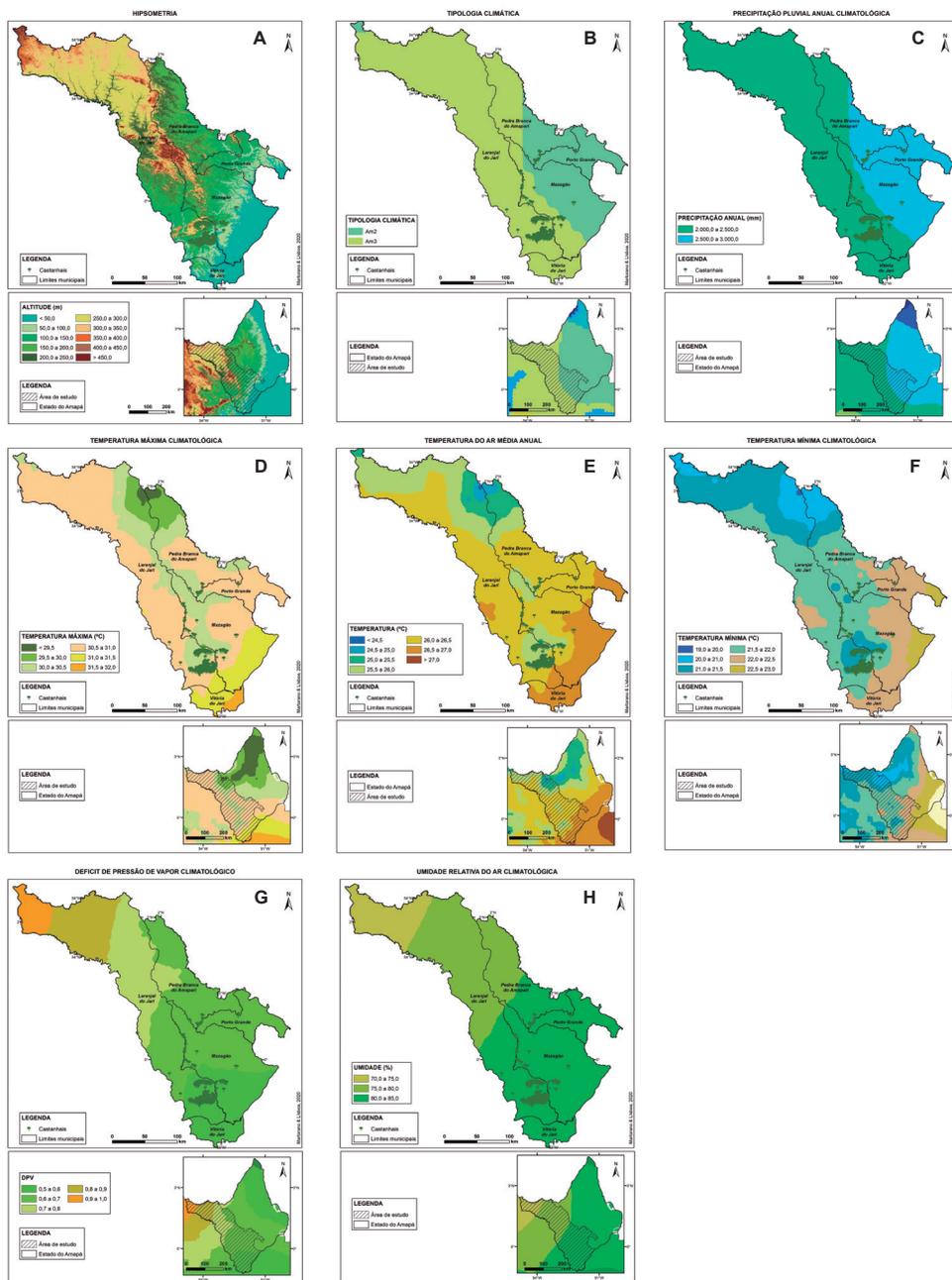


Figura 12. Condições topoclimáticas analisadas com base em ocorrências de castanheira-da-amazônia no Amapá, na Amazônia Legal.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.

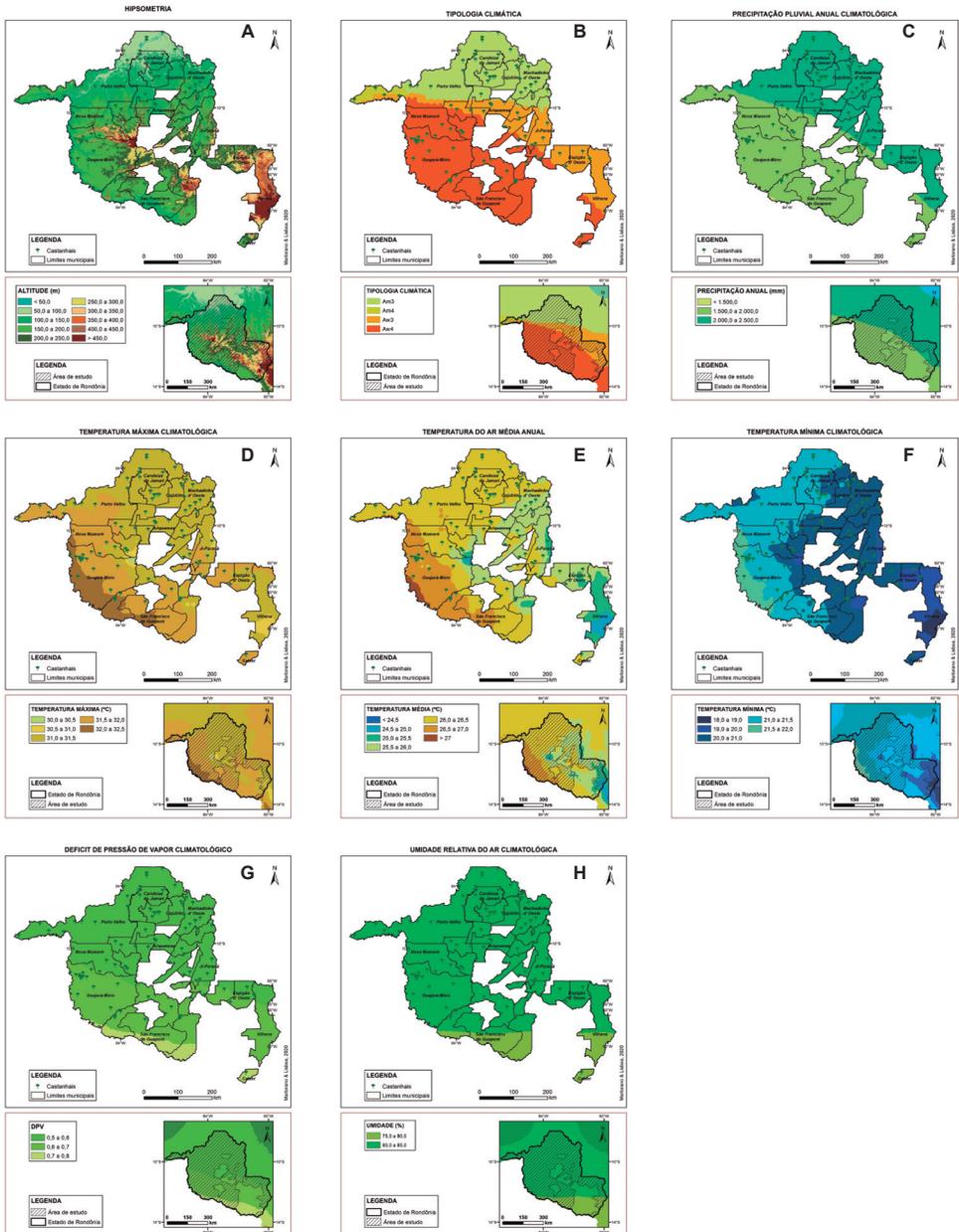


Figura 13. Condições topoclimáticas analisadas com base em ocorrências de castanheira-da-amazônia em Rondônia, na Amazônia Legal.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.

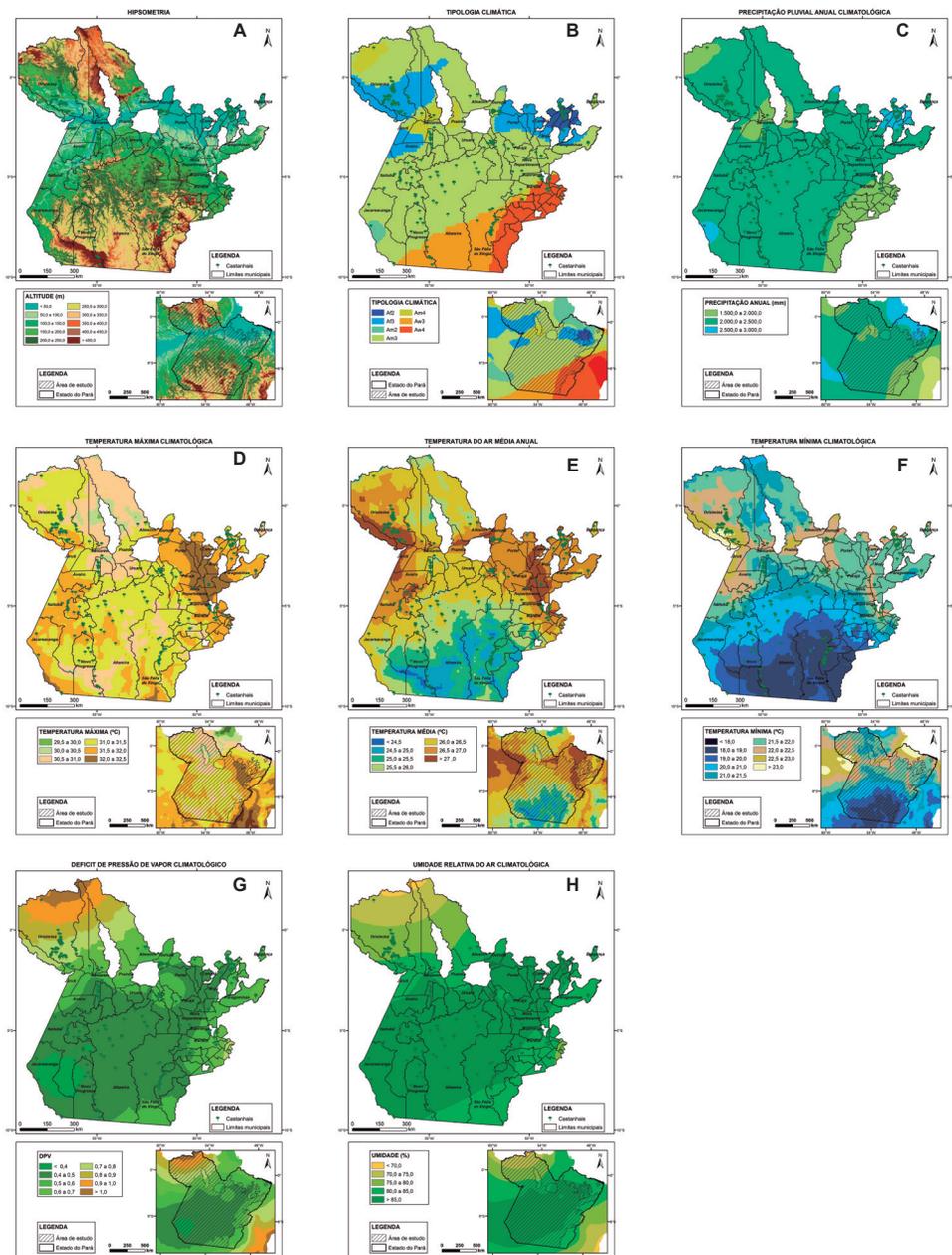


Figura 14. Condições topoclimáticas analisadas com base em ocorrências de castanheira-da-amazônia no Pará, na Amazônia Legal.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.

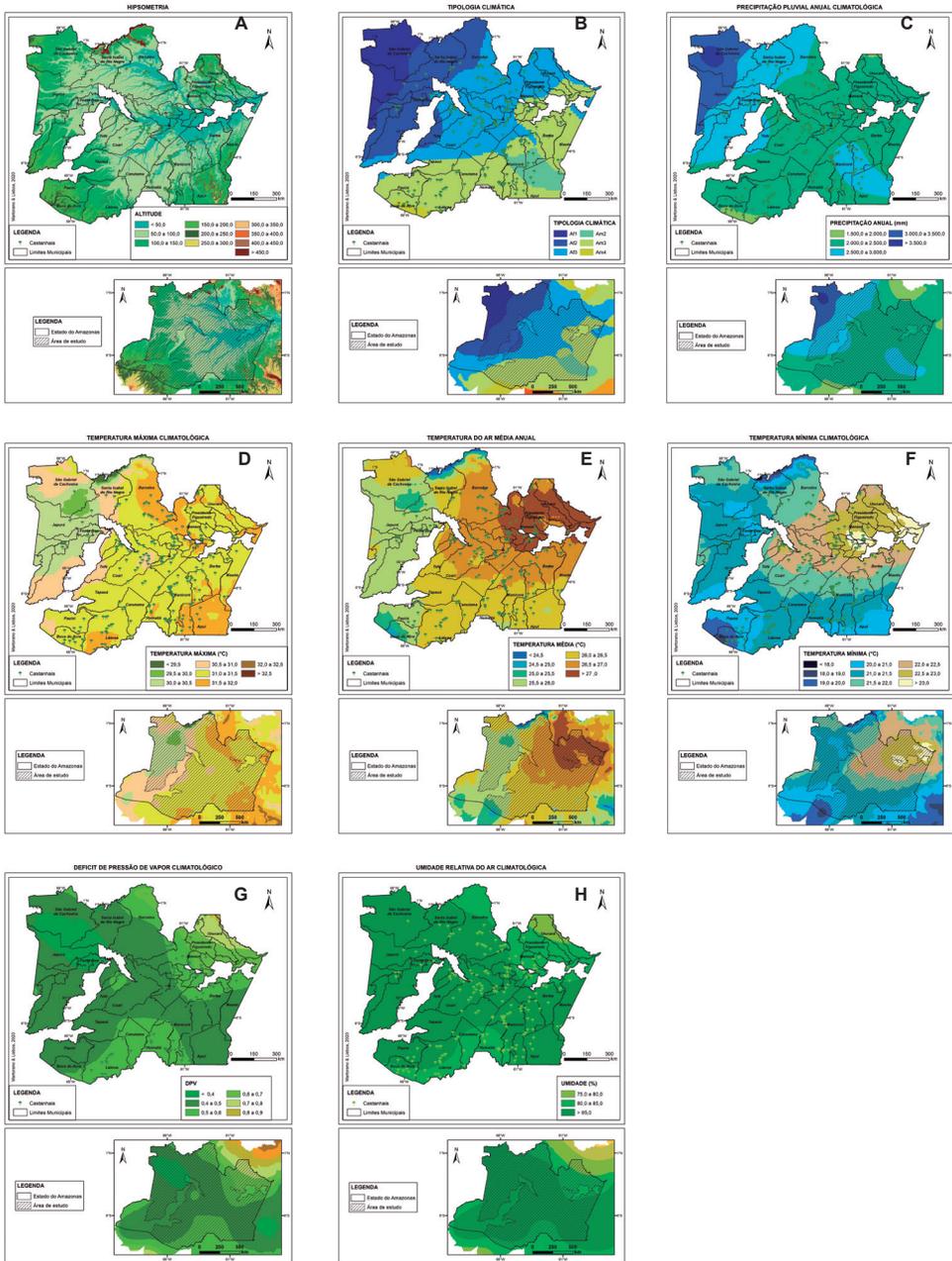


Figura 15. Condições topoclimáticas analisadas com base em ocorrências de castanheira-da-amazônia no Amazonas, na Amazônia Legal.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.

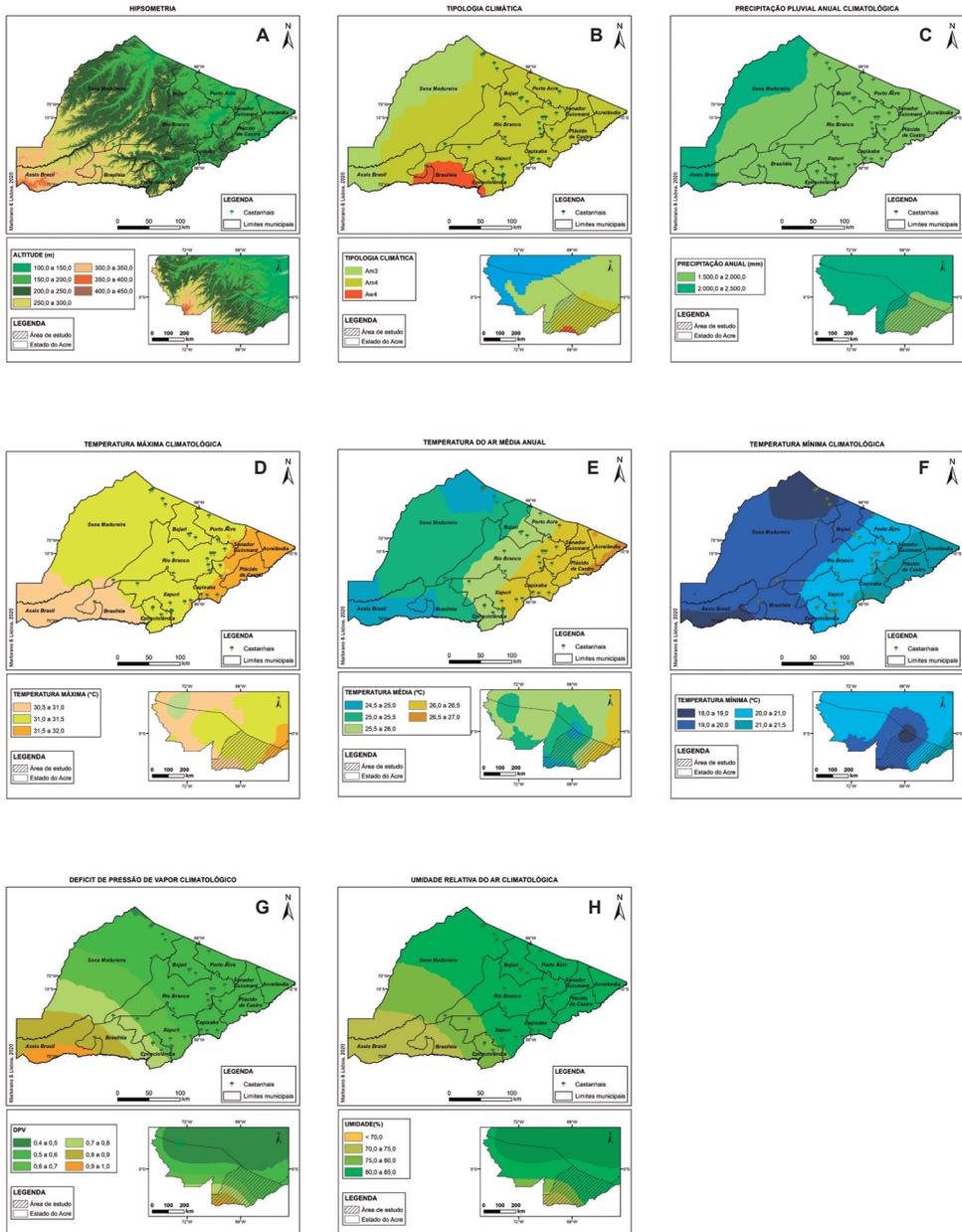


Figura 16. Condições topoclimáticas analisadas com base em ocorrências de castanha-da-amazônia no Acre, na Amazônia Legal.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.

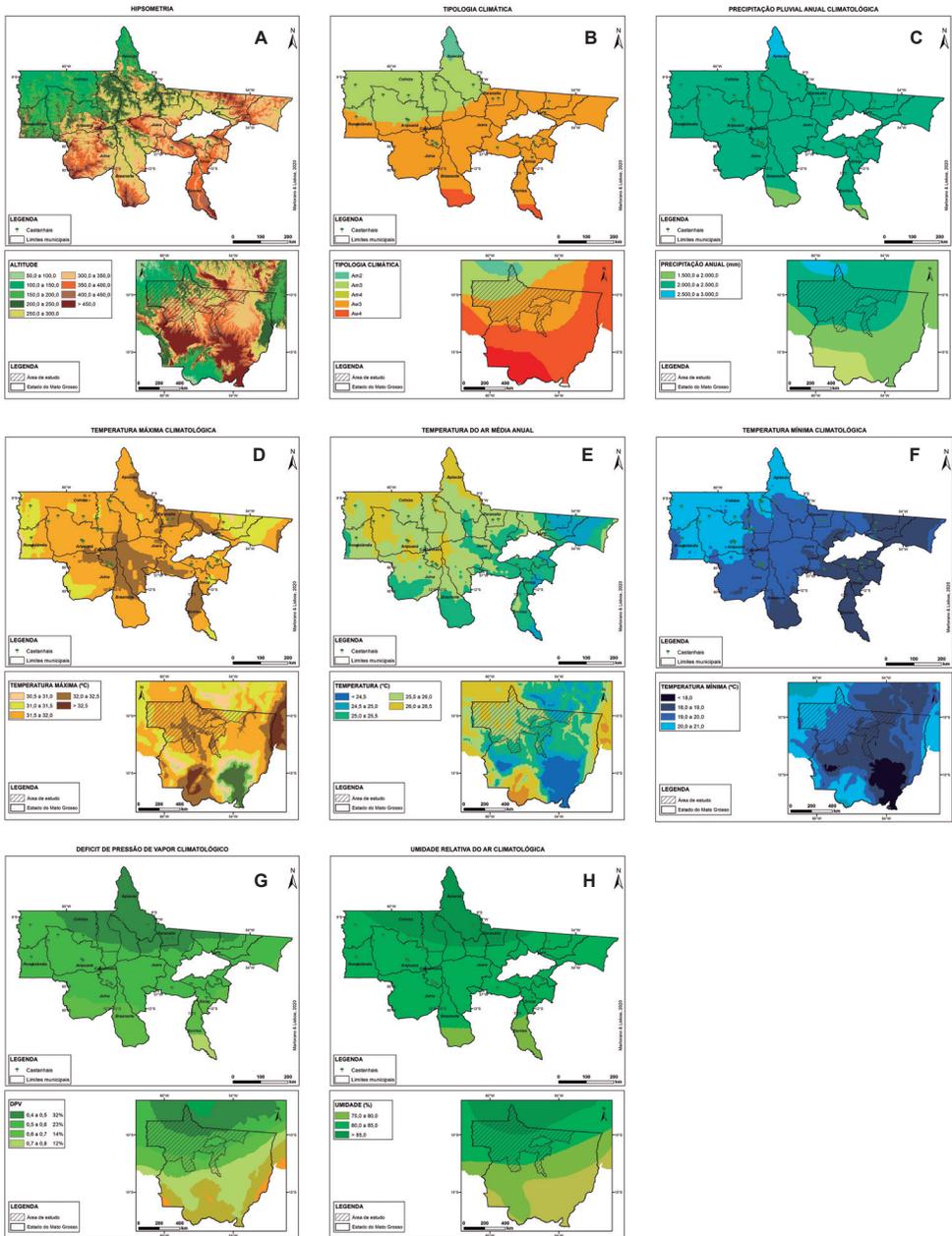
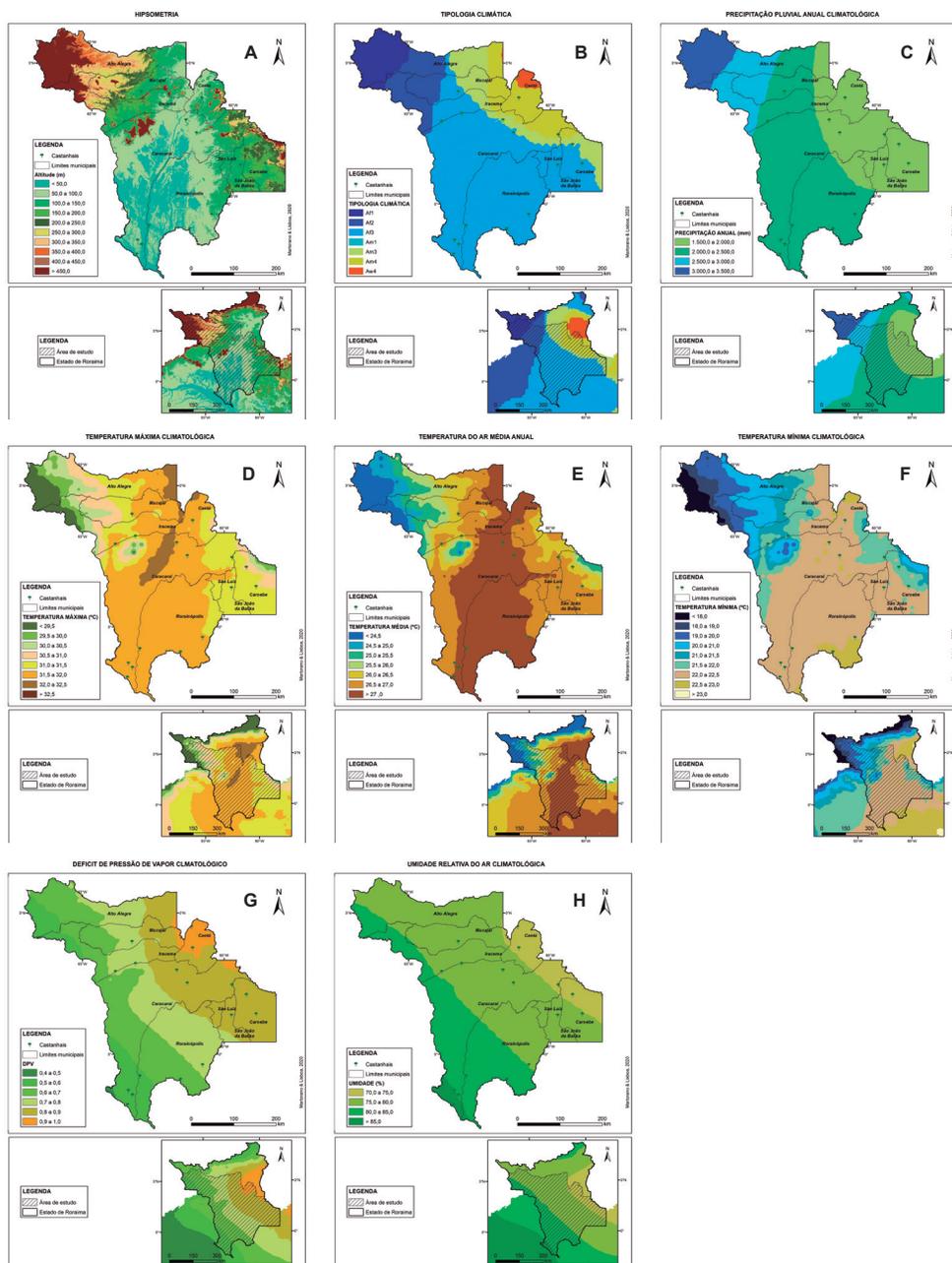


Figura 17. Condições topoclimáticas analisadas com base em ocorrências de castanheira-da-amazônia no Mato Grosso, na Amazônia Legal.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados do IBGE e do Projeto MapCast.



Considerações finais

Diante do levantamento das características de solos, vegetação e clima, verifica-se que a castanheira-da-amazônia apresenta alta plasticidade ambiental, ocorrendo em diferentes condições que favorecem a sobrevivência e a perpetuação da espécie no bioma Amazônia.

Porém, predominantemente, os castanhais nativos na Amazônia brasileira ocorrem em áreas onde predominam as classes dos argissolos e latossolos. Todavia, é importante destacar que em Mato Grosso se observa uma grande expressão dos castanhais em áreas de neossolos, totalizando em 20% das ocorrências mapeadas. A tipologia vegetal de maior expressão da presença de castanheiras está em áreas de floresta ombrófila; nos estados do Acre, Amapá, Amazonas e Pará a área de ocorrência dos castanhais é superior a 70%, enquanto que em Mato Grosso correspondem a 50% nas áreas de floresta ombrófila. A maioria dos castanhais ocorre em cotas altimétricas inferiores a 200 m, contabilizando valores de precipitação pluvial anual variando entre 1,5 mil e 2,5 mil milímetros. Analisando-se as condições térmicas em termos de média anual, foram detectados 86,1% das ocorrências nas faixas de 25,5 °C a 26,5 °C, bem como em áreas com temperatura média superior a 27,0 °C. Nas faixas entre 24,5 °C e 25,5 °C e entre 26,5 °C e 27,0 °C, estão concentrados 13,9%, apontando possíveis restrições à ocorrência de castanheiras-da-amazônia e umidade do ar variando entre 75% a 85%.

Por ser uma espécie longeva, emergente na floresta e de grandes dimensões (tronco e copa), é possível que os ambientes atuais de ocorrência, especialmente a tipologia florestal, sejam consequência do estabelecimento de castanhais nativos, não a causa de esses-serem observados nesses ambientes.

Referências

ALMEIDA, J. A.; CAMPOS, M. L.; FERREIRA, E. R. N.; GATIBONI, L. C. Formas de alumínio em solos do Acre. In: SILVA, L. M.; ANJOS, L. H. C.; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G.; WADT, P. G. S. (ed.). **IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: solos de formações sedimentares em sistemas amazônicos: potencialidades e demandas de pesquisa. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

AMARAL, E. F. **Estratificação de ambientes para gestão ambiental e transferência de conhecimento, no estado do Acre, Amazônia Ocidental**. 2007. 200 f. Tese (Doutorado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BARDALES, N. G.; MOURA, D. C. S.; SILVA L. M.; WADT, L. H. O. Levantamento semidetalhado e classificação de solos no Seringal Filipinas, Epitaciolândia, Acre. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO – SOLOS NOS BIOMAS BRASILEIROS: SUSTENTABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 33., 2011, Uberlândia, Minas Gerais. **Anais....** Minas Gerais: SBCS, 2011. p. 1-4.

BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA.20**

Boa Vista e parte das folhas NA.21, Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1975, 428 p. (Levantamento de recursos naturais, 8).

COTTA, J. N.; KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1-2, p. 28-35, July 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.026>.

COOPER, M.; MENDES, L. M. S.; SILVA, W. L. C.; SPAROVEK, G. A national soil profile database for Brazil available to international scientists. **Soil Science Society America Journal**, v. 69, n. 3, p. 649-652, May 2005. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0140>.

COSTA, F. F. **Ocorrência e estrutura vertical de florestas com castanheiras na Amazônia brasileira.** 2018. 88 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Macapá.

COSTA, M. G.; TONINI, H.; MENDES FILHO, P. Atributos do solo relacionados com a produção da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*). **Floresta e Ambiente**, v. 24, e20150042, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.004215>.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; TESTONI, S. A.; BARBOZA, B. B. Formas de alumínio em solos ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de Al³⁺ extraível com KCl. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1362-1377, set./out. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150017>.

FERREIRA, R. R. M.; BARDALES, N. G.; SILVA, L. M.; MIQUELONI, D. P.; WADT, L. H. O. **Levantamento de solos semidetalhado sob crescimento de castanhal nativo na região leste do Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2017. 30 p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 57). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1087703>. Acesso em: 20 ago. 2022.

GOMES SOBRINHO, T. R. **Estrutura, funcionamento e evolução das paisagens cobertas por savanas na reserva extrativista do Rio Cajari-AP, Amazônia Oriental, Brasil.** 2017. 315 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia: Tratamento da Informação Espacial, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

GUEDES, M. C.; OLIVEIRA, R. C.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; SILVA, K. E. Classificação do solo e relação com densidade e produção de castanheiras na Amazônia Oriental. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 36., 2017, Belém, Pará. **Anais...** Pará: SBCS, 2017. v. 1, p. 1-3.

GUERREIRO, Q. L. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; SANTOS, G. R.; RUIVO, M. L. P.; BELDINI, T. P.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, K. E.; GUEDES, M. C.; SANTOS, P. R. B. Spatial variability of soil physical and chemical aspects in a Brazil nut tree stand in the Brazilian Amazon. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 4, p. 237-250, Jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11766>.

IBGE. Tabela 289 – Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo de produto extrativo. **Sidra**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289#resultado>>. Acesso em: jun. 2020a.

IBGE. **Banco de Dados de Informações Ambientais**: pedologia. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 24 ago. 2020b.

IBGE. **Banco de Dados de Informações Ambientais**: vegetação. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>. Acesso em: 25 set. 2020c.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normas Climatológicas do Brasil**. Brasília, DF, 2009.

KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 244-255, Oct. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.024>.

LOCATELLI, M.; VIEIRA, A. H.; MARTINS, E. P.; SOUZA, V. F.; MACEDO, R. S. **Crescimento em diâmetro de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) cultivada em solo de baixa fertilidade**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2005. 4 (Embrapa Rondônia. Circular técnica, 79). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/859445>. Acesso em: 25 set. 2020

MARTORANO, L. G.; MONTEIRO, D. C. A.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L. S.; ESPÍRITO SANTO, J. M. do; ALMEIDA, R. F. Top-bioclimate conditions associated with the natural occurrence of two Amazonian tree species for sustainable reforestation in the State of Para, Brazil. In: VILLACAMPA, Y.; BREBBIA, C. A. (ed.). **Ecosystems and sustainable development VIII**. United Kingdom: WITPress, 2011. p. 111-122. (WIT transactions on ecology and the environment, v. 144). DOI: 10.2495/ECO110101.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; NECHET, D. Tipologia climática do estado do Pará: adaptação do método de Köppen. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 23, n. 45-46, p. 307-312, 1993.

MARTORANO, L. G.; VITORINO, M. I.; SILVA, B. P. P. C.; MORAES, J. R. DA S. C.; LISBOA, L. S.; SOTTA, E. D.; REICHARDT, K. Climate conditions in the eastern amazon: rainfall variability in Belem and indicative of soil water deficit. **African Journal Agricultural Research**, v. 12, 89683AE64419, p. 1801-1810, May 2017. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11801>.

MARTORANO, L. G.; GUEDES, M. C.; WADT, L. H. de O.; REALE, F.; TOURNE, D.; MARTORANO, P.; SILVA, K. E. da. Ecosystem services provided by *Bertholletia excelsa* in the Brazilian Amazon. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, e201902043, p. 533, 2019. Special issue. Abstracts of the XXV IUFRO World Congress, 2019.

MYERS, G. P.; NEWTON, A. C.; MELGAREJO, O. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 127, n. 1-3, p. 119-128, Mar. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00124-3).

MARANHÃO (Estado). Secretaria de Estado de Turismo. **Amazônia maranhense**. Disponível em: <https://www.turismo.ma.gov.br/amazonia-maranhense/#:~:text=A%20Floresta%20Amaz%C3%B4nica%20no%20estado,e%20alcan%C3%A7a%20a%20cidade%20Carolina>. Acesso em: 25 nov. 2020.

NEVES, C. A. A castanheira do Pará. **Revista de Agricultura**, v. 13, n. 10/12, p. 462-76, 1938. DOI: <https://doi.org/10.37856/bja.v13i10-12.1742>.

- OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; MELEM JUNIOR, N. J.; GUEDES, M. C.; GUERREIRO, Q. L. M.; GUIMARÃES, Y. B. P. C.; ARAÚJO, D. M. F.; FERREIRA, N. S.; MORAES, A. S. **Caracterização dos solos sob castanhais na região sul do estado do Amapá**. Macapá: Embrapa Amapá, 2021. 34 p. (Embrapa Amapá. Documentos, 106; Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 459). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1131006>. Acesso em: 25 set. 2021.
- PAIVA P. M.; GUEDES, M. C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 3, p. 508-514, fev. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.001>
- PANISSET, J. S.; LIBONATI, R.; GOUVEIA, C. M. P.; MACHADO-SILVA, F.; FRANÇA, D. A.; FRANÇA, J. R. A.; PERES, L.F. Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 1096-1104, Feb. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5224>.
- PICANÇO, A.; SOUSA, M. A.; EULER, A. M. C. **Projeto Carbono Cajari**: mapeamento dos castanhais: relatório de pesquisa. Macapá: Programa Petrobras Ambiental, 2014. 15 p.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-77862010000200004>.
- RONCHAIL, J.; GALLAIRE, R. ENSO and precipitation along the Zongo valley (Bolívia) from the altiplano to the Amazon basin. **International Journal Climatology**, v. 26, n. 9, p. 1223-1236, July 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1296>.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- SPERA, S. T.; MAGALHÃES, C. A. S.; BALDONI, A. B.; CALDERANO, S. B. Caracterização pedológica de locais de estudo de populações naturais de castanheira-do-brasil no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 145-161, mar./abr. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6502>.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; VALE JR., J. F.; SOUZA, K. W.; CORRÊIA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F.; AMARAL, E. F.; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. L. P. Solos da região amazônica. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Pedologia**: solos dos biomas brasileiros. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.
- STEEGE, H. ter.; PITMAN, N.; SABATIER, D.; CASTELLANOS, H.; HOUT, P. V. D.; DALY, D. C.; SILVEIRA, M.; PHILLIPS, O.; VASQUEZ, R.; ANDEL1, T. V.; DUIVENVOORDEN, J.; OLIVEIRA, A. A.; EK, R.; LILWAH, R.; THOMAS, R.; ESSEN, J. V.; BAIDER, C.; MAAS, P.; MORI, S.; TERBORGH, J.; VARGAS, P. N.; MOGOLLÓN, H.; MORAWETZ, W. A spatial model of tree α -diversity and density for the Amazon. **Biodiversity and Conservation**, v. 12, p. 2255-2277, Nov. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024593414624>.
- THOMAS, E.; ALCÁZAR CAICEDO., C.; LOO, J.; KINDTIII, R. The distribution of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) through time: from range contraction in glacial refugia, over human-mediated expansion, to anthropogenic climate change. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 267-291, ,aio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.525>.
- TONINI, H.; BALDONI, A. B. Estrutura e regeneração de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em castanhais nativos da Amazônia. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 607-621, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509822112>.

TONINI, H.; BORGES, R. A. **O extrativismo da castanha-do-brasil na região do baixo Rio Branco (RR)**. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2010. 19 p. (Embrapa Roraima. Documentos, 39). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/889206>. Acesso em: 20 set. 2020.

TONINI, H.; INAVOV, G. B.; FLEIG, F. D. Fatores edafoclimáticos relacionados à produção de sementes em castanhais nativos de Roraima. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1-6, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701553>.

TOURNE, D. C. M.; BALLESTER, M. V. R.; JAMES, P. M. A.; MARTORANO, L. G.; GUEDES, M. C.; THOMAS, E. Strategies to optimize modeling habitat suitability of *Bertholletia excelsa* in the Pan-Amazonia. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 22, p. 1-16, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.5726>.

WADT, L. H. O.; SANTOS, L. M. H.; MAROCCOLO, J. F.; REGO, D. S. G.; SILVA, K. E. **Panorama geral da produção extrativista de castanha-da-amazônia no estado de Rondônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2019. 39 p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 166). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112174>. Acesso em: 20 set. 2020.

WADT, L. H. O. **Potencial florestal de produtos não madeireiros prioritários do estado do Acre castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*)**. In: ACRE (Estado). Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico do Acre fase II: documento síntese**. Escala 1 : 250.000. Rio Branco, AC: Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento Econômico-Sustentável, 2006.

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

Capítulo 8

Modelagem das relações bióticas e abióticas que influenciam a produção de frutos

Anderson Pedro B. Batista; Marcelino Carneiro Guedes; Camila Santos da Silva; Géron Rodrigues do Santos; Karine Dias Batista; Kátia Emidio da Silva; Lúcia Helena de Oliveira Wadt; Lucielio Manoel da Silva; Marcos Gervasio Pereira; Raimundo Cosme de Oliveira Junior; Patrícia da Costa; Carolina Wolkmer de Castilho.

Introdução

Acastanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*) é um ícone da região, principalmente pelas possibilidades de uso múltiplo da espécie e, mais especificamente, pela importância de suas amêndoas para os povos e as comunidades agroextrativistas tradicionais. A castanheira também se destaca como espécie motivadora da criação de várias áreas protegidas na Amazônia e, conseqüentemente, por sua contribuição para a conservação da floresta em pé.

Dada a importância das amêndoas da castanheira-da-amazônia para as famílias extrativistas e para a conservação da floresta, estudos que demonstrem o comportamento ecológico da espécie bem como os fatores que afetam a produção de frutos são importantes para orientar ações de manejo e conservação. Nesse sentido, já foram confirmadas relações da produção de frutos, no nível individual e regional, com atributos específicos, considerando tanto variáveis da própria árvore (dendrométricas) quanto atributos edafoclimáticos dos locais onde elas se encontram. No entanto, o desafio de identificar os fatores associados com a variação da produção de frutos se torna muito maior quando se considera a ação conjunta de vários fatores, a elevada variabilidade geográfica da região de ocorrência das castanheiras e as diferentes alterações causadas pelas mudanças climáticas.

O entendimento adequado na variação da produção é fundamental para o manejo da espécie, para evitar a superexploração e não comprometer a sustentabilidade ecológica do extrativismo. Esse conhecimento sobre a variação na produção de frutos entre castanheiras também é importante para selecionar matrizes de alta produção, visando à produção de mudas. Assim, trabalhos científicos que investiguem os fatores que determinam a produção de frutos, popularmente chamados de ouriços (Figura 1), são requeridos para auxiliar no entendimento da ecologia da espécie para sua efetiva conservação, manejo e melhoramento.

Fotos: Marcelino Guedes e Karine Battista



Figura 1. Copas de castanheiras-da-amazônia com e sem frutos. Os frutos são chamados popularmente de ouriços. Imagens feitas no Amapá e em Roraima.

Existem castanheiras com elevada capacidade de produção, que chegam a produzir mais de mil frutos em uma safra. Por outro lado, também existem castanheiras que envelhecem e morrem sem produzir nenhum fruto. Essa intensa variação dificulta as análises estatísticas, obriga e desafia os pesquisadores a testarem diversos modelos para auxiliar na identificação e interpretação dos padrões existentes. A ferramenta de modelagem pode auxiliar no entendimento dos fatores que afetam a variação da produção de frutos, uma vez que aborda de forma integrada diversos fatores e tipos de variáveis de resposta. Para analisar esses fatores, necessita-se de modelos complexos, que possam separar o quanto cada fator responde pela variância existente no conjunto de dados. Além disso, alguns atributos podem apresentar dependência espacial, devendo, portanto, ser devidamente tratados com ferramentas da geoestatística. A abordagem da dependência espacial para modelar a produção individual de frutos envolve, principalmente, atributos do solo e elevação no terreno.

A modelagem simples e a complexa têm sido usadas para modelar a produção de frutos nas regiões da Amazônia, Ocidental e Oriental. Estudos realizados nas duas últimas décadas (Tabela 1) têm gerado bons indícios para entendimento da variação da produção e para desvendar os mistérios da produção individual de frutos da castanheira-da-amazônia.

Considerando os resultados disponíveis na literatura, é possível verificar que ainda existe o desafio de expandir a aplicação dos modelos para áreas maiores e escalas mais ampliadas, analisando também outros possíveis fatores preditivos. Assim, o objetivo deste capítulo é apresentar resultados e ferramentas para modelagem da variação local na produção de frutos da castanheira-da-amazônia, assim como discutir e aplicar novas possibilidades de análises integradas para explicar essa variação. Pretende-se também apresentar algumas considerações, questionamentos e recomendações práticas ao final do capítulo, para motivar técnicos e produtores a monitorarem e analisarem sua produção, visando manter e ampliar esse patrimônio dos extrativistas de castanha.

Tabela 1. Pesquisas que analisaram variáveis bióticas e/ou abióticas para identificar relações com a produção de frutos de castanheiras-da-amazônia

Referência	Região	Estado	Tipo de modelagem/ análise	Variáveis analisadas	Resultados destaques
Wadt et al. (2005)	Amazônia Ocidental	Acre	Regressão linear múltipla	DAP, classes de produção, forma e posição da copa, infestação de cipó na copa e tronco.	DAP explicou a variação da produção (33%) e a forma da copa; também foi importante para explicar a variação da produção de árvores grandes (DAP > 100 cm). Os resultados também demonstraram uma correlação negativa significativa, com presença de cipós na copa.
Kainer et al. (2007)	Amazônia Ocidental	Acre	Modelo misto	DAP, posição e forma da copa, presença de lianas e grupos de atributos físicos e químicos do solo.	DAP explicou cerca de 56,5% da variação da produção de frutos.
Tonini et al. (2008)	Amazônia Ocidental	Roraima	Correlação	DAP, classes de produção, variáveis morfométricas, posição sociológica, forma e presença de cipós na copa.	As árvores mais produtivas apresentam copas mais compridas e menor relação altura/diâmetro. Árvores nas posições superiores do dossel e com copas bem formadas são mais produtivas.
Paiva (2009)	Amazônia Oriental	Amapá	Componentes principais e regressão linear e quadrática	DAP, forma e posição da copa, infestação por cipó, classes de produção e classes de DAP.	As classes de maior produção de frutos estão relacionadas às classes de maior DAP, bem como à forma e posição da copa. Relação positiva não linear entre a produção e o DAP das árvores.

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Referência	Região	Estado	Tipo de modelagem/ análise	Variáveis analisadas	Resultados destaques
Batista (2018)	Amazônia Oriental	Amapá	Modelo linear generalizado e geoestatística	Atributos do solo (físico-químico), vegetação do entorno (riqueza, diversidade, área basal, DAP, localização da árvore (coordenadas))	Variáveis do solo apresentaram dependência espacial. DAP, posição da castanheira e vários atributos do solo foram importantes para explicar a variação.
Batista et al. (2019)	Amazônia Oriental	Amapá	K de Ripley bivariada	Localização espacial das árvores e classes de produção de frutos	O ambiente influenciou de forma distinta na variação da produção de frutos. Na transição cerrado-floresta, foi detectada associação espacial negativa das castanheiras nas diferentes classes de produção.
Tonini et al. (2020)	Amazônia Oriental	Mato Grosso	Regressão	Peso seco de sementes, DAP, posição e formato da copa	O DAP explicou 34% da variação no peso seco de sementes.
Staudhammer et al. (2021)	Amazônia Ocidental	Acre	Modelo misto	Tamanho, forma e posição da copa, área do alburno, local, ano de frutificação, DAP, presença de cipó, elevação do local	O tamanho da copa foi o melhor preditor da produção de frutos para os modelos estudados.
Batista et al. ¹	Amazônia Oriental	Amapá	<i>Random Forest</i> e geoestatística	Atributos do solo (físico-químico), vegetação do entorno (riqueza, diversidade, área basal, DAP, localização da árvore (coordenadas))	Atributos do solo (físico-químico) e DAP foram importantes para explicar a variação da produção de frutos no Acre, no Amapá e em Roraima.

Nota: ¹ Artigo em processo de finalização para publicação.

Relações bióticas com a produção de frutos

Os primeiros estudos científicos relacionando fatores bióticos com a produção de frutos da castanheira-da-amazônia são aqueles relacionados com o trabalho de Wadt et al. (2005). Esse grupo de pesquisa monitora a produção de castanheiras na Reserva Extrativista (Resex) Chico Mendes, no Acre, Amazônia Ocidental, desde 2001. Utilizando regressão linear múltipla, avaliaram as seguintes covariáveis do modelo: DAP (diâmetro à altura do peito), classes de produção, presença de cipó na copa e no tronco da árvore, e forma e posição da copa, contando com uma base de dados de 140 árvores produtivas. Os autores observaram que, quanto maior o diâmetro do tronco, melhor a posição sociológica e a forma da copa, o que implica maior produção de castanhas. Adicionalmente, destacaram que a proporção da variação na produção de castanhas explicada pelo diâmetro do tronco foi de 37,2%, evidenciando a importância dessa variável para explicar a produção individual de cada árvore. Nesse trabalho, o corte de cipós lenhosos (lianas) foi recomendado como um possível tratamento silvicultural para aumentar a produção, visto que os cipós espalham seus ramos pelas copas das árvores, competindo por luz. Essa prática também foi recomendada por Zuidema (2003), que analisou o impacto da competição de cipós na produção de frutos da castanheira-da-amazônia em florestas na Bolívia.

Em 2006, foi publicado outro estudo sobre o efeito da presença de lianas no crescimento em diâmetro e atributos de copa, em associação com a produção de frutos e castanhas-da-amazônia (Kainer et al., 2006). Seus resultados mostraram que não foi encontrada relação estatisticamente significativa entre a presença de lianas e o crescimento em diâmetro das árvores, sugerindo que os benefícios do corte das lianas são relacionados mais com a fecundidade e a produção de frutos e sementes.

As investigações sobre fatores que afetam a produção de frutos prosseguiram e, em 2007, Kainer et al. (2007), também na Resex Chico Mendes, avaliaram a produção de frutos e sementes de árvores da castanheira-da-amazônia por meio de modelagem mista. Os autores observaram que, mais uma vez, o diâmetro do tronco foi a variável de maior importância, explicando sozinha 56,5% da variação da produção de frutos. Vale mencionar que o modelo utilizado por esses autores explicou 73% da variação da produção de frutos ao longo de cinco anos de monitoramento. Na composição do modelo, também foram utilizadas covariáveis quantitativas da própria árvore, covariáveis categóricas (posição e forma da copa, presença de lianas) e grupos de atributos físicos e químicos do solo.

Tonini et al. (2008), trabalhando em florestas nativas no sul de Roraima, constataram que as seguintes variáveis apresentam correlação significativa com a produção de frutos e sementes de castanheira-da-amazônia: diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), tipo morfológico da espécie, posição sociológica, forma e área da copa, área e presença de cipós na copa. Os autores amostraram de forma aleatória 88 árvores, agrupadas em quatro categorias de produção, e em cada árvore foram medidos: DAP, altura total, altura de inserção da copa e comprimento da copa. Os índices morfométricos utilizados foram baseados no tamanho e na morfologia da árvore, sendo: proporção de copa; relação altura/diâmetro; índice de saliência; índice de abrangência; e forma da copa – estes índices estão detalhados em Tonini et al. (2008). Os autores confirmaram a relação significativa entre produção de castanhas por árvore com comprimento, diâmetro, forma e exposição da copa/posição sociológica (diferentes estratos verticais da floresta – a maioria dos pesquisadores tem utilizado três estratos: superior, médio e inferior), bem como com os índices morfométricos (índice de abrangência e relação altura/diâmetro).

Esses autores foram os primeiros a inserir na modelagem variáveis derivadas de cálculos entre os atributos originais, que podem ajudar a encontrar padrões muitas vezes não observados em variáveis individualizadas. Nesse caso, o índice de saliência (relaciona o diâmetro da copa e o DAP, demonstrando quantas vezes o diâmetro da copa é maior que o DAP) e a relação altura/diâmetro foram significativos, reforçando a importância de se ter uma copa bem formada e emergente para se ter uma boa produção, não necessariamente em uma relação direta com o DAP. As árvores de tamanho intermediário (DAP entre 80 e 150 cm) foram as mais produtivas, confirmando que a relação positiva da produção com o DAP não é linear, como descrito por Kainer et al. (2007) e Paiva (2009), e que a produção pode depender mais dos atributos da copa do que do próprio DAP. Dessa forma, os autores concluíram que a posição sociológica e a forma da copa têm influência sobre a produção de castanha, visto que as árvores nas posições superiores do dossel e com copas bem formadas, de forma circular, são mais produtivas.

Esses estudos contribuíram muito para o entendimento inicial das relações de fatores bióticos com a produção individual de frutos de castanheira-da-amazônia. No entanto, ainda havia lacunas no que diz respeito a fatores bióticos em outras regiões. Dessa forma, as investigações sobre relações de fatores bióticos com a produção de frutos se estenderam para a Amazônia Oriental, especificamente no Amapá e Pará.

Na Amazônia Oriental, as primeiras pesquisas sobre a relação de fatores bióticos com a produção de frutos da castanheira foram os estudos realizados por Paiva (2009) e Aparício (2011), na Resex do Rio Cajari, no sul do Amapá. Na pesquisa realizada por Paiva (2009), foi utilizada a análise de componentes principais e de regressão para relacionar a produção de frutos aos atributos das castanheiras, confirmando os padrões até então observados na Amazônia Ocidental – classes de maior produção de frutos estão relacionadas às classes de maior diâmetro das árvores da espécie e às melhores classes de forma e posição da copa. Com modelos de regressão linear e quadrática, foi constatada, mais uma vez, a associação positiva entre a produção e o diâmetro do tronco. Porém, os resultados apresentaram baixo poder preditivo ($R^2 < 0,2$) para ambos os modelos, evidenciando que as maiores produções não são encontradas nas castanheiras com maior diâmetro, mas, sim, naquelas com diâmetro intermediário, semelhante ao registrado por Kainer et al. (2007) e confirmado por Tonini et al. (2008). Paiva (2009) também confirmou que a presença de cipós afetou negativamente a produção.

Ainda na Resex Cajari, Aparício (2011) observou que a produção das castanheiras apresenta relação direta e negativa com a área basal total (somatório das áreas seccionais das árvores, expresso em m^2/ha) e o número de indivíduos de diferentes espécies vegetais circundantes, indicando a influência negativa da competição de árvores vizinhas na produção. Um estudo de dez anos realizado no Acre por Staudhammer et al. (2021) mostrou, por meio de modelos mistos com medidas repetidas, que há uma relação positiva entre a área do alburno (parte externa, mais nova e funcional da madeira) da árvore e a produção de frutos em anos de seca severa (piores condições ambientais). Os autores associaram a resistência à seca das castanheiras com maior área de alburno à maior capacidade de armazenamento de água no tronco.

Recentemente, Tonini et al. (2020) avaliaram a variação anual da produção e produtividade de castanheiras-da-amazônia em floresta nativa, verificando, por meio de regressão, as associações existentes entre peso seco de sementes (PSS) por árvore e DAP, posição e formato da copa, e número de frutos. Os resultados da pesquisa mostraram, mais uma vez, a importância do DAP, pois, sozinha no modelo, essa variável explicou 34% da variação do peso seco de sementes.

Apesar de ter sido verificado que as relações de fatores bióticos com a produção de frutos podem variar em um mesmo local, de maneira geral, para diferentes castanhais dentro de uma mesma região, percebe-se que os estudos realizados,

tanto na Amazônia Ocidental quanto na Amazônia Oriental, encontraram resultados semelhantes. Esses resultados confirmam, complementam e validam alguns fatores que afetam a produção de frutos da castanheira-da-amazônia, com destaque para as variáveis DAP e os atributos da copa. Vale mencionar que os estudos apontam para a importância da utilização de variáveis abióticas do ambiente na modelagem, pois essas variáveis, como os atributos relacionados à qualidade do solo e à posição da árvore no terreno, ajudam a explicar os fatores que afetam de forma significativa a produção de frutos.

Relações de fatores abióticos com a produção de frutos

As primeiras evidências de relações de variáveis abióticas com a produção de frutos da castanheira-da-amazônia foram levantadas em pesquisa realizada por Kainer et al. (2007) na Resex Chico Mendes, Acre, Amazônia Ocidental, na qual foi avaliada a correlação dos atributos químicos do solo com a produção de frutos. Na composição do modelo, foram utilizadas a variável quantitativa da própria árvore (DAP), variáveis categóricas (forma da copa, presença de lianas) e atributos do solo (P e CTC). Esse modelo misto explicou 73% da variação da produção de frutos ao longo de cinco anos de monitoramento da produção (2002 a 2006). Os autores encontraram correlação negativa da produção com o teor de fósforo (P) no solo e correlação positiva com a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo. Por outro lado, os autores observaram que a concentração de P foliar está correlacionado, positiva e linearmente, com o número de frutos produzidos ($r = 0,41$). Esses resultados indicam que maiores cargas de frutos demandam maior absorção de fósforo (P) pelas raízes, o que pode levar à diminuição do teor disponível no solo e aumento do teor nas folhas. Em outro estudo na Amazônia Ocidental realizado por Batista et al. (2014), foram correlacionados teores de macro e micronutrientes presentes nos frutos, nas cascas e nas folhas, com a produção de frutos por árvore, verificando correlação linear positiva entre o teor de cobre (Cu) presente nos ouriços e a produção ($r = 0,85$).

Na Amazônia Oriental, no Amapá, Aparício (2011) identificou a influência de atributos químicos do solo na produção de frutos, principalmente aqueles relacionados à sua acidez, e encontrou efeito positivo na produção. Também em áreas do Amapá, Batista (2018) realizou uma modelagem da produção de frutos tendo como covariáveis do modelo valores de atributos de solo (química e física, incluindo diferentes capacidades – tensões de retenção de água no solo) e da vegetação

arbórea encontrada no entorno das castanheiras – área basal (G) e riqueza de espécies (S). Os valores dessas covariáveis foram obtidos a partir do mapeamento da distribuição espacial, por meio de técnicas geoestatísticas, e, posteriormente, foram associadas à localização (coordenadas geográficas), DAP e produção de frutos de cada árvore. Para análise dos dados, foi utilizada a modelagem linear generalizada (MLG), que é uma abordagem alternativa para dados quando as suposições usuais de normalidade e variância constante não são satisfeitas. A seleção das covariáveis foi feita pelo método de eliminação de variáveis *Stepwise regression*, em conjunto com o critério de seleção de Akaike (AIC), que é uma métrica que avalia a performance de um modelo estatístico, sendo selecionadas somente as variáveis que mais contribuíram para o modelo proposto e com o menor AIC. Assim, a equação ajustada selecionou 12 variáveis importantes (do total de 21) para explicar a variação da produção de frutos, as quais foram: as coordenadas de localização (X e Y), o DAP da árvore (DAP), o teor de zinco no solo (Zn), a densidade do solo (ds), o teor de magnésio (Mg), a densidade de partículas (dp), o teor de carbono (C), o teor de argila, a água no solo, a microporosidade do solo e o teor de cálcio no solo (Ca). Foi verificado que o número esperado de frutos se eleva com o aumento do DAP, o teor de magnésio, o carbono, a microporosidade do solo, a água no solo e a densidade de porosidade e coordenadas (X e Y). No entanto, a produção de frutos diminuiu com o aumento do teor de zinco, cálcio, densidade do solo e teor de argila.

O modelo desse estudo explicou 70% da variação da produção de frutos. Nele, foram consideradas as coordenadas geográficas e a posição das castanheiras como possíveis variáveis explicativas, além de técnicas de krigagem (interpolador geoestatístico de dados para locais não amostrados). Ou seja, foram estimados os valores das covariáveis para toda a parcela e realizada a extração de atributos na mesma localização geográfica das castanheiras. Isso melhorou a performance do modelo e indicou a importância de se considerar a dependência espacial e as análises espacialmente explícitas na modelagem da produção de castanha.

Essa questão da posição espacial das castanheiras como fator importante na determinação da produção de frutos já havia sido identificada, de certa forma, por Zeidmann et al. (2014), Thomas et al. (2017) e, mais recentemente, Staudhammer et al. (2021). Nesses estudos, a posição das castanheiras no terreno, avaliada como elevação ou altitude, foi positivamente correlacionada com a produção de frutos em árvores individuais.

As técnicas que envolvem a geostatística para os fatores espacialmente dependentes podem ser ampliadas de forma a incluir a linguagem da inteligência artificial no treinamento e aprendizado de máquinas. Em uma abordagem multivariada espacialmente explícita dos atributos físicos e químicos do solo, com a produção de frutos por meio da implementação de aprendizado de máquinas, análises em andamento na Amazônia Oriental, no Amapá, por meio do algoritmo *Random Forest* (RF), encontraram 12 variáveis significativas na predição da produção de frutos, de acordo com a seguinte ordem de importância: água no solo (na tensão de 10 kPa), coordenada de localização (Y) da árvore, densidade de partículas (dp), DAP das árvores produtivas, teor de argila (Arg), água no solo (na tensão de 1.500 kPa), teor de magnésio (Mg), cálcio no solo (Ca), pH, microporosidade, coordenada de localização (X) da árvore e teor de fósforo no solo (P). Vale mencionar que as variáveis utilizadas para essas análises foram as mesmas utilizadas por Batista (2018), sendo que 70% da base de dados foi utilizada para treinamento do algoritmo RF e o restante (30%) para validação. O modelo RF foi escolhido como método de análise devido ao seu potencial de apresentar relações não lineares entre as variáveis, característica similar ao MLG, utilizado por Batista (2018). Importante ressaltar que os dados das covariáveis foram provenientes da distribuição espacial por meio de krigagem ordinária – mais detalhes sobre a interpolação dos dados e do uso das técnicas de análise espacial podem ser obtidos em Batista (2018).

O modelo RF ajustado para este capítulo (Batista et al., pesquisa em andamento) foi calculado com os parâmetros de 800 árvores de decisão e 15 variáveis aleatórias por *split* (divisão). A importância das variáveis do RF foi dada pelo decréscimo médio de Gini, que descreve a perda no desempenho do modelo ao permutar os valores das características (Breiman, 2001). Os resultados encontrados foram significativos, visto que o algoritmo RF se ajustou bem aos dados de treino ($R^2 = 80\%$ e raiz quadrada do erro médio – RMSE = 89,45); no entanto, não teve um bom desempenho com os dados de teste ($R^2 = 33\%$ e RMSE = 62,93). Isso pode ser um indicativo de que a calibração do modelo RF apresenta dificuldades na representação do fenômeno. Além disso, os resultados podem ser um indicador da insuficiência amostral, de forma que a repetição do estudo deveria acontecer com uma maior intensidade amostral.

A Figura 2 mostra os resultados da árvore de decisão que prevê a produção de frutos, no local de estudo, com base nas variáveis importantes do modelo RF. O primeiro nível (raiz) identificado foi o teor de argila no solo (em g kg^{-1}), sendo que as árvores (22%) localizadas em solos com teores de argila menores que 150 g kg^{-1}

apresentaram produção média de 299 frutos. Para o segundo nível, quando o teor de argila no solo for maior ou igual a 150 g kg^{-1} e o DAP for maior ou igual a 138 cm , a produção média é de 154 frutos (29% das árvores). Também pode ser observado que, se as árvores estão localizadas em solo com teor de argila maior ou igual a 150 g kg^{-1} e apresentam o DAP menor que 138 cm e água no solo (a 10 kPa) maior ou igual a $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, elas apresentam produção média de 30 frutos (18% das árvores). Em contrapartida, as árvores em locais com água no solo menor que $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ produzem mais frutos (em média, 104 m^3).

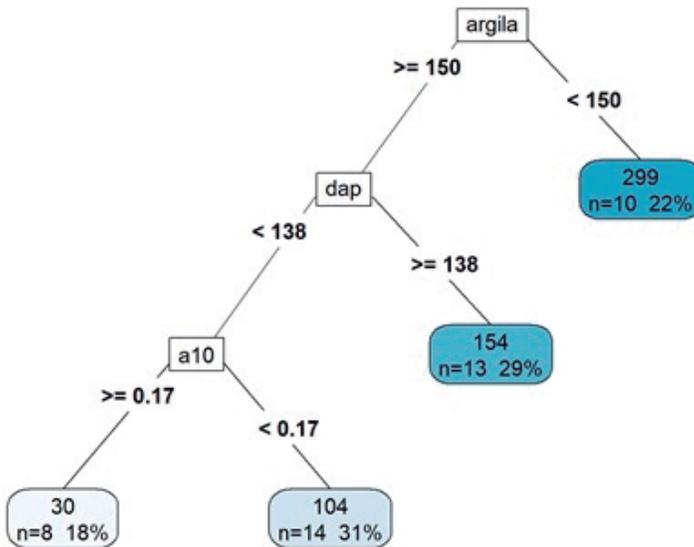


Figura 2. Árvore de regressão do algoritmo RF para as variáveis de atributos de solo (argila g kg^{-1}), dendrométricos (DAP) e água no solo na tensão de 10 kPa (a10). Essas variáveis são consideradas as mais importantes para explicar a produção de frutos de castanheiras-da-amazônia na Amazônia Oriental, Amapá.

Em síntese, as variáveis importantes para a produção de frutos por árvore individual encontradas na modelagem realizada por Batista (2018), utilizando MLG, e que também foram importantes nas análises pelo algoritmo RF, foram: água no solo, DAP da árvore produtiva, coordenadas de localização das árvores produtivas, teor de argila, densidade de partículas, teor de magnésio, cálcio e microporosidade. Portanto, os resultados ratificam, por meio de duas metodologias distintas, que essas variáveis foram determinantes para explicar a variação da produção de frutos da castanheira-da-amazônia.

Em 2019, Batista et al. (2019) realizaram uma pesquisa inédita em área de floresta madura de terra firme (floresta ombrófila aberta) e em área de transição savana-floresta, a qual investigou a associação espacial (atração ou repulsão) de árvores produtivas nesses diferentes ambientes na Amazônia Oriental, Amapá. Nesse estudo, foi comprovado que, na floresta de transição savana-floresta, existe relação da produção de frutos com a localização espacial das árvores, tendo sido encontrado um efeito de inibição entre árvores de diferentes classes de produção. Em outras palavras, as árvores mais produtivas (de acordo com as classes de produção avaliadas no estudo) inibem as árvores menos produtivas ao seu redor, de acordo com as distâncias umas das outras. No entanto, foi verificado que a castanheira-da-amazônia em ambiente de floresta madura de terra firme, ambiente esse com maior capacidade de suporte e solo de melhor qualidade para as castanheiras do que na transição savana-floresta, não apresentou relação espacial entre árvores produtivas. Vale destacar que os ambientes avaliados apresentam densidades diferentes de castanheiras, o que sugere que a competição entre árvores por recursos seja um fator importante. Os autores concluíram que existem influências espaciais na produção de frutos de castanheira-da-amazônia relacionadas à densidade e à proximidade entre castanheiras, mas que estas são dependentes de características locais do ambiente. Dessa forma, este trabalho revelou outras possibilidades de modelagem espacial da produção, que envolveram o uso da função K de Ripley bivariada para avaliar as variações espaciais da produção em diferentes ambientes, conforme descrito em Batista et al. (2019).

Portanto, foi verificado que existem relações de fatores abióticos com a produção de frutos para diferentes castanhais e regiões distintas da Amazônia. Os resultados evidenciaram fatores que afetam a produção de frutos da castanheira-da-amazônia, principalmente os atributos relacionados à qualidade do solo e à posição da árvore no local.

Análise de dados da rede kamukaia

O projeto Kamukaia foi iniciado em 2005 com o objetivo de gerar informações científicas para responder demandas da sociedade sobre o uso sustentável de produtos florestais não madeireiros (PFNM) na Amazônia. O termo deriva de *kamuk* e *aka*, duas palavras da língua indígena wapixana, que significam produtos da floresta. A rede busca bases científicas necessárias ao desenvolvimento do manejo sustentável de PFNM, integrando diversos parceiros na região amazônica, além da valorização do conhecimento empírico por meio do intercâmbio de saberes com

comunidades tradicionais. Tem como objetivo principal gerar conhecimentos sobre a ecologia e o manejo das principais espécies demandadas na extração de PFNM, entre as quais a castanheira. No final do ano passado, foi concluída sua terceira fase.

Nas análises preliminares, ainda não publicadas, foram utilizadas ferramentas de geoestatística (semivariograma), aplicadas aos dados das parcelas permanentes da rede Kamukaia em diferentes estados da Amazônia. A variável de resposta quantificada foi a produção efetiva, aquela que fica disponível à coleta dos extrativistas após o término da queda dos frutos. Portanto, é importante ressaltar que essa variável não representa o potencial biológico da espécie, pois há predação de frutos na árvore, principalmente por araras (*Ara chloropterus*), assim como remoção durante a dispersão, principalmente pelas cutias (*Dasyprocta leporina*).

O intuito das análises realizadas com os dados da rede Kamukaia sobre a castanheira-da-amazônia foi verificar padrões na produção de frutos e nas relações com as variáveis explicativas existentes ao longo da região amazônica. Espera-se, com esse estudo, ter uma maior consolidação sobre os fatores relacionados às variações locais no solo, atributos da própria castanheira e da vegetação matriz (floresta de entorno), que são mais importantes para explicar a variação na produção de frutos, no nível da árvore individual. Assim, o entendimento aqui gerado sobre os fatores relacionados com a produção será transformado em recomendações de práticas e novos testes necessários ao manejo, ao melhoramento e à conservação da espécie, de modo que possam ser considerados na cadeia de valor da castanha-da-amazônia.

A primeira análise dos dados de todos os estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Roraima) verificou a continuidade espacial de todas as variáveis do banco de dados de atributos físicos e químicos do solo (total de 27 variáveis) e posição geográfica das árvores da espécie (coordenadas). Essa fase consistiu em verificar quais variáveis se apresentam espacialmente estruturadas quando se altera a distância. Essa análise de dependência espacial serviu como critério de seleção de variáveis para, posteriormente, identificar relação com a produção de frutos.

Para os dados coletados no Acre, oito variáveis mostraram dependência espacial, de acordo com as análises realizadas e os parâmetros utilizados. Para os dados coletados no Amapá, apenas seis variáveis apresentaram dependência espacial. No Amazonas, sete variáveis, e no Mato Grosso, apenas três variáveis. A análise dos dados do sítio localizado no Pará permitiu a seleção de apenas quatro variáveis e no sítio de Roraima foram selecionadas quinze variáveis com continuidade espacial (Tabela 1).

Tabela 2. Variáveis do solo que, por meio de técnicas geoestatísticas (semivariograma), apresentaram continuidade espacial (+) e foram selecionadas para verificar relação com a produção de frutos de castanheiras-da-amazônia.

Atributos do solo	Estados					
	Acre	Amapá	Amazonas	Mato Grosso	Pará	Roraima
pH	+		+			+
Ca	+					
Mg			+			
K			+			
P			+			
Al						
H+Al		+	+			
N						
Se		+		+		
Mn						
Cu	+	+		+		
CTC efetiva (t)	+				+	
Areia total	+	+			+	
Argila	+	+		+		
Al	+		+			
Zn		+			+	
MO			+			
Silte					+	
Na						+
C						+
M						+
Areia grossa						
Areia fina						
Textura						
CTC potencial (T)						
V						
Fe						

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados da Rede Kamukaia.

Com as variáveis selecionadas (Tabela 1), foram realizadas análises de modelagem para verificar relação com a produção de frutos e, assim, atestar quais podem explicar a variação na produção individual. Essa fase consistiu em utilizar aprendizado de máquinas do algoritmo *Random Forest* – RF (Breiman, 2001), mas a análise só foi possível para Amapá, Acre e Roraima, pois os demais estados não dispuseram, naquele momento, de dados de produção individual de frutos para aplicação do algoritmo.

A partir das variáveis selecionadas pelo critério de dependência espacial (geoestatística), os resultados encontrados pela modelagem RF para as árvores no Amapá mostraram uma performance de $R^2 = 0,17$, ou seja, a variação das covariáveis do modelo RF – zinco (Zn), cobre (Cu), selênio (Se), areia total, argila e acidez potencial (H+Al) – explicaram 17% da variação da produção de frutos, com RMSE (raiz quadrada do erro médio) de 107,22.

Para as análises de modelagem RF com os dados de atributos físicos do solo e produção de frutos em Roraima, a partir de cinco variáveis – água no solo, densidade do solo (ds), densidade de partículas (dp), micro e macroporosidade – e teste com 55 árvores produtivas, a qualidade do ajuste foi de $R^2 = 0,55$, com RMSE de 162,69, sendo as variáveis por ordem de importância no modelo RF: macroporosidade, água no solo, ds, microporosidade e dp. Esses resultados demonstram que a água no solo e os atributos físicos foram importantes para explicar a variação da produção.

Já para o Acre, em uma base de teste com 37 árvores produtivas com produção de frutos ao longo de cinco anos de monitoramento (2010 a 2015) e 28 variáveis de atributos físico-químicos do solo e o DAP das árvores, a qualidade do ajuste foi de $R^2 = 0,87$, com RMSE de 77,56. Foi observado que as dez variáveis por ordem de importância no modelo RF foram: pH, DAP, areia grossa, cobre (Cu), areia fina, potássio (K), alumínio (Al), fósforo (P), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V).

Os resultados de desempenho do modelo RF foram inferiores aos encontrados nas análises realizadas com a base de dados utilizada por Batista (2018), que utilizou valores de DAP das árvores produtivas e atributos de solo (química e física) e da vegetação arbórea do entorno – área basal (G) e riqueza de espécies

(S) –, obtidos a partir do mapeamento da distribuição espacial por meio de técnicas geoestatísticas. Portanto, a partir das modelagens já realizadas e publicadas bem como dos estudos em andamento com metodologias inovadoras de aprendizado de máquinas e modelos generalizados, foi possível verificar e confirmar a importância dos atributos físico-químicos do solo para explicar a variação na produção de frutos da castanheira-da-amazônia, especialmente:

– Água no solo, teor de argila, densidade de partículas (dp), teor de magnésio (Mg), teor de cálcio (Ca) e microporosidade do solo, que foram importantes na modelagem MLG (Batista, 2018) e no algoritmo RF (resultados não publicados) para explicar a variação na produção de frutos para as castanheiras no Amapá.

– Água no solo e variáveis de física do solo (macro e microporosidade, densidade do solo e partículas), importantes para explicar a variação da produção de frutos nas castanheiras em Roraima.

– O pH, cobre (Cu), potássio (K), alumínio (Al), fósforo (P), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V), areia grossa, areia fina, importantes para explicar a variação da produção de frutos nas castanheiras no Acre.

– Foi verificado que o teor de fósforo (P) disponível no solo apresenta relação negativa e relativa importância na explicação da variação da produção individual de frutos.

– O DAP das árvores produtivas, que se destacou em todos os trabalhos mencionados neste capítulo, sobre relações com a produção de frutos.

– A localização das árvores produtivas (coordenadas X e Y) evidencia que existe relativa importância do contexto espacial para a variabilidade da produção individual de frutos, conforme os modelos MLG e RF e verificado também por meio da função K bivariada para as castanheiras no Amapá por Batista et al. (2019).

– A altitude e a área do alburno foram importantes para a estimativa da produção de frutos, com destaque para o tamanho da copa, conforme resultados de Staudhammer et al. (2021).

Tabela 3. Principais relações positivas e negativas de variáveis preditoras bióticas e abióticas com a variável-resposta da produção de frutos de castanheiras-da-amazônia.

Variáveis que demonstraram relação com a produção de frutos da castanheira-da-amazônia	Efeito na produção de frutos
DAP	Positivo (+)
Área da copa	Positivo (+)
Área do alburno	Positivo (+)
Teor de magnésio	Positivo (+)
Teor de carbono	Positivo (+)
Microporosidade do solo	Positivo (+)
Água no solo	Positivo (+)
Capacidade de troca de cátions (CTC) do solo	Positivo (+)
Teor de fósforo (P) disponível no solo	Negativo (-)
Teor de zinco (Zn) disponível no solo	Negativo (-)
Teor de cálcio (Ca) disponível no solo	Negativo (-)
Teor de argila	Negativo (-)
Densidade do solo	Negativo (-)
Presença de cipó na copa	Negativo (-)

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados da Rede Kamukaia.

Considerações finais e recomendações

Este capítulo apresentou contribuições à modelagem da produção de frutos da castanheira-da-amazônia, por meio da relação com fatores bióticos e abióticos. Nas últimas décadas, avanços importantes no conhecimento, no que tange à variação da produção individual de frutos nas diferentes regiões da Amazônia Legal, demonstram que os atributos da própria castanheira, principalmente o DAP e atributos da copa, assim como fatores relacionados às variações locais no solo, são importantes para explicar a variação na produção de frutos no nível da árvore individual. Esse entendimento sobre os fatores relacionados com a produção pode ser aplicado como recomendações de práticas para o manejo e a conservação da espécie em ambientes de florestas nativas, bem como ser aplicados na cadeia de valor da castanha-da-amazônia.

De maneira geral, os atributos das próprias castanheiras são os fatores mais importantes para explicar a variação na produção de frutos, mais do que o lugar

ou as condições em que elas se encontram, indicando que é vantajoso manejar a vegetação do entorno, investir e cuidar das castanheiras, para que elas mantenham a capacidade produtiva. Uma prática recomendada, portanto, é o corte dos cipós grossos competidores, que ficam entrelaçados na copa.

As melhores opções para selecionar matrizes mais produtivas, visando à produção de mudas selecionadas da espécie, são castanheiras com copas bem formadas e posicionadas no dossel, que se encontram em maturidade reprodutiva, na classe diamétrica de 100 cm a 150 cm de DAP, e com maior área de alburno (embora a avaliação desse fator não seja visual). Isso evidencia que é necessário concentrar esforços no mapeamento das regiões mais produtivas e no manejo da vegetação de entorno para que o agroextrativista possa otimizar sua produção de castanha e reduzir custos de coleta.

A localização da castanheira também apresentou importância na definição de sua capacidade produtiva, dependendo do tipo de ambiente, fitofisionomia e/ou solos diferenciados, em que ela está inserida. Aliado a isso, a questão da dependência espacial da variação existente em vários atributos mostra que novos testes e uma nova abordagem, considerando diferentes escalas espaciais, são necessários para as análises da variação na produção por castanheira. Recomenda-se que sejam cada vez mais aplicadas técnicas geoestatísticas para modelar essa variação espacial e definir áreas e regiões com maior produtividade. Esse mapeamento em diferentes escalas (pois não foi verificado um padrão para todos os estados das variáveis com dependência espacial) pode trazer importantes subsídios ao manejo, melhoramento e conservação da espécie, que podem ser aplicados na cadeia de valor da castanha-da-amazônia.

Referências

APARÍCIO, W. C. S. **Estrutura da vegetação em diferentes ambientes na Resex do Rio Cajari: interações solo-floresta e relações com a produção de castanha.** 2011. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

BATISTA, A. P. B. **Modelagem do crescimento e produção de frutos da castanheira da amazônia.** 2018. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BATISTA, A. P. B.; SCOLFORO, H. F.; MELLO, J. M. de; GUEDES, M. C.; TERRA, M. C. N. S.; SCALON, J. D.; GOMIDE, L. R.; SCOLFORO, P. G. V.; COOK, R. L. Spatial association of fruit yield of *Bertholletia excelsa* Bonpl. trees in eastern Amazon. **Forest Ecology Management**, v. 441, p. 99-105, June 2019.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.043>.

BATISTA, K. B.; SILVA, L. M.; WADT, L. H. Correlações entre a produção de frutos e os teores de nutrientes em castanha-do-brasil. *In*: In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 31.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 15.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 10., 2014, Araxá. **Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologias para todos: anais**. Araxá: Núcleo Regional Leste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. Fertbio 2014.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, Oct. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.

PAIVA, P. M. V. **A coleta intensiva e a agricultura itinerante são ameaças para os castanhais da Reserva Extrativista do rio Cajari?** 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá.

KAINER, K. A., WADT, L. H. O.; GOMES-SILVA, D. A. P.; CAPANU, M. Liana loads and their association with *Bertholletia excelsa* fruit and nut production, diameter growth and crown attributes. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 2, p. 147-154, Mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467405002981>.

KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 244-255, Oct. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.024>.

STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; CUNHA, T. A. Comparative models disentangle drivers of fruit production variability of an economically and ecologically important long-lived Amazonian tree. **Scientific Reports**, v. 11, p. 2563, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81948-4>.

THOMAS, E.; VALDIVIA, J.; CAICEDO, C. A.; QUAEDVLIEG, J.; WADT, L. H. O.; CORVERA, R. NTFP harvesters as citizen scientists: Validating traditional and crowdsourced knowledge on seed production of Brazil nut trees in the Peruvian Amazon. **PLoS ONE**, v. 12, n. 8, e0183743, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183743>.

TONINI, H.; KAMINSKY, P. E.; COSTA, P. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 11, p. 1509-1516, nov. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008001100009>.

TONINI, H.; BALDONI, A. B.; BOTELHO, S. C. C. Diameter structure and its relationship with fruit and seed production in a native Brazil nut grove in Mato Grosso. **Floresta**, v. 50, n. 2, p. 1399-1410, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v50i2.64199>.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371-384, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061>.

ZEIDEMANN, V.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C. L. Heterogeneity in NTFP quality, access and management shape benefit distribution in an Amazonian extractive reserve. **Environment Conservation**, v. 41, n. 3, p. 242-252, Sept. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892913000489>.

ZUIDEMA, P. A. **Demography and management of the nut tree (*Bertholletia excelsa*)**. Riberalta, Bolivia: PROMAB, 2003. (Scientific series, 6).

Capítulo 9

Insetos-praga de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) na Amazônia brasileira

Ricardo Adaime: Rodrigo Souza Santos: Cristiane Ramos de Jesus: Adriana Bariani.

Introdução

Nativa da região amazônica, a castanheira-da-amazônia, *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae), apresenta significativa relevância social e econômica para as comunidades locais, decorrente da comercialização de suas castanhas, o produto florestal não madeireiro mais importante da região (Shepard Junior; Ramirez, 2011; Tonini, 2011). Apesar do alto consumo de castanha-da-amazônia no mercado nacional e internacional, pouco se conhece sobre os insetos-praga associados (Santos-silva et al., 2017). Em geral, há apenas registros pontuais de ocorrência de determinada espécie de inseto e descrição dos danos causados, sem estudos aprofundados sobre distribuição geográfica, inimigos naturais e métodos de controle.

Conhecer as espécies de insetos que causam prejuízos econômicos aos castanhais ou às próprias castanhas é o primeiro passo para o desenvolvimento de estratégias eficientes para controlá-los. Por isso, neste capítulo, são brevemente apresentadas as principais espécies de insetos-praga relatadas em *B. excelsa* na Amazônia brasileira até o momento. Tais insetos podem ocorrer durante o desenvolvimento da planta em condições de campo (formigas, cupins, lagartas, besouros e gafanhotos), seja castanhal nativo, seja cultivado, e durante o armazenamento das castanhas (traça-das-farinhas, besouro-da-farinha e broca-do-café). Algumas pragas ocorrem em surtos, com altos índices populacionais, sendo os fatores que influenciam esses eventos pouco conhecidos. Já as pragas que ocorrem durante o armazenamento se beneficiam das condições inadequadas de ventilação e umidade.

Insetos causadores de danos em castanhais

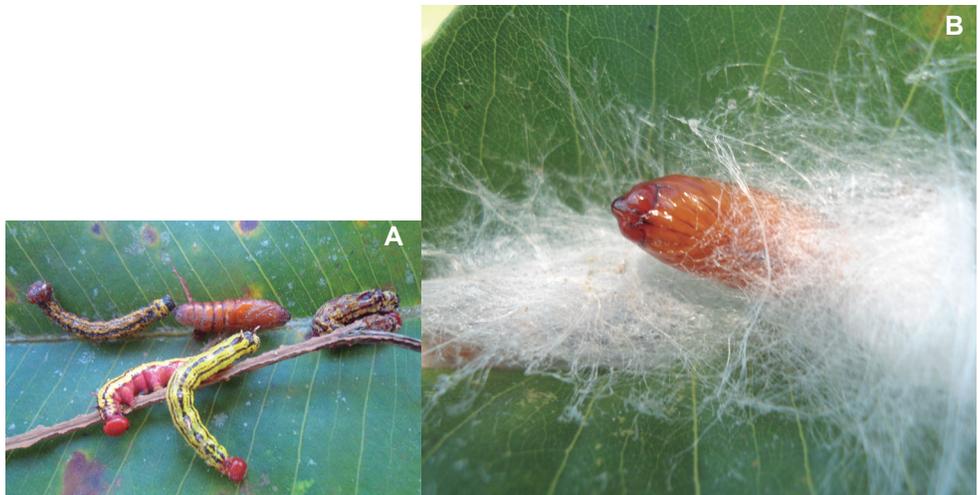
***Lusura chera* (Drury) – Lepidoptera: Notodontidae**

Lusura chera (Drury), referida em trabalhos anteriores pelo sinônimo *Lusura altrix* (Stoll), tem sido reportada consumindo folhas de castanheira na Amazônia brasileira (BECKER, 2014). Thomazini e Reis (2008) reportaram *L. altrix* em castanheiras na área experimental da Embrapa Acre, município de Rio Branco-AC, em 2007. Os caules das castanheiras continham muitas pré-pupas e pupas aderidas, as quais foram coletadas e levadas ao laboratório para obtenção de mariposas adultas. Os autores observaram que as lagartas consomem as folhas novas e as maduras da castanheira, o que causa desfolha moderada. Aparentemente, as lagartas não atacaram plantas de outras espécies. Foram também obtidos exemplares de parasitoides (dípteros Tachinidae e micro-himenópteros), indicando que ocorre controle biológico natural dessas lagartas.

Ronchi-Teles (1991) reportou um ataque de *L. altrix* em castanheira e ingazeiro (*Inga* sp.) em Manaus-AM. Também foi registrada uma epizootia (surto) de vírus da Poliedrose Nuclear (VPN) nas lagartas em ingazeiro, além da presença de himenópteros parasitoides de ovos (*Tetrastichus* sp., Eulophidae) e de lagartas (*Meteorus* sp., Braconidae).

Haugaasen (2009), nas proximidades do lago Uauaçu, na região do baixo rio Purus, Amazonas, reportou outro surto de *L. altrix*. Em uma primeira ocasião, ocorreu um ataque leve em aproximadamente dez plantas, no final de março de 2007. Um ataque mais severo foi registrado no período seco, entre junho e agosto de 2007. Nesse caso, cerca de 80% a 95% das plantas adultas estavam afetadas, com grande quantidade de casulos aderida à casca do caule das castanheiras mais altas. Uma quantidade pequena de casulos foi observada na casca de outras plantas, porém essas plantas não apresentavam desfolha. Na oportunidade, as folhas de castanheira já se encontravam maduras quando consumidas pelas lagartas, pois o evento anual de mudança de folhas naquela região em geral ocorre entre setembro e outubro. Embora sob alta infestação e desfolha de aproximadamente 50% da folhagem total, as castanheiras não abortaram seus frutos. Extrativistas da região relataram ao autor que esses surtos de lagartas ocorrem há décadas, o que reforça a hipótese de se tratar de um inseto que ocorre em surtos populacionais esporádicos. No caso das árvores severamente desfolhadas, eles informaram que elas têm sua produção prejudicada nos anos subsequentes.

Mais recentemente, Santos et al. (2021) reportaram um surto populacional de *L. chera* (Figura 1) em castanheiras no município de Xapuri-AC, sudoeste da Amazônia brasileira. Os autores registraram desfolha acima de 50% nas árvores infestadas (Figura 2), que demonstra o potencial danoso do inseto.



Fotos: Amauri Síviero (A e B); e Eduardo Carneiro dos Santos (C)

C



Figura 1. (A) Lagarta de *Lusura chera*; (B) pupa de *L. chera* envolvida em casulo de teia; e (C) macho de *L. chera* em vista dorsal.



Figura 2. Desfolha causada por lagartas de *Lusura chera* em *Bertholletia excelsa*.

***Tropidacris collaris* (Stoll) – Orthoptera: Romaleidae**

Em 2007, na Reserva Extrativista do Rio Cajari, localizada no sul do Amapá, Silva et al. (2008) reportaram danos do gafanhoto-gigante ou gafanhoto-de-asas-azuis, *Tropidacris collaris* (Stoll), em castanhal nativo. Os autores observaram que as ninfas desses gafanhotos sobem pelo caule das plantas e os gafanhotos adultos alcançam a copa voando. Os ataques concentram-se nas brotações e são mais frequentes no período de mudança das folhas da castanheira, que naquela região ocorre, em geral, de novembro a janeiro. Em ataques severos, as plantas podem ficar totalmente desfolhadas, prejudicando a produção de castanha por dois a três anos consecutivos.

***Hybolabus amazonicus* Voss e *Hybolabus columbinus* (Erichson) – Coleoptera, Attelabidae**

Em 1993, Fazolin e Silva (1995) registraram a ocorrência de danos de *Hybolabus amazonicus* Voss em castanheira na região de Rio Branco-AC, sendo observados picos populacionais na primeira semana de dezembro e outros dois na segunda

quinzena de abril e maio. Os adultos se alimentaram das folhas das castanheiras, realizando raspagens na epiderme dessas folhas na forma de pequenos retângulos que, com o passar do tempo, progrediram para rasgaduras. Tanto as folhas novas como as velhas apresentaram esse sintoma, tendo sido observado que 80% das plantas apresentavam no mínimo 50% da área foliar danificada durante o pico populacional. As fêmeas cortaram as folhas novas e construíram um abrigo, em cujas camadas internas depositaram seus ovos isoladamente.

Garcia et al. (1996) reportaram a ocorrência de *H. amazonicus* e *H. columbinus* (Erichson) danificando as folhas de castanheira cultivada. *Hybolabus amazonicus* foi reportada em um plantio com dois anos de idade, em áreas experimentais do Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental, pertencente à Embrapa, próximo a Manaus-AM. Em outra área, as duas espécies foram observadas em um plantio com 15 anos, próximo a Itacoatiara, também no Amazonas.

As fases de larva e pupa de *H. amazonicus* foram descritas somente em 2020, por Vanin e Bená (2020), a partir de insetos coletados no Acre e Amazonas. Isso demonstra o escasso conhecimento sobre espécies de Attelebidae ocorrentes na Amazônia e no Brasil.

Em altas infestações, esses besouros-enroladores-de-folha causam significativos prejuízos, especialmente em plantas jovens. Os adultos danificam a superfície das folhas novas e maduras, deixando-as rendilhadas. As fêmeas cortam e enrolam folhas jovens durante a construção dos ninhos, onde as larvas completam seu desenvolvimento. Remover os ninhos presos às folhas e aqueles já caídos ao solo é uma medida de controle recomendada (Garcia et al., 1996).

Cupins

Souza et al. (2008), utilizando corpos de prova de cinco essências florestais, concluíram que a castanheira-da-amazônia é uma espécie susceptível ao ataque de *Coptotermes gestroi* (Wasmann) – Blattodea, Rhinotermitidae – por apresentar madeira, em condições de campo, menos resistente em relação às demais espécies utilizadas no ensaio. Em estudo semelhante, realizado por Vasconcelos et al. (2018), corpos de prova de castanheira em condições de campo foram atacados por *Heterotermes tenuis* (Hagen) – Blattodea: Rhinotermitidae. Em castanheiras nativas estudadas na região oeste do Pará, Scoles et al. (2016) verificaram danos severos por térmitas (cupins), embora não citem quais espécies estavam associadas às castanheiras.

Formigas

As formigas cortadeiras são reportadas causando danos em castanheiras, embora com poucos registros na literatura. Chaves (2007) e Souza et al. (2008) relataram que as saúvas (*Atta* spp., Formicidae) são comumente encontradas em castanhais causando desfolha em árvores adultas, além de algumas espécies de saúvas atuarem como predadoras de sementes (Simões, 2004).

Insetos causadores de danos em castanhas armazenadas

***Plodia interpunctella* (Hübner) – Lepidoptera: Pyralidae**

Plodia interpunctella (Hübner), a traça-das-farinhas, é uma espécie cosmopolita, considerada importante praga de diversos produtos armazenados (Na; Ryoo, 2000). Em maio de 2014, Gomes et al. (2015) fizeram o primeiro registro no Brasil da infestação de castanhas-da-amazônia pela traça-das-farinhas. Elas estavam em material armazenado desde a safra de 2013, em sacarias de juta, no município de Itacoatiara-AM. Foram registrados adultos, larvas e pupas em 42% das sacas armazenadas. Pupas foram encontradas nos casulos fixados nas próprias castanhas e no interior da sacaria. Nas sacarias, nas castanhas e nas amêndoas, foram observadas também teias produzidas pelo inseto, agrupadas com excrementos e exúvias (cutículas do exosqueleto). Em uma amostragem mais detalhada, analisando cerca de 10% das castanhas contidas em um saco de 62 kg, verificou-se que 3,19% das castanhas estavam atacadas pelo inseto.

Gomes et al. (2016) detalharam e ilustraram os danos causados pelo inseto. As castanhas atacadas apresentam as amêndoas danificadas, com galerias formadas pelas larvas. Algumas delas têm seu conteúdo completamente consumido. No interior das castanhas, são vistos aglomerados de teias, além de larvas de diferentes tamanhos.

***Tribolium castaneum* (Herbst) – Coleoptera: Tenebrionidae**

Tribolium castaneum (Herbst), o besouro-da-farinha, é um inseto cosmopolita, prevalente principalmente nos trópicos (REES, 1996) e considerado uma praga secundária, visto que as formas adultas e imaturas se alimentam de grãos ou de

sementes previamente danificados nas condições de armazenamento (Pires et al., 2017). Porém, há relatos na literatura que indicam que o inseto pode sobreviver mesmo nos grãos não danificados (White, 1982). Na Amazônia, Sefer (1961) havia feito uma referência ao ataque desse inseto em castanhas-da-amazônia em depósito, considerando-o pouco prejudicial.

Em um experimento em laboratório, Pires et al. (2017) verificaram que tanto as formas adultas quanto as imaturas de *T. castaneum* são capazes de se alimentar de castanhas-da-amazônia sem casca. Os danos observados são na forma de raspagens superficiais, que podem evoluir para galerias e até lesões que alteram a forma original da castanha. Portanto, o inseto provoca danos quantitativos (perda de matéria seca, resultando em perdas de volume e massa) e qualitativos (pode afetar a germinação da semente, depreciando a amêndoa e causando perdas nutricionais).

Deve-se salientar que larvas e adultos não conseguem penetrar na castanha com casca. No entanto, caso haja danos na casca (e.g. trincas decorrentes das etapas de pós-colheita e processamento), os adultos conseguem adentrar. Os autores concluem que, devido à capacidade de *T. castaneum* de provocar danos consideráveis à castanha armazenada, com conseqüente redução no seu valor comercial, ele pode ser listado entre as pragas da cultura. Além disso, deve ser categorizada como praga primária, devido à sua capacidade de iniciar injúrias na amêndoa intacta.

***Hypothenemus hampei* (Ferrari) – Coleoptera: Curculionidae**

Hypothenemus hampei (Ferrari), a broca-do-café, é uma das principais pragas do cafeeiro no Brasil (Cantor et al., 2015). No entanto, no sudeste do Pará, Gumier-Costa (2009) registrou a sua ocorrência em amêndoas armazenadas. O registro foi feito a partir de sementes de castanha-da-amazônia adquiridas em julho de 2006, procedentes do assentamento Bandeirantes, em Marabá-PA. O material foi colhido entre janeiro e fevereiro de 2006, sendo mantido na casa do agricultor, com umidade e controle de temperatura inadequados. Embora tenha sido um registro casual, em que os autores observaram grande quantidade de besouros que deixavam as amêndoas após expô-las à luz solar, eles consideraram que a espécie tem potencial para se tornar um problema para castanhas armazenadas.

Considerações finais

Sendo a castanha-da-amazônia um produto de significativa relevância socioeconômica para os povos locais, é lamentável a escassez de pesquisas com vistas ao monitoramento de pragas, tanto em campo (castanhais nativos ou cultivados) quanto em condições de armazenamento. Além de identificar as espécies que causam prejuízos econômicos, é imperativo que métodos de controle sejam desenvolvidos ou adaptados.

Especial atenção deve ser dada à lagarta *L. chera*, que possui potencial de causar danos consideráveis em decorrência da redução da produção de castanhas nos anos subsequentes às infestações severas. Já *P. interpunctella* e *T. castaneum* podem provocar perdas quantitativas e qualitativas às castanhas armazenadas. Para evitar perdas decorrentes da infestação por essas duas pragas, Gomes et al. (2016) recomendam que sejam seguidas as boas práticas para armazenamento da castanha (Manual..., 2004).

Referências

- BECKER, V. O. Checklist of the New World Notodontidae (Lepidoptera: Noctuoidea). **Lepidoptera Novae**, v. 7, n. 1, p. 1-40, 2014.
- CANTOR, F.; BENASSI, V. L. R. M.; FANTON, C. J.; RODRIGUEZ, D.; CURE, J. R. Broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A. (Ed.). **Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros**. Piracicaba, SP: FEALQ, 2015. p. 577-598.
- CHAVES, N. **Cultivo da castanha-do-Brasil**. Brasília, DF: Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CTD/UnB, 2007. 22 p. (Dossiê Técnico).
- GARCIA, M. V. B.; PAMPLONA, A. M. S. R.; ANDREAZZE, R. **Ocorrência dos besouros enroladores-de-folhas *Hybolabus amazonicus* Voss e *H. columbinus* (Erichson) (Coleoptera, Attelabidae) em castanheira (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Lecythidaceae)**. Manaus: Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental, 1996. 3 p. (Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental. Instruções Técnicas, n. 04).
- FAZOLIN, M.; SILVA, W. S. da. Ocorrência e danos provocados por *Hybolabus amazonicus* Voss (Coleoptera: Attelabidae) em castanheira-do-brasil, em Rio Branco, Acre. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 24, n. 3, p. 655-658, 1995.
- GOMES, F. B.; KRUG, C.; LIMA, R. M. B. **Castanha-do-Brasil: novo hospedeiro da traça-das-farinhas**. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2016. 6 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Circular Técnica, n. 58). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154050/1/Circ-Tec-58.pdf>.
- GOMES, F. B.; KRUG, C.; TAVARES, J. G. First record of the indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hubner 1813) (Lepidoptera: Pyralidae) for Brazil nut. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 6, p. 1708-1710, 2015.

GUMIER-COSTA, F. First record of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), in Pará nut, *Bertholletia excelsa* (Lecythidaceae). **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 430-431, 2009.

HAUGAASEN, T. A. Lepidopteran defoliator attack on Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in Central Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v. 41, n. 3, p. 275-278, 2009.

MANUAL de segurança e qualidade para a cultura da castanha-do-Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: CampoPAS, 2004. 61 p. (Série Qualidade e Segurança dos Alimentos).

NA, J. H.; RYOO, M. I. The influence of temperature on development of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) on dried vegetable commodities. **Journal of Stored Products Research**, v. 36, n. 2, p. 125-129, 2000.

PIRES, E. M.; SOUZA, E. Q.; NOGUEIRA, R. M.; SOARES, M. A.; DIAS, T. K. R.; OLIVEIRA, M. A. Damage caused by *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored Brazil nut. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, n. 1, p. 1-5, 2017.

REES, D. P. Coleoptera. In: SUBRAMANYAM, B.; HAGSTRUM, D. W. (Ed.) Integrated management of insects in stored products. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-39.

RONCHI-TELES, B. Ocorrência de inimigos naturais em *Lusura altrix* Stoll, 1782 (Lep. Notodontidae) na região de Manaus-AM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 13., 1991, Recife. **Anais...** Recife: SEB, 1991. p. 218.

SANTOS, R. S.; ADAIME, R.; CARNEIRO, E.; SIVIERO, A. Registro de *Lusura chera* (Drury, 1773) (Lepidoptera: Notodontidae) em castanheira-do-Brasil, em Xapuri, Acre, sudoeste da Amazônia brasileira. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 2-3, p. 180-183, 2021.

SANTOS-SILVA, L.; SILVA, L. C. D. P.; CORASSA, J. D. N.; BATTIROLA, L. D. The Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (Lecythidaceae)): importance and biological interactions. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, n. 6, p. 71-84, 2017.

SCOLES, R.; CANTO, M. S.; ALMEIDA, R. G.; VIEIRA, D. P. Sobrevivência e frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em áreas desmatadas em Oriximiná, Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 555-564, 2016.

SEFER, E. **Boletim Técnico**, nº 43. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Norte, 1961.

SHEPARD JUNIOR, G. H.; RAMIREZ, H. "Made in Brazil": human dispersal of the Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) in ancient Amazonia. **Economic Botany**, v. 65, n. 1, p. 44-65, 2011.

SILVA, R. A.; JESUS, C. R.; GUEDES, M. C.; COSTA, M. K. M.; PEREIRA, J. D. B. Danos de *Tropidacris collaris* (Stoll, 1813) (Orthoptera: Romaleidae) em castanheiras na Reserva Extrativista do Rio Cajari, AP. In: ENCONTRO AMAPAENSE DE PESQUISA ENTOMOLÓGICA, 1., 2008, Macapá. [Palestras e resumos...]. Macapá: Embrapa Amapá, 2008. 1 CD-ROM.

SIMÕES, A. V. **Impactos de tecnologias alternativas e do manejo da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*, Humb. & Bonpl., 1808) no controle da contaminação por aflatoxinas em sua cadeia produtiva**. 2004. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências Agrárias, Manaus, 2004.

SOUZA, C. R. de; AZEVEDO, C. P. de; ROSSI, L. M. B.; LIMA, R. M. B. de. **Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008. 22 p. (Embrapa

Amazônia Ocidental. Documentos, 60). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63966/1/ComTec-63-2008.pdf>.

THOMAZINI, M. J.; REIS, S. S. O. Ocorrência de *Lusura atrix* Stoll (Lepidoptera, Notodontidae) em castanheira, *Bertholletia excelsa* H.B.K., em Rio Branco, AC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 22., 2008, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2008. p. 758-762.

TONINI, H. Fenologia da castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Lecythidaceae) no sul do estado de Roraima. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 123-131, 2011.

VANIN, S. A.; BENÁ, D. de C. Description of larva and pupa of the weevil *Hybolabus amazonicus* Voss (Attelabidae: Attelabinae), a leaf roller on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 60, e202060(s.l.).03, p. 1-8, 2020.

VASCONCELOS, A. da A.; SANTOS, R. S.; CONSTANTINO, R.; AZEVEDO, T. da S.; SILVA, W. Levantamento de insetos xilófagos em campo de apodrecimento de madeira. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFAC, 26., 2018, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco, AC, 2018. p. 535.

WHITE, G. G. The effect of grain damage on development in wheat of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 18, n. 3, p. 115-119, 1982.



Apoio



www.theGEF.org



Empoderando vidas.
Fortalecendo nações.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA



9 786589 195797 3

CGPE 018131