

CASTANHA-DA-AMAZÔNIA

ESTUDOS SOBRE A ESPÉCIE E SUA CADEIA DE VALOR

MELHORAMENTO GENÉTICO E CULTIVO

Volume 4

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

Melhoramento genético e cultivo
Volume 4

*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 Franca Araújo

Normalização bibliográfica

Marcia Maria Pereira de Souza

Foto da capa

Cássia Angela Pedrozo

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, Superintendência de Comunicação

Castanha-da-amazônia : estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor :
melhoramento genético e cultivo / Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Julianna
Fernandes Marocco, Marcelino Carneiro Guedes, Kátia Emídio da Silva,
editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.
v. 4 (PDF 162 p.). il. color.

ISBN 978-65-89957-93-5 v. 4.

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

Aisy Botega Baldoni

Engenheira-agrônoma, doutora em Biologia Molecular, pesquisadora da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Alfredo Kingo Oyama Homma

Engenheiro-agrônomo, doutor em Economia Rural, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Ana Cláudia Lira Guedes

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

Cássia Ângela Pedrozo

Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR

Dennis del Castillo Torres

Engenheiro-agrônomo, doutor em Filosofia e Agronomia, diretor do Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP, Madre de Dios, Peru

Edgar Cusi Auca

Engenheiro florestal e do meio ambiente, especialista em Biodiversidade e Biotecnologia, pesquisador do Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP, Madre de Dios, Peru

Ediglei Gomes Rodrigues

Engenheiro florestal, mestre em Ciências Ambientais, Startup Inova Manejo, Macapá, AP

Evert Thomas

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

Ezaquiel de Sousa Neves

Engenheiro florestal, mestre em Ciência, Inovação e Tecnologia, Polícia Civil, Macapá, AP

Joana Keila da Silva Gomes

Engenheira florestal, mestre em Ciência Florestal, Ecoporé, Rolim de Moura, RO

José Edmar Urano de Carvalho

Engenheiro-agrônomo, mestre em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

José Francisco de Carvalho Gonçalves

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, AM

Julianna Fernandes Marocco

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

Karen Cristina Pires da Costa

Engenheira florestal, doutora em Ciências de Florestas Tropicais, professora adjunta da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, PA

Karina Martins

Bióloga, doutora em Agronomia, professora associada da Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP

Katia Emídio da Silva

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

Lúcia Helena de Oliveira Wadt

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

Marcelino Carneiro Guedes

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

Marília de Castro Rodrigues Pappas

Bióloga, doutora em Biologia Molecular, pesquisadora da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, DF

Patrícia da Costa

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

Roberval Monteiro Bezerra de Lima

Engenheiro florestal, doutor em Ciências Florestais, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM

Ronald Corvera-Gomringer

Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciências Agrônomas e do Solo, diretor do Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP, Madre de Dios, Peru

Tadário Kamel de Oliveira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Thamires Viana Alves de Souza

Engenheira florestal, bolsista na Embrapa Amapá, Macapá, AP

Walnice Maria Oliveira do Nascimento

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

“Se temos de esperar, que seja para colher a semente boa que lançamos hoje no solo da vida. Se for para semear, então que seja para produzir milhões de sorrisos, de solidariedade e amizade.”

Cora Coralina

Dedicamos esta obra a todos os que trabalham com pesquisa, ensino, extensão rural, e especialmente aos povos e 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 onde 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, conhecimentos e motivaram a grande 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. Neste conjunto de livros, vislumbramos 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, em que sustenta uma cadeia produtiva que envolve milhares de famílias de extrativistas. Descobrimos, 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 de “cadeia de valor”. Embora esses diversos temas sejam interconectados, o que torna difícil uma divisão totalmente satisfatória, um exercício de separação por temas se fez 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; enquanto o volume II trata de outro aspecto da cadeia, que é a pós-coleta e a tecnologia de alimentos. Já o volume III trata 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 qualidade; boas práticas de higienização e sanitização de frutos e sementes, desde a colheita até o armazenamento; características nutricionais e principais estudos sobre produtos a 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; 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 resultam, 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, bem como apoia 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, mas exige atenção a toda dimensão social; valorização do trabalho, de conhecimentos e da cultura dos povos da floresta; e 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 de não só frear o desmatamento, como também promover a restauração de florestas e paisagens, e que foi 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

Professor da Universidade de Brasília

Sumário

Capítulo 1

Conservação genética e sua importância 17

Capítulo 2

Técnicas de propagação por enxertia 35

Capítulo 3

Alternativas de baixo custo para produção de mudas..... 65

Capítulo 4

Melhoramento genético 89

Capítulo 5

Ecofisiologia: implicações para a silvicultura e o manejo..... 109

Capítulo 6

Plantios pioneiros em monocultivos e sistemas agroflorestais na Amazônia..... 135

Capítulo 1

Conservação genética e sua importância

Karina Martins; Evert Thomas; Lucia Helena de Oliveira Wadt; Ronald Corvera Gomringer; Marília de Castro Rodrigues Pappas; Marcelino Carneiro Guedes; Patrícia da Costa.

Introdução

Considerando que a grande maioria da produção de castanhas-da-amazônia depende da coleta sob árvores nativas em florestas naturais, a conservação de castanhais saudáveis e produtivos é fundamental para o fornecimento continuado deste produto para o mercado nacional e internacional. Entretanto, a ocorrência de árvores produtivas em um dado tempo e lugar não implica, necessariamente, que a floresta está saudável ou que a produção de castanhas-da-amazônia será mantida ao longo do tempo.

A conservação dos castanhais é garantida quando os processos de reprodução (ou seja, produção de sementes viáveis) e regeneração (recrutamento de novos indivíduos) estão ocorrendo em quantidade e qualidade suficientes para garantir a manutenção, a longo prazo, dos castanhais. Uma maneira de diagnosticar o nível de conservação dos castanhais nativos é por meio da abordagem da genética molecular. O uso de marcadores moleculares, que são trechos do material genético com elevado nível de variação entre indivíduos, pode gerar informações sobre o estado de conservação genética de populações naturais. Em laboratório, extrai-se o material genético de pequenas amostras de tecido de folhas ou da entrecasca de árvores e utilizam-se métodos já consolidados para identificação destes marcadores moleculares. A partir desses, estimam-se diversos parâmetros genéticos que revelam o estado de conservação das populações, considerando tanto árvores adultas como regenerantes, além da qualidade genética das sementes produzidas.

Aspectos teóricos relacionados à conservação genética em populações naturais

A conservação de populações de espécies arbóreas depende primordialmente da existência de alta diversidade genética contida dentro das populações, ou seja, as árvores adultas devem ser geneticamente variáveis. Populações com um número grande de indivíduos – >1.000 árvores não aparentadas (Frankham et al., 2014) – em florestas contínuas (ou pouco fragmentadas) são as condições primordiais para que essas estejam geneticamente conservadas (Young et al., 1996). A fragmentação de florestas, devido ao desmatamento, ocasiona a redução de tamanhos populacionais efetivos e o aumento da distância entre árvores remanescentes, resultando em menor probabilidade de uma árvore receber pólen de outros indivíduos e em maior chance de receber pólen da própria árvore ou de árvore aparentada. Como consequência, a diminuição no número de árvores adultas implica redução na diversidade genética populacional (Figura 1) e, no caso da castanheira, diminuição na produção de sementes por causa da autoincompatibilidade genética da espécie, além de poder ocorrer a produção de sementes inviáveis. Se há menor diversidade genética na população adulta remanescente do que na população original, espera-se que os descendentes gerados também apresentem menor diversidade genética. Isso ocorre porque há menos adultos contribuindo com pólen e óvulos para a produção de sementes. Assim, além de menor diversidade genética, as sementes geradas nessas populações pequenas e fragmentadas apresentarão maiores níveis de consanguinidade e, provavelmente, menor viabilidade (Figura 2).

Como as castanheiras-da-amazônia reproduzem-se, predominantemente, por meio de cruzamentos (ou seja, realizam troca de pólen entre árvores), a consanguinidade pode ocasionar efeitos negativos nas populações, tais como: maior taxa de abortos de frutos imaturos, produção de menor quantidade de sementes viáveis, menores taxas de germinação das sementes e menor adaptação geral e crescimento de plântulas. Logo, ao longo de sucessivas gerações, a perda de diversidade genética e a ocorrência de cruzamentos consanguíneos poderão comprometer a sobrevivência e a regeneração de florestas, afetando a produção sustentável de sementes de qualidade.

Mesmo em florestas contínuas, a exploração madeireira ocasiona distúrbios após o manejo, de modo que até espécies não exploradas como a castanheira-da-amazônia podem ser impactadas, seja por injúrias nos indivíduos adultos, seja pela mortalidade de plântulas e varetas em consequência da operação florestal.

Por outro lado, o recrutamento de regenerantes de castanheiras-da-amazônia pode ser favorecido pela abertura de clareiras (Myers et al., 2000; Soriano et al., 2012; Porcher et al., 2018). Embora um trabalho tenha sugerido que a superexploração das sementes pode prejudicar a regeneração e, assim, comprometer a conservação da espécie, no longo prazo (Peres et al., 2003), diversos trabalhos mais recentes têm mostrado que essa relação não é verdadeira (Wadt et al., 2008; Ribeiro et al., 2014; Bertwell et al., 2018). Isso provavelmente ocorre porque há suficiente dispersão das sementes por roedores no intervalo de até dois meses entre o início da queda dos frutos e a coleta pelos extrativistas (Wadt et al., 2018), que geralmente é feita após a queda dos frutos.

Diante dos aspectos teóricos expostos, apresentaremos a seguir o estado da arte do conhecimento sobre diversidade genética e consanguinidade em populações adultas e regenerantes de castanheira-da-amazônia, com o intuito de discutir os riscos potenciais para as populações futuras.

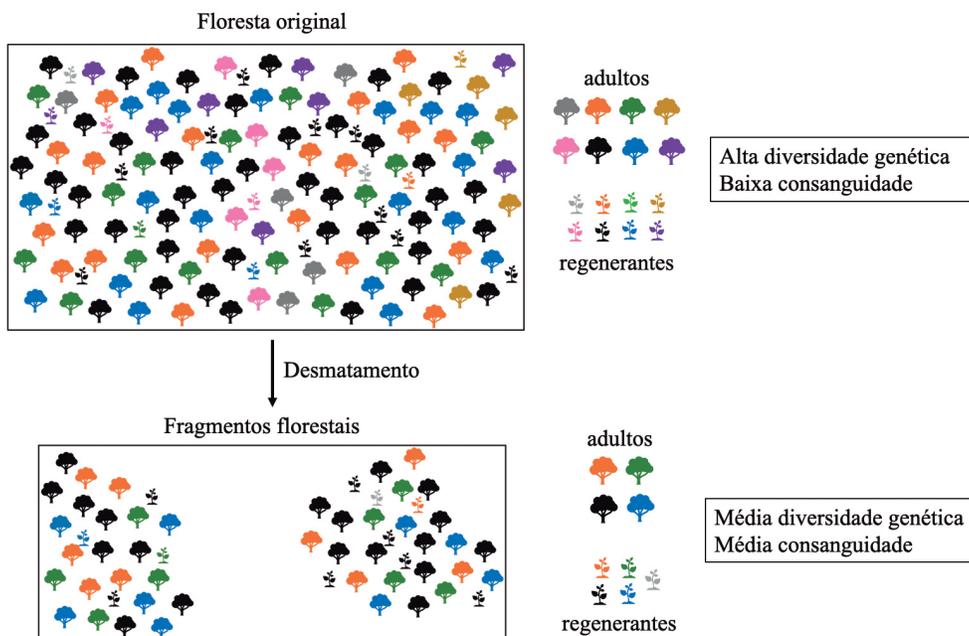


Figura 1. Representação da perda de diversidade genética resultante da fragmentação florestal. As diferentes cores representam variantes genéticas.

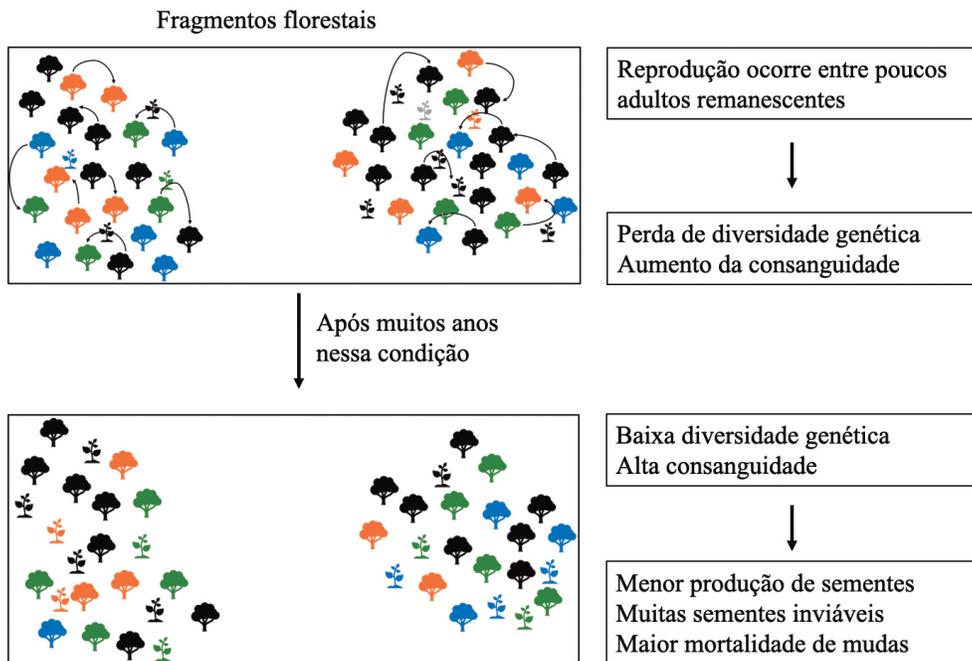


Figura 2. Aumento da consanguinidade e intensificação da diminuição de diversidade genética resultante da manutenção da condição fragmentada da população original.

A importância da manutenção da diversidade genética em castanhais nativos

Ao longo das últimas três décadas, alguns estudos utilizaram diferentes tipos de marcadores moleculares para quantificar a diversidade genética em populações naturais de castanha-da-amazônia. Como antes disso quase nada era conhecido a respeito da biologia reprodutiva de árvores tropicais, não havia expectativa de qual seria a magnitude da variação genética, nem mesmo do nível de consanguinidade em populações naturais da espécie. Acreditava-se, inclusive, que as árvores tropicais teriam menor diversidade genética e maiores valores de consanguinidade natural em comparação com as espécies que ocorrem em florestas temperadas. Essa suposição derivava-se do fato de que, devido à alta diversidade da floresta tropical, indivíduos de muitas espécies de árvores se encontravam distantes uns dos outros, o que, em princípio, reduziria as chances da polinização cruzada (Fedorov, 1966). No entanto, estudos sobre polinização e sistema reprodutivo

em árvores tropicais mostraram a eficácia dos polinizadores em vencer essas distâncias (Bawa, 1974, 1992). Assim, os dois primeiros trabalhos que buscaram quantificar a variabilidade genética de algumas poucas populações de árvores adultas de castanheira-da-amazônia (Buckley et al., 1988; Kanashiro et al., 1997) detectaram níveis de variabilidade genética compatíveis com o que já havia sido relatado para espécies de clima temperado.

Ambos os estudos compararam como a diversidade genética estava distribuída dentro e entre as populações e constataram que a maior parte da variação genética estava presente dentro de populações, ou seja, a diferenciação genética entre as populações estudadas foi muito pequena, o que significa que as populações estudadas foram similares geneticamente. Vale ressaltar, entretanto, que a quantidade de pontos de amostragem nesses dois trabalhos foi muito pequena em comparação à ampla área de ocorrência da espécie. Enquanto Buckley et al. (1988) estudaram apenas duas populações – uma situada no município de Careiro-AM e outra nas proximidades de Xapuri-AC –, separadas por cerca de 1.200 km, o trabalho de Kanashiro et al. (1997) incluiu quatro locais de coleta na região central do Pará (Alenquer, Altamira, Marabá e Santarém) e apenas uma coleta mais distante em Rio Branco-AC. Esperava-se que as populações mais próximas geograficamente fossem geneticamente mais semelhantes entre si do que essas em relação à população de Rio Branco, distante cerca de 2.100 km das populações do Pará. Entretanto, essa tendência não foi corroborada pelos dados, havendo a necessidade de estudos com maior amplitude geográfica, maior número de pontos de coleta e uso de marcadores moleculares mais informativos para que um padrão de estruturação genética pudesse ser compreendido.

Apenas em 2009 foi publicado um estudo, realizado no departamento de Madre de Dios, no Peru, que envolveu maior número de populações amostradas (sete) e marcadores mais informativos (Reátegui-Zirena et al., 2009). Pouco tempo depois, Sujii et al. (2015) publicaram um estudo que quantificou a diversidade genética e a consanguinidade em onze populações naturais de castanheiras-da-amazônia adultas, amostradas nos estados brasileiros do Acre, do Amazonas, do Amapá, do Pará e de Roraima. Ambos os trabalhos confirmaram os níveis moderados de diversidade genética já identificados nos trabalhos anteriores, e, além disso, mostraram que não há consanguinidade nessas populações. Resultados mais recentes, ainda não publicados e com amostragem mais ampla na Amazônia peruana – onze locais de coleta em Madre de Dios (Figura 3) – indicam maiores níveis de diversidade genética do que o revelado por Reátegui-Zirena et al. (2009).

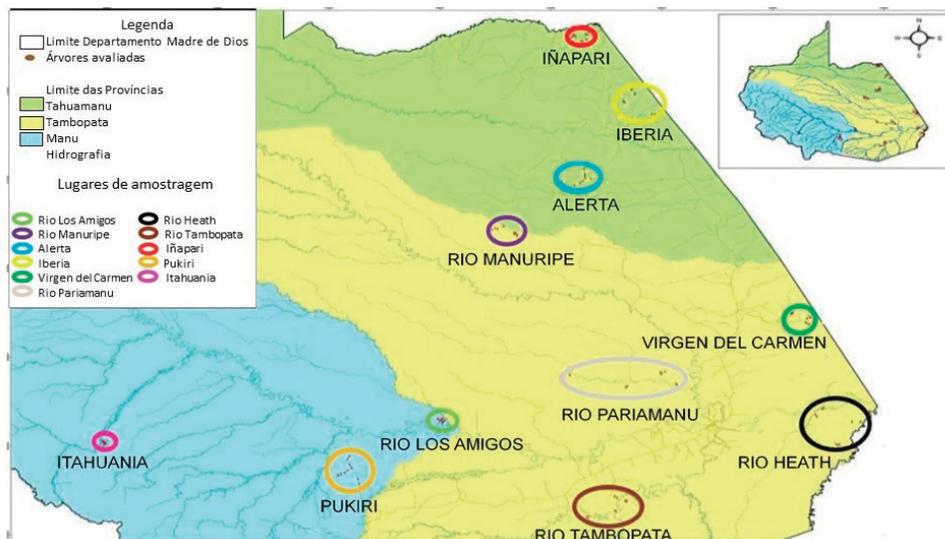


Figura 3. Mapa com onze localidades de amostragem de castanha-da-amazônia para estudos genéticos no departamento de Madre de Dios, na Amazônia peruana.

A diferenciação genética entre as onze populações estudadas no Peru também foi baixa. A maior parte da diversidade está localizada dentro das populações, e apenas as populações mais a nordeste (Iberia e Iñapari, Figura 3) parecem ter constituição genética diversa (Figura 4). Apesar da amostragem de maior número de populações e marcadores mais informativos, a abrangência geográfica do estudo ainda é pequena em comparação com a abrangência geográfica da espécie.

A amostragem geograficamente mais ampla de Sujii et al. (2015) permitiu, pela primeira vez, revelar uma diferenciação genética relativamente elevada entre as populações mais distantes (entre 10% e 25%), o que se contrapõe aos resultados dos primeiros estudos feitos com a espécie (Buckley et al., 1988; Kanashiro et al., 1997; Reátegui-Zirena et al., 2009). Mas, assim como em Kanashiro et al. (1997), o estudo de Sujii et al. (2015) revelou que a diferenciação genética entre populações não é explicada apenas pela distância geográfica, ou seja, não há um padrão forte de isolamento por distância. As populações mais próximas (dentro de cada estado) são muito semelhantes entre si, como se pode notar pelas pequenas distâncias genéticas entre elas no agrupamento baseado em distâncias genéticas (Figura 5). Para as populações separadas por distâncias geográficas maiores (entre os estados), o agrupamento não é tão consistente, uma vez que o suporte da maioria

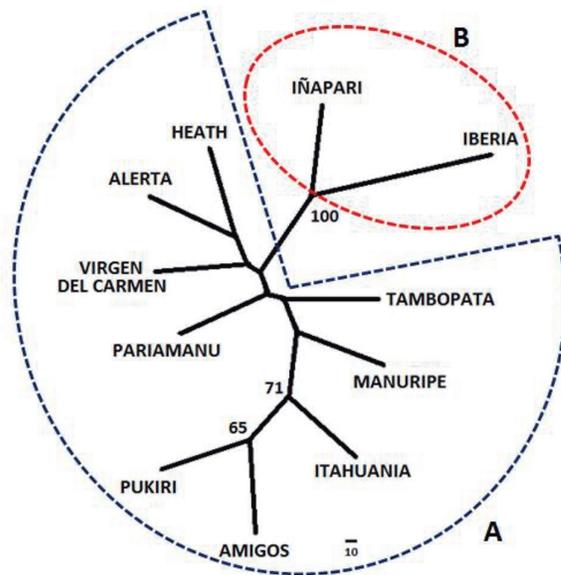


Figura 4. Representação gráfica da estrutura genética populacional da castanheira-da-amazônia em 11 localidades, em Madre de Dios, Peru, sendo os grupos A e B representantes de agrupamentos genéticos distintos. A localização geográfica de cada população está representada na Figura 3.

Fonte: elaborado pelos autores.

dos grupos formados é fraco (57% e 65,2%, Figura 5). Esses resultados revelam que, além da reprodução (cruzamentos e migração de pólen e sementes), outros fatores podem ter influenciado na estrutura genética em escala ampla (Sujii et al., 2015). Além disso, indicam a necessidade de ampliação na quantidade de pontos de amostragem, incluindo regiões da área de distribuição ainda não contempladas.

Um estudo recente quantificou a diversidade genética em quatro populações, situadas no estado do Mato Grosso, na região limite sul da área de ocorrência da espécie (Baldoni et al., 2020). Mesmo apresentando uma amplitude geográfica muito menor que a do trabalho de Sujii et al. (2015), os autores estimaram níveis de diferenciação genética tão elevados (>18%) quanto os estimados por Sujii e colaboradoras. Nosso grupo de pesquisa está conduzindo o mais amplo estudo de genética de populações naturais de castanheiras-da-amazônia já realizado. Estamos utilizando a abordagem genômica, em que, em vez de menos de uma dezena de marcadores moleculares, milhares de marcadores estão sendo utilizados, possibilitando resultados mais robustos. O estudo, ainda em andamento, apresenta

resultados de diversidade e estrutura genética em árvores amostradas em trinta locais, incluindo populações em todos os estados brasileiros onde a espécie ocorre (Figura 6).

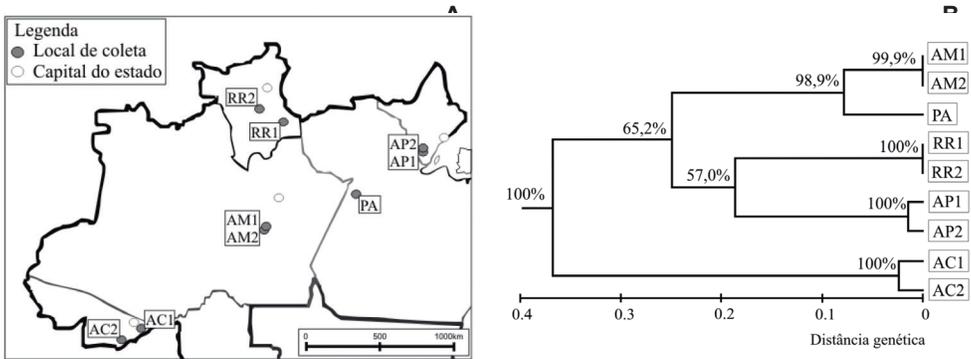


Figura 5. Mapa indicando os pontos de coleta de Sujii et al. (2015) em cinco estados brasileiros (A) e agrupamento das populações de acordo com uma medida de diferenciação genética (B). Populações próximas geograficamente são similares geneticamente, no entanto, a diferenciação genética entre as populações mais distantes geograficamente nem sempre é a maior.

Fonte: Adaptado de Sujii et al. (2015).

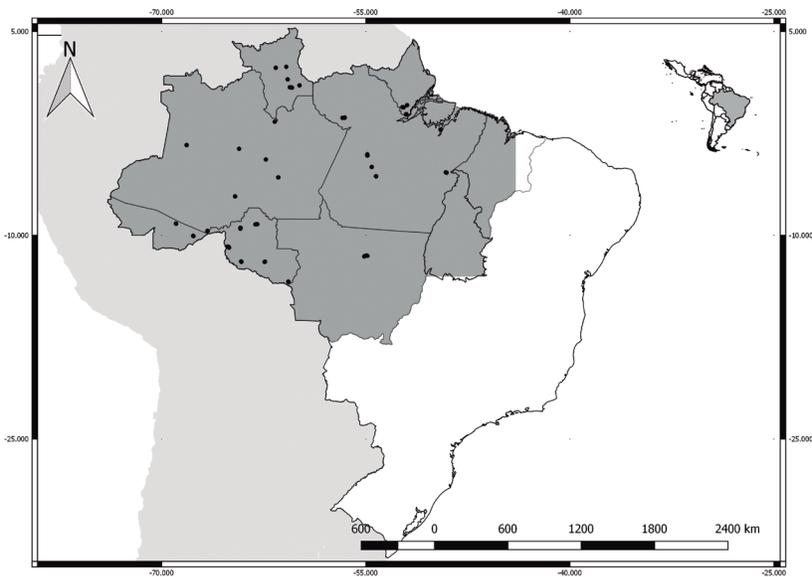


Figura 6. Localização dos trinta pontos de amostragem de árvores adultas de castanha-da-amazônia para estudo da diversidade genômica em escala amazônica.

Os resultados indicam que as populações adultas apresentam diversidade genética entre si, mas há diferenças entre as regiões. As populações situadas mais ao extremo sul da área de ocorrência natural (populações no Mato Grosso e uma população no sul de Rondônia, Figura 6) e as populações do Amapá são menos diversas que as demais populações. Os maiores valores de diversidade genética intrapopulacional foram observados no norte de Rondônia e no município de Cametá-PA (ponto próximo à ilha de Marajó, Figura 6). A tendência de uma maior diversidade genética em populações naturais de castanheiras-da-amazônia nessas regiões já foi relatada em outro trabalho (Thomas et al., 2015) e está possivelmente associada à história demográfica das populações durante o período Pleistoceno. Modelos computacionais têm indicado que a área de ocorrência da espécie foi drasticamente reduzida durante a última glaciação, tendo persistido apenas algumas populações pequenas, denominadas de refúgios (Thomas et al., 2014). As populações mais diversas em Rondônia e em Cametá ocorrem justamente nas proximidades de alguns dos refúgios do Pleistoceno, propostos no modelo de distribuição (Thomas et al., 2014). Essas populações mais diversas podem constituir, portanto, repositórios de diversidade genética.

Os níveis de consanguinidade variaram mais entre as populações adultas estudadas que a diversidade genética, com destaque para a população do Mato Grosso, que, além de ser a menos diversa, foi a que apresentou o valor mais elevado de consanguinidade. Essa população também é aquela que, em média, mais se diferencia geneticamente das demais. A ampliação da abrangência geográfica da amostragem em nosso trabalho evidenciou que a diferenciação genética entre as populações é mais elevada do que a identificada nos estudos anteriores. Essa elevada diferenciação genética pode ser decorrente de uma limitação de migração de pólen e sementes entre as populações, especialmente por ser uma espécie de ocorrência pan-amazônica, com distribuição natural e antrópica. A seleção natural para adaptação local e a resultante também da domesticação incipiente contribuem para o aumento da diferenciação genética entre populações. A adaptação a ambientes específicos ocasiona o aumento na frequência de variantes genéticas diferentes em cada ambiente. Uma outra explicação, não excludente em relação aos outros dois processos, é que a diferenciação genética nessas populações adultas pode ser uma herança dos eventos demográficos de drástica contração e posterior expansão na área de ocorrência da espécie no final do período Pleistoceno. As próximas etapas deste estudo visam abordar esses processos com mais detalhes. Embora ainda com resultados parciais, nosso trabalho indica que, para uma espécie de ocorrência pan-amazônica como a castanheira-da-amazônia,

a ampla abrangência geográfica da amostragem incrementou significativamente o conhecimento sobre a diversidade e a estrutura genética de populações adultas.

Como a castanheira-da-amazônia é uma espécie que apresenta ciclo de vida muito longo, com árvores datadas com mais de quatrocentos anos (Brienen; Zuidema, 2005; Schöngart et al., 2015) e até mil anos (Vieira et al., 2005), podemos supor que a maioria dos trabalhos de diversidade genética e consanguinidade citados consideraram a amostragem de castanheiras-da-amazônia com mais de quinhentos anos. Os trabalhos estudaram populações adultas e, portanto, os parâmetros genéticos refletem processos históricos. Eventuais efeitos genéticos negativos decorrentes da superexploração de sementes ou da fragmentação florestal em populações adultas seriam aparentes apenas após muitas dezenas de anos nessas condições. Para observar esses efeitos genéticos negativos nas populações atuais, pode-se comparar a diversidade genética de árvores adultas com a diversidade em indivíduos regenerantes na mesma população. As plântulas, por exemplo, são provenientes de eventos reprodutivos mais recentes, logo a observação de uma menor diversidade genética e uma maior consanguinidade nas plântulas em comparação aos parentais pode, teoricamente, indicar um risco futuro para a conservação da espécie no longo prazo.

Apenas um estudo, realizado em duas populações no Acre, quantificou a diversidade genética em regenerantes naturais de castanheira-da-amazônia (Martins et al., 2018), tendo encontrado níveis semelhantes de diversidade genética em plântulas, árvores jovens e adultos e ausência de consanguinidade. Um outro estudo, realizado no Peru, comparou a diversidade genética de castanheiras-da-amazônia adultas e mudas geradas em viveiro a partir de sementes coletadas nas mesmas árvores das populações naturais (Chiriboga-Arroyo et al., 2020). Os autores encontraram níveis semelhantes de diversidade genética e maior consanguinidade nas mudas, independentemente do grau de degradação florestal das populações de origem. Esses dois estudos, entretanto, não podem ser comparados, uma vez que regenerantes em condições naturais (Martins et al., 2018) são provenientes de diferentes parentais e estão sob forte pressão de seleção, situação que não ocorre em viveiro. Adicionalmente, as plântulas do trabalho de Chiriboga-Arroyo et al. (2020) são naturalmente parentes pelo fato de serem provenientes de frutos selecionados de poucas árvores maternas. Logo, como discutiremos no próximo item, mesmo que cruzamentos consanguíneos ocorram, sementes e regenerantes endogâmicos devem ser rapidamente expurgados da população por meio da seleção natural. Uma evidência que reforça essa hipótese de forte pressão de

seleção é o gargalo demográfico observado na transição de plântulas para varetas (Porcher et al., 2018). Esse gargalo, inclusive, dificulta a amostragem de uma quantidade suficiente de plântulas e varetas para estudos robustos de diversidade genética e consanguinidade nesses grupos para avaliação dos potenciais efeitos genéticos da superexploração de recursos ou da fragmentação florestal.

Em suma, parece evidente que o estado de conservação genética de castanhais nativos difere substancialmente entre regiões, havendo a necessidade de uma atenção especial em algumas regiões onde a espécie parece ser mais vulnerável por apresentar menor diversidade genética e maior consanguinidade. Como comentado anteriormente, a consanguinidade elevada pode comprometer a produção de sementes viáveis e, por consequência, a manutenção dos castanhais. O modo predominante de reprodução e a eficiência da dispersão de genes via pólen e sementes são aspectos que determinam em grande parte os níveis de consanguinidade e são, portanto, relevantes para compreender os riscos potenciais das populações. A seguir apresentaremos o que se sabe sobre o sistema de reprodução e dispersão de pólen e sementes em castanhais nativos.

O perigo do aumento da consanguinidade em castanhais nativos

Sistema de reprodução refere-se ao modo predominante como os indivíduos combinam seus genes para formação dos descendentes. As árvores, em sua grande maioria, realizam a reprodução sexual e trocam pólen para a produção de sementes. Trabalhos que investigaram o sistema de reprodução mostram que a castanheira-da-amazônia se reproduz, predominantemente, por meio de cruzamentos (O'Malley et al., 1988; Wadt et al., 2015; Giustina et al., 2018), ou seja, a formação de sementes ocorre pela troca de pólen entre árvores geneticamente não aparentadas. Em um trabalho pioneiro, O'Malley et al. (1988) estimaram uma taxa de cruzamento de 85% em uma população no Acre. Trabalhos mais recentes, com uso de marcadores moleculares mais robustos, encontraram valores mais elevados. Enquanto Giustina et al. (2018) obtiveram 92% de taxa de cruzamento em uma população do Mato Grosso, no trabalho de Wadt et al. (2015), a taxa de cruzamento não diferiu de 100%. Uma vez que as estimativas de sistema de reprodução em castanheira-da-amazônia são obtidas a partir de sementes germinadas, a elevada taxa de cruzamento indica que eventos de autofecundação raramente resultam em sementes viáveis. Esses trabalhos mostraram também que os cruzamentos

entre árvores aparentadas raramente resultam em sementes viáveis (entre 4 e 8%); (O'Malley et al., 1988; Wadt et al., 2015). Um estudo realizado na Amazônia peruana indicou que castanheiras-da-amazônia muito próximas produzem menos frutos, provavelmente devido à consanguinidade biparental, que ocasiona o aborto de frutos endogâmicos, e à competição por recursos (Thomas et al., 2018). Alguns estudos revelaram a presença de estrutura genética espacial em castanhais nativos (Baldoni et al., 2017; Chiriboga-Arroyo et al., 2020), ou seja, árvores próximas têm chances maiores de serem parentes, provavelmente uma consequência das distâncias limitadas de dispersão de sementes por pequenos roedores. Esses resultados apontam para a importância da manutenção de castanhais nativos com quantidade razoável de castanheiras-da-amazônia adultas não aparentadas para garantir a formação de sementes de qualidade. Isso requer extensas áreas de florestas nativas ricas em castanheiras-da-amazônia, e com densidade mediana a baixa.

Outro aspecto importante do sucesso reprodutivo é a eficiência da troca de pólen dentro das populações, uma vez que a polinização em castanheira-da-amazônia é realizada por abelhas grandes. Uma análise detalhada dos padrões de fluxo de pólen dentro de duas populações, no Acre e no Mato Grosso, indicou que cruzamentos entre árvores vizinhas ocorre com maior frequência do que o fluxo de pólen em longa distância (Baldoni et al., 2017). Esse trabalho utilizou a análise de paternidade de sementes e plântulas obtidas em populações naturais para quantificar taxas de migração e distâncias de polinização e dispersão de sementes. Vale ressaltar, entretanto, que essa constatação de predomínio de distâncias curtas de polinização baseia-se nas sementes e plântulas dentro da área de estudo (de 75 ha) cuja paternidade foi confirmada. Na situação em que a maternidade das sementes era conhecida, a paternidade foi confirmada em 58,9% das amostras. Por consequência, para 41,1% das sementes, as distâncias de polinização foram maiores que a máxima detectada no trabalho, de pouco mais de 2 km (Baldoni et al., 2017), mostrando que distâncias longas de polinização não são raras, embora seja mais difícil detectá-las por essa metodologia. Martins et al. (2018) também utilizaram testes de paternidade para quantificar fluxo de pólen em uma população no Acre. As autoras observaram que a maioria dos eventos de fluxo gênico ocorreu a distâncias maiores que a área de estudo (de 25 ha), o que confirma a suposição de que é necessário conservar populações grandes em florestas extensas para manter níveis de troca de pólen suficientes para a produção de quantidade razoável de sementes viáveis. Outro aspecto revelado por estudos de sistema reprodutivo em populações de castanheira-da-amazônia é a diferença de sucesso

reprodutivo entre as árvores. Alguns adultos produzem uma quantidade maior de descendentes, o que pode revelar a ocorrência de cruzamentos preferenciais nas populações (Wadt et al., 2015; Baldoni et al., 2017; Chiriboga-Arroyo et al., 2020).

Além de trazer subsídios para a conservação e produção de sementes em populações naturais, o conhecimento do sistema de reprodução e dos padrões de fluxo de pólen dentro de populações também contribui para a definição de recomendações para plantios comerciais e para programas de melhoramento genético da castanheira-da-amazônia, com vistas à produção de frutos e sementes.

Silvicultura e melhoramento genético

De modo geral, os artigos citados nas seções anteriores indicam que, para a castanheira-da-amazônia, a presença de variabilidade genética em plantios comerciais será crucial tanto para a quantidade quanto para a qualidade da produção de sementes. Os plantios devem ser estabelecidos com uma combinação de árvores não aparentadas, de modo a simular os níveis de diversidade genética observados em castanhais nativos, para tentar garantir uma produção razoável de sementes. Plantios de enriquecimento em castanhais nativos devem também atentar para a origem das árvores que estão sendo plantadas. Deve-se, sempre, evitar que castanheiras-da-amazônia sejam plantadas próximas de outras geneticamente semelhantes, ou seja, deve-se evitar que a vizinhança reprodutiva seja composta por árvores aparentadas.

Uma vez que programas de melhoramento florestal visam, majoritariamente, à seleção e propagação de árvores superiores, a tendência destes programas é produzir plantios comerciais homogêneos quanto às características de interesse (como produção de madeira para uma destinação específica, por exemplo), o que necessariamente implicaria a baixa variabilidade genética dos plantios. No caso da castanheira-da-amazônia, as principais características selecionadas em um programa de melhoramento para a produção da castanha-da-amazônia, certamente, seriam quantidade e qualidade de sementes produzidas. O que os estudos de sistema de reprodução indicam é que ao menos a quantidade de sementes produzidas por uma árvore não dependerá apenas da sua superioridade genética, mas também da vizinhança reprodutiva dessa árvore em plantios. Espera-se, portanto, que programas de melhoramento recomendem para plantio uma variedade de árvores geneticamente superiores e reforcem para seus clientes a necessidade de estabelecer plantios, sejam puros, consorciados ou de

enriquecimento, com uma ampla variabilidade genética e que se evite, ao máximo, vizinhanças reprodutivas aparentadas. Torna-se relevante, também, avaliar a compatibilidade entre árvores selecionadas, uma vez que tem sido relatada a ocorrência de cruzamentos preferenciais.

Alguns estudos sobre ecologia de populações e monitoramento da produção de sementes em castanhais nativos buscaram identificar se, e como, fatores ambientais (edáficos e climáticos) influenciam a produção de frutos e sementes. Outros também avaliaram a relação entre crescimento em diâmetro da árvore e produção, tentando, indiretamente, identificar se há associação entre idade da árvore e produção de frutos. Contrariamente, ainda pouco se sabe sobre os fatores genéticos que influenciam a qualidade e quantidade de sementes produzidas. Já é consenso na literatura agronômica que produção de frutos é uma característica de herança quantitativa, o que significa que a produção de frutos é determinada tanto por fatores genéticos como por fatores ambientais. Sabe-se também que essa característica é determinada por uma grande quantidade de genes de pequeno efeito. Embora essa seja a expectativa geral, o conhecimento da base genética da produção de sementes em castanheira-da-amazônia é muito incipiente, sendo dificultado, em grande parte, pela natureza das pesquisas necessárias. Os experimentos clássicos necessitam do plantio de descendentes com maternidade conhecida em delineamento experimental e avaliação de seus desempenhos. Desse modo, consegue-se, por exemplo, avaliar quanto da variabilidade em produção de frutos é explicada pela variação genética entre árvores. No caso da castanheira-da-amazônia, que tem ciclo de vida longo, serão necessários anos e talvez até décadas para que experimentos desse tipo produzam dados consistentes. Logo, a instalação e a manutenção desses experimentos genéticos devem ser prioritárias para a castanheira-da-amazônia. Além de gerarem informações básicas sobre a herança genética da produção de frutos, sementes e outras características de herança quantitativa, esses plantios são um importante material para os programas de melhoramento genético e constituem repositórios de variabilidade genética, servindo como plantios de conservação *ex situ*. Atualmente, apenas a Embrapa e o Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) possuem programas de melhoramento genético da castanheira-da-amazônia para a produção de frutos com essa finalidade (para mais detalhes, veja capítulo 4 do Volume IV).

Complementarmente à essa estratégia clássica em genética quantitativa, os estudos na área de genômica podem contribuir com informações interessantes sobre a base genética de diversas características da castanheira-da-amazônia. As

ferramentas genômicas ganharam muita popularidade em anos recentes, com a redução de custos e o desenvolvimento de novas tecnologias de sequenciamento de DNA.

Avanços da genômica

Nas seções anteriores, relatamos como marcadores moleculares em escala genômica têm contribuído para um avanço significativo no conhecimento da estrutura genética em populações naturais de castanheira-da-amazônia. A análise desses dados ainda é incipiente, mas a expectativa é que a associação entre esses milhares de marcadores genômicos com dados ambientais dos locais de coleta das amostras possibilitará explorar diversos aspectos relacionados à biologia evolutiva da castanheira-da-amazônia, tais como o estudo da seleção natural e sua influência na estrutura genética, bem como a identificação de genes e regiões genômicas associadas à adaptação local. Com esses resultados, será possível, por exemplo, identificar áreas prioritárias para conservação considerando tanto a situação de clima atual como diferentes cenários futuros de mudanças climáticas.

O desenvolvimento de recursos genômicos para a castanheira-da-amazônia, além de contribuir para estudos das bases genéticas da adaptação local e de características quantitativas, possibilitará a identificação de genes de importância econômica. Um recurso genômico valioso, por trazer subsídios para variadas pesquisas em genética da castanheira-da-amazônia, é a disponibilização pública de um genoma referência da espécie. Por definição, o genoma referência é uma representação completa da sequência de DNA de uma espécie, com a identificação de seus elementos e a anotação de suas funções. Identifica-se, por exemplo, regiões gênicas, de regulação gênica, sequências repetitivas não gênicas etc.

Para contribuir com a identificação de genes de importância econômica, a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), em parceria com a Embrapa e a Universidade de Brasília (UnB), e com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), montou o genoma referência da castanheira-da-amazônia. Foi sequenciado o DNA de uma árvore nativa de castanheira-da-amazônia situada em Porto Velho-RO, e, com uso de ferramentas computacionais, montou-se quase que completamente e com altíssima qualidade todo o genoma da espécie. Ainda, RNAs obtidos de diferentes tecidos de plântulas de castanheira-da-amazônia foram também sequenciados e utilizados para identificar os genes no genoma montado e buscar suas funções. O estudo

ainda está em desenvolvimento, mas já foi possível identificar uma expansão em famílias gênicas associadas à resistência a doenças e curiosidades a respeito do metabolismo associado ao selênio. A disponibilização pública do genoma referência da castanha-da-amazônia será um recurso fundamental para o avanço no conhecimento sobre a espécie, contribuindo para a conservação das populações e para o melhoramento genético.

Referências

- BALDONI, A. B.; TEODORO, L. P. R.; TEODORO, P. E.; TONINI, H.; TARDIN, F. D.; BOTIN, A. A.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; BOTELHO, S. de C. C.; LULU, J.; FARIAS NETO, L. de F.; AZEVEDO, V. C. R. Genetic diversity of Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in southern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117795, Feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117795>.
- BALDONI, A. B.; WADT, L. H. O.; CAMPOS, T.; SILVA, V. S.; AZEVEDO, V. C. R.; MATA, L. R.; BOTIN, A. A.; MENDES, N. O.; TARDIN, F. D.; TONINI, H.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; SEBBENN, A. M. Contemporary pollen and seed dispersal in natural populations of *Bertholletia excelsa* (Bonpl.). **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. gmr16039756, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr16039756>.
- BAWA, K. Breeding systems of tree species of a lowland tropical community. **Evolution**, v. 28, n. 1, p. 85-92, 1974. DOI: <https://doi.org/10.2307/2407241>.
- BAWAR, K. Mating systems, genetic differentiation and speciation in tropical rain forest plants. **Biotropica**, v. 24, n. 2, p. 250-255, June 1992. DOI: <https://doi.org/10.2307/2388519>.
- BERTWELL, T. D.; KAINER, K. A.; CROPPER JUNIOR, W. P.; STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. de O. Are Brazil nut populations threatened by fruit harvest? **Biotropica**, v. 50, n. 1, p. 50-59, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12505>.
- BRIENEN, R. J.; ZUIDEMA, P. A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, v. 146, p. 1-12, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0160-y>.
- BUCKLEY, D. P.; BUCKLEY, D. P.; PRANCE, G. T.; BAWA, K. S. Genetics of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae). 1. Genetic variation in natural populations. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, p. 923-928, Dec. 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00273683>.
- CHIRIBOGA-ARROYO, F.; JANSEN, M.; BARDALES-LOZANO, R.; ISMAIL, S. A.; THOMAS, E.; GARCIA, M.; GONRINGER, R. C.; KETTLE, C. J. Genetic threats to the Forest Giants of the Amazon: habitat degradation effects on the socio-economically important Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*). **Plants, People, Planet**, v. 3, p. 194-210, Sept. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppp3.10166>.
- FEDOROV, A. A. The structure of the tropical rainforest and speciation in the humid tropics. **Journal of Ecology**, v. 54, n. 1, p. 1-11, Mar. 1966. DOI: <https://doi.org/10.2307/2257656>.
- FRANKHAM, R.; BRADSHAW, C. J. A.; BROOK, B. W. Genetics in conservation management: Revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. **Biological Conservation**, v. 170, p. 56-63, Feb. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.036>.

GIUSTINA, L. D.; BALDONI, A. B.; TONINI, H.; AZEVEDO, V. C. R.; NEVES, L. G.; TARDIN, F. D.; SEBBENN, A. M. Hierarchical outcrossing among and within fruits in *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) open-pollinated seeds. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 1, p. gmr16039872, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr16039872>.

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, 1997.

MARTINS, K.; SANTOS, R. da S. O. dos; CAMPOS, T. de; WADT, L. H. de O. Pollen and seed dispersal of Brazil nut trees in the southwestern Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 3, p. 217-223, jul./set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201800021>.

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).

O'MALLEY, R. C.; BRUCKLEY, D. P.; PRANCE, G. T.; BAWA, K. S. Genetics of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae) 2. Mating system. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, p. 929-932, Dec. 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00273683>.

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.; WTIKINSON, A. R.; FRECKLETON, R.; P. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, v. 302, n. 5653, p. 2112-2114, 2003. DOI: [10.1126/science.1091698](https://doi.org/10.1126/science.1091698).

PORCHER, V.; THOMAS, E.; GOMRINGER, R. C.; LOZANO, R. B. 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>.

REÁTEGUI-ZIRENA, E.; RENINO, J. F.; CARVAJAL-VALLEJOS, F.; CORVERA-GOMRINGER, R.; CASTILLO-TORRES, D.; GARCIA-DÁVILA, C. R. Evaluación de la variabilidad genética de la castaña *Bertholletia excelsa* en la región de Madre de Dios (Perú), mediante marcadores microsatélites. **Folia Amazónica**, v. 18, n. 1-2, p. 41-50, 2009. DOI: <https://doi.org/10.24841/fa.v18i1-2.331>.

RIBEIRO, M. B. N.; JEROZOLIMSKI, A.; ROBERT, P. de; 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 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.005>.

SCHÖNGART, J.; GRIBEL, R.; FONSECA-JÚNIOR, S. F. da; HOUGAASEN, T. Age and growth patterns of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v. 47, p. 550-558, Sept. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12243>.

SORIANO, M.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C. L.; SORIANO, E. Implementing multiple forest management in Brazil nut-rich community forests: Effects of logging on natural regeneration and forest disturbance. **Forest Ecology and Management**, v. 268, p. 92-102, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.05.010>.

SUJII, P. S.; MARTINS, K.; WADT, L. H. de 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, p. 955-964, Mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10592-015-0714-4>.

THOMAS, E.; ATKINSON, R.; KETTLE, C. Fine-scale processes shape ecosystem service provision by an Amazonian hyperdominant tree species. **Scientific Reports**, v. 8, Article number 11690, Aug. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29886-6>.

- 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, maio/ago. 2014.
- 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>.
- VIEIRA, S.; TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Slow growth rates of Amazonian trees: consequences for carbon cycling. **Proceedings of the National Academy of Science USA**, v. 102, n. 51, p. 18502-18507, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0505966102>.
- WADT, L. H. de 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. 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.; 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>.
- YOUNG, A.; BOYLE, T.; BROWN, T. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 10, p. 413-418, Oct. 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(96\)10045-8](https://doi.org/10.1016/0169-5347(96)10045-8).

Capítulo 2

Técnicas de propagação por enxertia

José Edmar Urano de Carvalho; Walnice Maria Oliveira do Nascimento

Introdução

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é espécie arbórea de grande porte, que se reproduz em seu habitat exclusivamente por meio de sementes. Quando cultivada, pode ser propagada tanto por via sexuada (sementes) como por via assexuada (estruturas vegetativas), particularmente por meio de enxertia. No entanto, há um relato de expressivo número de castanheiras regenerando-se a partir de brotações de raízes. Tal fato foi verificado no estado do Pará, mais precisamente em um castanhal nativo, com forte ação antrópica, na Serra dos Carajás, entre o núcleo 5 e o rio Itacaiúnas, ao longo da rodovia PA-275. Essa regeneração foi induzida pelo corte de raízes efetuado por máquinas pesadas durante a construção da referida rodovia (Silva; Rosa, 1986). Efetivamente, em castanhais nativos e mesmo em castanhais de cultivo, não há registros de castanheiras regenerando-se a partir de raízes. Provavelmente, isso não ocorra em decorrência de o sistema radicular ser relativamente profundo e se encontrar, tanto no primeiro caso quanto no segundo, recoberto por expressiva camada de liteira.

A castanheira, quando cortada (desde que o corte não seja rente ao solo), emite inúmeras brotações na porção superior do caule remanescente, permitindo a regeneração da planta. Isso ocorre tanto em castanheiras jovens como em castanheiras adultas. A propósito, na *Coleção de germoplasma de castanha-da-amazônia da Embrapa Amazônia Oriental*¹, alguns acessos estabelecidos sob a forma de clone foram implantados por meio de substituição da copa de castanheiras oriundas de sementes com idade de dez anos. Para tanto, o caule foi decepado a 1 m de altura, no final do período das chuvas. Entre 45 e 60 dias após o corte, ocorreu

¹ Disponível em: <https://av.cenargen.embrapa.br/avconsulta/Passaporte/detalhesBanco.do?idb=352>.

significativo número de brotações no segmento do caule remanescente, deixando-se, porém, somente dois ou três para serem enxertados. As brotações estão aptas para serem enxertadas entre três e quatro meses após o seccionamento do tronco. Em uma castanheira nativa com diâmetro na altura do peito superior a 100 cm, situada em área urbana do município de Baião-PA, que foi derrubada por questões de segurança, haja vista que se encontrava próxima a residências, também se observou notável número de brotações após o corte.

A propagação por estacas de ramos, por alporquia e por cultura de tecidos ainda não propiciou resultados satisfatórios, até o momento. Para a estaquia e alporquia, na maioria dos casos, tem-se observado apenas a formação de calo sem posterior enraizamento e raramente se obtém porcentagem de enraizamento superior a 5%. Algum sucesso tem sido obtido com estacas de plantas jovens, obtendo-se porcentagem de enraizamento em torno de 50% (Morais et al., 2008; Cordeiro et al., 2016; Bordales-Lozano et al., 2019).

Obtenção do porta-enxerto

Na propagação por enxertia, a semente é elemento essencial, pois o porta-enxerto é a própria castanheira, que é obtido por via seminífera. A adoção de procedimentos corretos de coleta dos frutos, extração, beneficiamento e tratamento das sementes, assim como o conhecimento das características morfológicas e fisiológicas das sementes, é fundamental para obter-se sucesso na produção do porta-enxerto e, conseqüentemente, na enxertia.

Um problema que persiste até os dias atuais, relativo à produção do porta-enxerto, está associado à germinação lenta e com acentuada desuniformidade. Não obstante os avanços tecnológicos obtidos com pesquisas desenvolvidas na década de 1980 (Müller, 1982) e que foram e estão sendo aperfeiçoadas nos últimos tempos (Nascimento et al., 2010; Cusi-Auca et al., 2018). A desuniformidade na germinação condiciona heterogeneidade de grande magnitude na altura e no diâmetro dos porta-enxertos, exigindo criteriosa seleção, em termos de tamanho da planta, por ocasião do plantio dos porta-enxertos no campo ou da própria enxertia, quando efetuada pelo método de garfagem no topo em fenda cheia.

Coleta, extração e beneficiamento das sementes para produção de porta-enxertos

Os frutos, conhecidos como ouriços, devem ser coletados entre um e dois dias após desprendimento natural da planta-mãe; caso contrário, pode haver comprometimento na qualidade fisiológica das sementes. Essa recomendação é importante, haja vista que é frequente a presença de castanhas já completamente deterioradas ou infectadas por fungos, principalmente dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, no interior dos frutos. Esses fungos causam apodrecimento e podem comprometer a capacidade de germinação de todas as sementes contidas no fruto (Soares, 2019). Esse problema se verifica mais frequentemente quando os ouriços permanecem sob a copa da árvore por um período superior a um mês.

A colheita direta dos frutos, ou seja, a sua retirada das árvores, antes do desprendimento natural, é inviável, mesmo em pomares com plantas enxertadas, pois as árvores são muito altas. Além disso, não há indicativos do ponto em que estão completamente maduros, pois não há mudanças pronunciadas na cor da casca do fruto desde o início de sua formação até a completa maturação.

Quando os frutos atingem a maturação, as sementes estão livres em seu interior, porém, como a abertura opercular é diminuta em relação ao tamanho das sementes, elas não são liberadas, como ocorre em algumas espécies de lecitidáceas, em particular do gênero *Lecythis*, popularmente conhecidas como sapucaias (Tsou; Mori, 2002). Assim sendo, para extrair as sementes, é necessário abrir os frutos, utilizando-se um facão ou uma machadinha com lâmina de corte bem afiada. A operação de abertura é difícil e exige habilidade, pois a camada central do pericarpo, ou seja, o mesocarpo, que representa 50% da massa do fruto, é bastante rígida e dura (Petrechen et al., 2019).

O corte é realizado com certos golpes na porção terminal do fruto até que uma pequena parte da casca se desprenda, possibilitando a extração das sementes (Figura 1). Alternativamente, pode-se utilizar uma serra-copo, com diâmetro mínimo de 54 mm, acoplada a uma furadeira elétrica (Figura 2). No primeiro caso, um operário com bastante prática extrai aproximadamente 100 kg de sementes em uma jornada de oito horas de trabalho, que corresponde entre dez e doze mil sementes. No segundo, o rendimento é um pouco inferior, 80 kg de sementes, pois, em alguns casos, a porção da casca removida fica na parte interna da serra, demandando certo tempo para ser retirada.

Foto: José Edmar Urano de Carvalho



Figura 1. Corte com facão de frutos da castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.).

Foto: José Edmar Urano de Carvalho



Figura 2. Abertura de fruto da castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) com serra-copo acoplada a uma furadeira elétrica.

As sementes recém-extraídas devem ser lavadas em água corrente até a completa remoção de resíduos da placenta e do endocarpo e de outras sujidades. Em seguida, devem ser imersas em água, removendo-se as que flutuarem, pois estão chochas ou deterioradas. Após a remoção das primeiras sementes que flutuaram, é necessário revolver a massa de sementes para que as sementes chochas ou deterioradas que estejam no fundo do recipiente venham à superfície. Quando essa operação é repetida três ou quatro vezes, o descarte de sementes indesejáveis é 100%. Esse descarte é importante, pois a permanência de sementes deterioradas junto das demais, além dos riscos de contaminação por fungos, resulta em odor bastante desagradável com o passar do tempo.

As sementes selecionadas devem ser imersas em solução de hipoclorito de sódio a 0,2% durante dez minutos, podendo ser utilizada água sanitária comercial na proporção água sanitária: água potável (1:9). Imediatamente após a imersão na solução de hipoclorito de sódio, efetua-se rápida lavagem em água corrente. As sementes assim preparadas estão aptas para serem semeadas ou estratificadas em substrato umedecido com água.

A estratificação das sementes em substrato umedecido com água constitui-se um método indicado para mantê-las com elevado teor de água, evitando, portanto, comprometimento na capacidade de germinação. Um bom substrato, por ser poroso e permitir boa retenção de água, além de apresentar baixo custo, é a mistura de areia: pó de serragem (1:1). É importante que o substrato seja previamente esterilizado em água fervente por, no mínimo, uma hora. Substratos comerciais, como a vermiculita e a fibra de coco, quando misturados com areia na mesma proporção volumétrica também se prestam para essa finalidade, porém com custo bem mais elevado.

É importante que, por ocasião da estratificação, o substrato seja umedecido com quantidade adequada de água. Um procedimento prático para identificar o ponto ideal de umedecimento consiste em comprimir fortemente com uma das mãos uma porção do substrato. Quando a palma da mão ficar umedecida sem que haja escorrimento de água, o substrato está com teor de água adequado para a estratificação das sementes.

Para pequenas quantidades de sementes, a estratificação pode ser efetuada em sacos de plástico, caixas de isopor, baldes ou outros recipientes com tampa e que não permitam a perda de vapor d'água. Quando a quantidade de sementes for grande,

caixas d'água de polietileno com capacidade para 1.000 L, ou, no máximo, 2.000 L também podem ser usadas. Convém salientar que, na estratificação, é importante obedecer a proporção volumétrica substrato:sementes (2:1). Assim sendo, uma caixa d'água com capacidade para 1.000 L comporta aproximadamente 330 L de castanha, que corresponde a aproximadamente 170 kg de castanhas, ou 20 mil castanhas. Recomenda-se que mensalmente os recipientes sejam examinados para verificar se houve perda de água, particularmente no caso da estratificação em caixas d'água, pois, por não apresentarem tampa com boa vedação, pode ocorrer perda de água por evaporação. Nesse caso, há necessidade de repor água para manter o substrato devidamente umedecido.

Quando as sementes são estratificadas, o processo de germinação tem continuidade, e o prolongamento por muito tempo proporciona a germinação dentro dos recipientes, o que não é conveniente, pois as plântulas estarão estioladas e com raiz primária e parte aérea retorcida. Assim sendo, é recomendável estratificá-las por, no máximo, cinco meses.

Características das sementes

As sementes da castanheira-da-amazônia apresentam comportamento recalcitrante no armazenamento, ou seja, são sensíveis ao dessecamento e a baixas temperaturas. Não está devidamente elucidado o nível mínimo de teor de água que suportam sem que haja comprometimento da viabilidade, embora Figueiredo et al. (1990) considerem que 14,0% seja o limite mínimo para manter as sementes viáveis. A determinação desse nível é difícil, em decorrência da grande variação no teor de água, que se manifesta até entre sementes oriundas de um mesmo fruto. Por ocasião da dispersão do fruto, o teor de água das sementes é em média de 28,7%, sendo que o tegumento apresenta valor de 34,5% e a amêndoa, de 23,1% (Carvalho et al., 1999). Esse elevado teor de água deve ser mantido ao longo do tempo para garantir a viabilidade das sementes, pois, em sementes com comportamento recalcitrante no armazenamento após a maturação, desencadeia-se imediatamente o processo de germinação.

A germinação das sementes de castanheira-da-amazônia é regulada por dois mecanismos de dormência, resultando em processo germinativo bastante lento e com pronunciada desuniformidade. O primeiro mecanismo de dormência é decorrente da resistência imposta pela testa, estrutura popularmente denominada de casca, ao crescimento do embrião. No entanto, a casca, apesar de apresentar

consistência dura e ser relativamente espessa, é permeável à água e ao oxigênio (Nascimento et al., 2010). O segundo mecanismo está associado ao fato de que o embrião não se encontra diferenciado por ocasião da maturação das sementes, exigindo, portanto, período adicional para completar seu desenvolvimento, o que requer elevado teor de água nas sementes (Camargo, 1997).

Quando as sementes oriundas de frutos coletados dois a três meses após a queda dos frutos são semeadas com casca, o início da germinação somente ocorre entre 150 e 180 dias e prolonga-se por até 500 dias. Um ano após a semeadura, a porcentagem de germinação é de 30% no máximo. Por outro lado, quando a casca é removida, as primeiras sementes germinam entre 20 e 30 dias, e, cinco meses após a semeadura, a porcentagem de sementes germinadas é próxima de 80% (Nascimento et al., 2010).

Sementes estratificadas germinam mais rápido, tanto quando semeadas com casca como quando descascadas, pois, estando estratificadas, o processo de germinação tem continuidade. O mesmo ocorre quando as sementes são mantidas no interior dos frutos sob a copa das árvores. Nesse caso, o elevado status de água das sementes é garantido pelas chuvas diárias que ocorrem no período de produção de frutos. Quando os frutos são coletados se mantendo as sementes em seu interior, é necessária a aspersão de água de dois em dois dias para evitar que as sementes percam água. Estudos que estão sendo desenvolvidos na Embrapa Amazônia Oriental têm demonstrado que sementes semeadas logo após a queda dos frutos demoram um pouco mais para germinar quando comparadas com sementes estratificadas ou mantidas úmidas dentro dos frutos por dois a três meses. Quase sempre, mesmo quando descascadas, requerem mais de 50 dias para que a primeira semente germine. Nesses estudos, também tem sido observado que, seis meses após a semeadura, a porcentagem de germinação dessas sementes, não ultrapassa 30%.

Os procedimentos técnicos para acelerar a germinação envolvem basicamente a remoção total da casca antes da semeadura. A escarificação das sementes, seja por métodos mecânicos ou químicos, não propicia resultados satisfatórios em termos de aumentar a porcentagem e a velocidade de germinação (Pereira et al., 1980; Frazão et al., 1984).

A remoção da casca pode ser efetuada utilizando-se uma prensa, para provocar rachaduras ou remover pequena porção da casca, e um alicate especialmente desenvolvido para esta finalidade (Figuras 3 e 4). Alternativamente, a casca pode

ser removida com o auxílio de um canivete ou uma faca com lâminas bem afiadas, de modo que as arestas das sementes sejam raspadas até que se visualize a amêndoa. Ao atingir esse ponto, com a lâmina do canivete ou da faca, efetua-se, então, a remoção da casca. Ambos os métodos, dependendo da habilidade do operário, proporcionam bons resultados, embora demandem bastante mão de obra. Operários bem treinados descascam aproximadamente 400 castanhas em uma jornada de trabalho de oito horas, embora, em casos excepcionais, cheguem a descascar até 800 castanhas.

Rendimentos elevados no descascamento estão associados não somente à habilidade e agilidade do operário, como também à facilidade que algumas sementes oferecem no processo de descascamento. Por exemplo, castanhas com três arestas são mais fáceis de descascar que as de quatro arestas. O mesmo ocorre com as castanhas grandes quando comparadas com as médias e as pequenas. Além disso, merece também ser destacado que castanhas estratificadas por no mínimo quatro meses são mais fáceis de serem descascadas.

Foto: José Edmar Urano de Carvalho



Figura 3. Prensa utilizada no processo de descascamento de sementes de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.).



Foto: José Edmar Urano de Carvalho

Figura 4. Alicates desenvolvidos na Embrapa Amazônia Oriental para o descascamento de sementes de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.).

Na Embrapa Amazônia Oriental, o método de descascamento utilizado envolve a prensagem e o descascamento com alicate. Neste método, diversas etapas e procedimentos devem ser obedecidos para obter-se sucesso no descascamento. Inicialmente, mesmo para sementes que estejam estratificadas, efetua-se a imersão em água por período mínimo de 24 horas. Após a imersão, é feita a compressão da semente na prensa para provocar rachaduras ou mesmo o desprendimento de parte da casca. Para tanto, a semente é colocada na face inferior da prensa, no sentido longitudinal, e ligeiramente inclinada para frente. É importante que os pontos de contato da semente com as faces da prensa sejam duas arestas e que estes pontos estejam mais próximos da porção terminal da semente que da porção basal. A semente deve ser firmemente segurada com uma das mãos e com a outra puxa-se a alavanca (Figura 5). Normalmente, basta uma compressão para que ocorra a remoção de pequena porção da casca, o que permite que a ponta superior do alicate seja colocada entre a casca e a amêndoa. Após posicionar a castanha no alicate, o esforço para remoção da casca deve ser efetuado puxando-se cuidadosamente a castanha, e não o cabo do alicate (Figura 6). Caso a compressão provoque apenas pequena fratura na casca, que dificulte a inserção do alicate entre a casca e a amêndoa, uma nova compressão deve ser efetuada no polo oposto da semente.

Foto: José Edmar Urano de Carvalho



Figura 5. Posição da semente de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) entre as faces da prensa para se efetuar com eficiência a fratura ou a remoção de uma pequena porção da casca.

Foto: José Edmar Urano de Carvalho



Figura 6. Remoção do tegumento da semente de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) com alicate especialmente desenvolvido para essa finalidade.

As sementes descascadas devem ser mantidas imersas em água até o momento do tratamento químico, quando, então, são tratadas com fungicida e posteriormente semeadas. Convém ressaltar que não existem fungicidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) para o tratamento químico de sementes de castanha-da-amazônia. Alguns produtos alternativos foram testados na Embrapa Amazônia Oriental, mas nenhum propiciou resultado semelhante ao do tratamento com fungicidas comerciais, embora a porcentagem de sementes germinadas tenha sido um pouco superior quando comparada com sementes não tratadas.

Semeadura e manejo dos porta-enxertos no viveiro

A semeadura deve ser efetuada em sementeiras contendo como substrato areia ou, preferencialmente, a mistura de areia:pó de serragem (1:1). A segunda opção de substrato, por ser mais poroso e friável, facilita sobremaneira a retirada das plântulas na operação de transplante para os recipientes em que as mudas serão produzidas. O substrato deve ser previamente esterilizado em água fervente durante uma hora ou pelo menos saturado com água fervente, um a dois dias antes da semeadura.

Na semeadura, um aspecto que deve ser considerado é a posição em que a semente é semeada, ou seja, com a porção basal, que corresponde à extremidade mais afilada, voltada para baixo (polo radicular), e a porção apical, que corresponde ao polo caulinar e é arredondada, voltada para cima (Figura 7). Na semente de castanha, a posição de semeadura é particularmente importante em decorrência do fato de que, a partir do momento em que as reservas alimentares se exaurem, a amêndoa apresenta crescimento secundário, tornando-se parte integrante da base da planta (Figura 8). Assim sendo, sementes semeadas em posição incorreta apresentam plântulas com conformação anormal, pois a raiz primária, por apresentar geotropismo positivo, faz uma volta para baixo e o caulículo, cujo geotropismo é negativo, volta-se para cima (Figura 9). Quando isso ocorre, pode-se cortar a parte aérea e a raiz primária, semeando-se novamente a semente na posição correta. Decorridos 45 dias da nova semeadura, ocorre a regeneração da raiz primária e da parte aérea.

Foto: José Edmar Urano de Carvalho



Figura 7. Amêndoas de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) com diferentes conformações, na posição correta de sementeira, ou seja, com a porção basal voltada para baixo e a porção apical, para cima.

Foto: José Edmar Urano de Carvalho



Figura 8. Detalhe da amêndoa em muda de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) oito meses após a germinação.



Foto: José Edmar Urano de Carvalho

Figura 9. Plântula anormal de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) resultante de sementeira da amêndoa em posição incorreta.

Em sementes com casca, a identificação da posição correta de sementeira é fácil, uma vez que a cicatriz do hilo é um indicador preciso da posição basal, ou seja, do polo radicular (Figura 10). Além disso, na quase totalidade das sementes, a porção basal é mais larga. Porém, quando se faz a remoção da casca, é necessário ter bastante familiaridade com algumas características das amêndoas para identificar a correta posição de sementeira. Um bom indicativo é que a base da amêndoa, ou seja, o ponto em que ocorre a emergência da raiz primária, é ligeiramente afilada, enquanto a parte apical é arredondada. Outra característica que ajuda bastante na identificação dos polos radicular e caulinar é a curvatura na lateral na face convexa da amêndoa. A porção em que a curva é mais fechada é onde se situa o polo radicular. Além disso, o ponto de maior largura da amêndoa situa-se mais próximo da porção basal que da porção apical (Figura 11). Ao considerarem-se essas três características, a taxa de acerto é praticamente de 100%.

O ideal é que as sementeiras sejam suspensas, ou seja, tenham a configuração de uma mesa, em que na parte superior são afixadas tábuas com altura entre 17 e 25 cm, em todas as laterais, formando uma caixa, a qual se constituirá no leito de sementeira. A largura dessa caixa deve ser de no máximo 1,20 m, para facilitar as

Foto: Ronaldo Rosa



Figura 10. Cicatriz do hilo na semente de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.).

Foto: José Edmar Urano de Carvalho

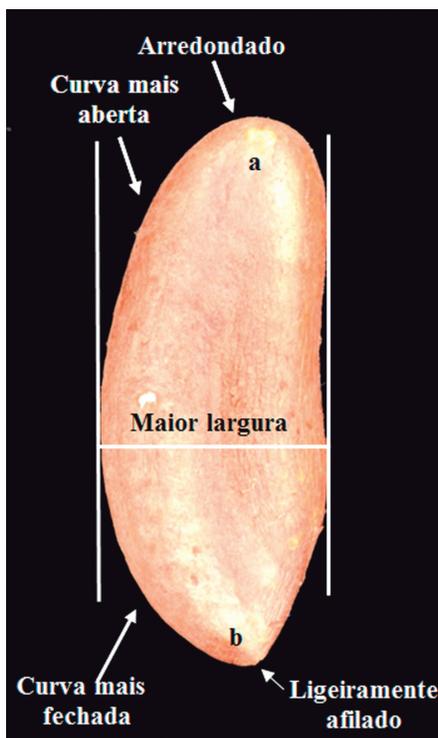


Figura 11. Características morfológicas que ajudam na identificação do polo caulinar (a) e do polo radicular (b) em amêndoas de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.).

operações de semeadura, transplante e irrigação, e o comprimento compatível com o número de sementes que se deseja semear, atentando-se para o fato de que, na semeadura, a distância mínima entre amêndoas vizinhas deve ser de 1 cm. Assim sendo, em uma área de 1 m², é possível semear entre 2.000 e 2.200 amêndoas.

As sementeiras devem ser cobertas com telhas para evitar a incidência de chuvas, pois o excesso de água no substrato favorece a deterioração das amêndoas. Também devem ser protegidas contra o ataque de predadores, principalmente roedores e formigas. A proteção contra roedores pode ser feita com telas de arame colocadas sobre o leito de semeadura ou com funis invertidos, confeccionados com lâminas de alumínio e colocados nas colunas de sustentação da sementeira, o que impede o acesso dos roedores às amêndoas. O envolvimento da base das colunas de sustentação com algodão encharcado em óleo queimado constitui-se em forma de impedir que as formigas tenham acesso ao leito da semeadura.

Transplântio e manejo dos porta-enxertos no viveiro

O transplante das plântulas da sementeira para o recipiente em que o porta-enxerto será formado deve, preferencialmente, ser efetuado antes da abertura do primeiro par de folhas. Nesse estágio de desenvolvimento, é mais fácil remover a plântula da sementeira, pois a raiz primária ainda não apresenta raízes secundárias e possui tamanho compatível com a altura do saco de plástico para onde será transplantada. A realização do transplântio nesse estágio garante taxa de sobrevivência próxima a 100%.

No caso de plântulas que, no momento do transplântio, apresentem raiz primária com comprimento superior à altura do recipiente para onde será transplantada, há necessidade de poda da raiz primária. Para tanto, utiliza-se uma tesoura ou um canivete bem afiado para efetuar o seccionamento dessa raiz de tal forma que fique com comprimento compatível com a altura do recipiente. Essa prática não afeta o crescimento das mudas nem tem implicações para o desenvolvimento da raiz pivotante, pois a raiz primária regenera-se facilmente.

Eventualmente, algumas sementes, por ocasião do transplântio, apresentam-se desprovidas de raiz primária (Figura 12). Recomenda-se, nesses casos, que sejam devolvidas à sementeira, aguardando-se, então, que ocorra a emissão dessa estrutura, quando, então, serão transplantadas. Na quase totalidade de sementes com essa particularidade, a emissão da raiz primária requer período adicional de

30 a 45 dias na sementeira, ocasião em que a plântula já apresenta um ou dois pares de folhas completamente desenvolvidos. Convém ressaltar que a emergência do caule precedendo a emergência da raiz primária é mais comum em sementes semeadas sem casca e, mesmo assim, com frequência baixa, geralmente inferior a 5%.



Figura 12. Emissão da parte aérea em semente descascada de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) precedendo a emergência da raiz primária.

Os recipientes em que os porta-enxertos serão produzidos devem conter como substrato a mistura de 60% de solo e 40% de cama de aviário, devidamente fermentada, ou 60% de solo, 20% de pó de serragem e 20% de esterco de galinha, também fermentado. Apesar dessa sugestão, outras fontes de matéria orgânica também podem ser utilizadas na produção dos porta-enxertos.

É importante adotar estratégias para que os porta-enxertos, no momento de sua utilização, estejam isentos de pragas e doenças limitantes à cultura da castanheira-da-amazônia, tais como: os besouros enroladores-de-folhas (*Hybolabus amazonicus* Voss e *H. columbinus* Erichson) e os fungos causadores da mancha parda das folhas da castanheira (*Cercospora bertolletiae* Albuquerque), da ferrugem

das folhas da castanheira (*Phytophthora heveae* Thomp.) e da seca descendente, também conhecida como podridão seca (*Lasioidiploidia* sp.).

Após o transplântio, os porta-enxertos são mantidos em viveiro com cobertura de tela preta que possibilite 50% de interceptação da radiação solar. Ao atingirem a idade de quatro meses, recomenda-se que sejam adubados quinzenalmente com adubos foliares com macro e micronutrientes. Os porta-enxertos respondem muito bem à adubação foliar com fertilizantes que contenham os seguintes nutrientes: 5% de N, 12% de P_2O_5 , 18% de K_2O , 2% de Ca, 2,5% de Mg, 5% de S, 1,5% de B, 0,5% de Cu, 0,1% de Fe, 0,5% de Mn, 0,2% de Mo e 4% de Zn. Essa formulação é encontrada no mercado e deve ser aplicada na concentração de 4 ml do produto comercial por litro de água.

Para porta-enxertos com idade entre seis e oito meses, o tamanho mínimo do saco de plástico deve ser de 17 cm de largura e 27 cm de altura, com espessura mínima de 100 μ . Considerando os procedimentos técnicos indicados anteriormente, os porta-enxertos com idade entre seis e oito meses após a germinação apresentam as seguintes características:

- a) Número mínimo de 16 folhas abertas;
- b) Diâmetro mínimo do coleto de 0,5 cm a 2 cm;
- c) Altura entre 25 e 50 cm,
- d) Sistema radicular bem desenvolvido, sem raízes enoveladas, quebradas ou retorcidas.

Porta-enxertos com idade entre 12 e 18 meses após a semeadura devem ser produzidos em sacos de plástico com dimensões mínimas de 18 cm de largura e 35 cm de altura ou em outros tipos de recipientes com dimensões semelhantes. A espessura do plástico tem de ser no mínimo de 200 μ , para evitar que se rasguem durante o enchimento ou no transporte para o campo. As seguintes características são desejáveis em porta-enxertos com idade entre 12 e 18 meses:

- a) Número mínimo de 24 folhas abertas;
- b) Diâmetro mínimo do coleto de 1,5 cm a 2 cm;
- c) Altura mínima de 70 cm;
- d) Sistema radicular bem desenvolvido, sem raízes enoveladas, quebradas ou retorcidas.

Métodos de propagação assexuada

A propagação assexuada da castanheira é efetuada basicamente por enxertia, pois não há protocolos para a propagação por estaquia de ramos, alporquia e por cultura de tecidos. A enxertia pode ser efetuada pelos métodos de borbulhia em placa e por garfagem no topo em fenda cheia (Nascimento et al., 2010; Carvalho; Nascimento, 2016).

Enxertia pelo método de borbulhia em placa

O método de borbulhia em placa é o mais utilizado na propagação assexuada da castanheira. No entanto, é um pouco diferente do tradicionalmente utilizado em outras espécies, pois a enxertia é efetuada diretamente no campo, após o plantio dos porta-enxertos. Esse procedimento é necessário porque as gemas da castanheira são largas, exigindo que o caule do porta-enxerto apresente diâmetro em torno de 1,5 cm no ponto em que a janela será aberta para a inserção do enxerto. Normalmente, esse diâmetro é atingido entre um ano e um ano e meio após o plantio dos porta-enxertos no campo, ocasião em que estão com altura entre 1,0 m e 1,5 m, facilitando sobremaneira a operação de enxertia, pois o enxertador não precisa abaixar-se para sua execução. Como é efetuada a uma distância considerável do solo, os riscos de contaminação dos enxertos por microrganismos transportados por respingos de chuva são praticamente inexistentes. A contaminação por microrganismos, em particular por *Phytophthora heveae* Thompson, foi muito comum no passado, quando se fazia a enxertia, oito meses após o plantio dos porta-enxertos, à altura de 20 a 25 cm do colo da planta (Albuquerque et al., 1972).

A primeira etapa do método de enxertia de borbulhia em placa consiste no plantio dos porta-enxertos no campo, que deve ser efetutado no início da estação de chuvas, quando não ocorre irrigação; em áreas com irrigação suplementar, pode ser efetuada em qualquer época do ano. Em cultivos solteiros, devem ser plantados no espaçamento de 10 m x 10 m, em covas com dimensões mínimas de 40 cm x 40 cm x 40 cm. Já no caso de sistemas agroflorestais, para que não haja excesso de sombra para as demais culturas associadas quando as castanheiras atingirem mais de 15 anos de idade, o espaçamento adotado tem que ser, no mínimo, de 25 m x 25 m. Conquanto não existam informações consistentes no que concerne à adubação das covas, sugere-se, para solos de baixa fertilidade natural da Amazônia, que sejam adubadas com 5 L de esterco de galinha ou 10 L de cama de aviário e 300 g de superfosfato simples. Outras fontes de matéria orgânica também podem ser

usadas em substituição ao esterco de galinha e à cama de aviário, como a torta de mamona (2 kg por cova) e o esterco bovino (8 L por cova). Convém ressaltar que o esterco deve estar devidamente fermentado e que a torta de mamona deve ser incorporada à cova pelo menos 30 dias antes do plantio.

Durante a remoção do recipiente em que o porta-enxerto foi produzido e de sua colocação na cova, é preciso bastante cuidado para que não haja quebra do torrão, pois, caso isso ocorra, é grande a probabilidade de a planta não sobreviver. As mudas, principalmente aquelas com idade entre seis e oito meses, quando plantadas no campo, devem ser protegidas com barreira física para evitar o ataque de roedores, especialmente cutias, pois com essas idades as amêndoas ainda apresentam reservas alimentares, atraindo esses predadores. Para essa finalidade, podem ser utilizadas embalagens de refrigerante (popularmente conhecidas como garrafas PET) com capacidade mínima para 2 L, pois são eficientes, fáceis de serem colocadas, com custo insignificante e garantem 100% de proteção. Esses recipientes devem ser cortados transversalmente na parte superior e inferior, para obter um tubo com comprimento entre 20 cm e 22 cm (Figura 13).



Foto: José Edmar Urano de Carvalho

Figura 13. Porta-enxerto de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) recém-plantado e protegido com barreira física para evitar o ataque de roedores.

Um ano após o plantio, entre 40% a 50% dos porta-enxertos estão aptos para receberem o enxerto, pois já apresentam altura entre 1 m a 1,5 m e diâmetro no ponto de enxertia de, no mínimo, 1,5 cm.

A segunda etapa consiste na aquisição e no transporte das hastes porta-borbulhas. A quantidade adquirida deve ser 30% superior ao número de plantas que se pretende enxertar. Convém ressaltar que cada 100 cm de haste contém, em média, 40 gemas, dispostas alternadamente em duas fileiras opostas. Quando as gemas forem utilizadas no mesmo dia em que as hastes porta-borbulhas são destacadas das plantas matrizes, para mantê-las túrgidas, é suficiente enrolar as hastes em papel jornal umedecido com água e mantê-las à sombra. Caso não sejam utilizadas no mesmo dia, há necessidade de embalá-las para assegurar que as gemas se mantenham em condições adequadas para a enxertia. Para tanto, as hastes porta-borbulhas com comprimento entre 50 cm e 100 cm devem ser organizadas em feixes contendo, no máximo, dez unidades, os quais serão enrolados em papel-jornal umedecido com água e acondicionados em caixas de poliestireno expandido (isopor). Para evitar a perda de água, cada haste porta-borbulhas deve ser protegida, na base e no ápice, com parafina. Alternativamente, pode-se envolver essas porções, em extensão de 2 cm, com filme de PVC. Esse procedimento mantém as borbulhas em boas condições por até seis dias. No Peru, há relatos de que as hastes porta-borbulhas, quando parafinadas, podem ser utilizadas por até 15 dias (Corvera-Gomringer et al., 2010).

As hastes porta-borbulhas são retiradas de ramos plagiotrópicos, ou seja, de ramos de crescimento horizontal. Esse tipo de ramo é indicado porque as gemas oriundas deles originam ramos de crescimento ortotrópico (vertical) em proporção de 66,6%, o dobro do verificado quando as gemas são oriundas de ramos com crescimento ortotrópico. Em outras palavras, para cada três gemas retiradas de um ramo com crescimento plagiotrópico, duas originarão ramos ortotrópicos e uma, ramo plagiotrópico. O inverso é verificado quando as gemas são retiradas de ramos ortotrópicos.

A retirada das placas contendo as borbulhas pode ser efetuada com lenho ou sem lenho. No primeiro caso, a placa é retirada com uma porção do lenho, o qual é posteriormente removido. A decisão de retirar as placas com ou sem lenho depende do enxertador, alguns acham mais fácil da primeira maneira e outros, da segunda. Ressalte-se que, em termos de porcentagem de enxertos pegos, não há diferenças ao fazer-se a retirada de uma forma ou de outra. Na Embrapa Amazônia Oriental, tem sido usada com maior frequência a retirada das placas sem lenho (Figura 14).



Foto: José Edmar Urano de Carvalho

Figura 14. Placa contendo gema de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), retirada sem o lenho.

O momento ideal para coleta das hastes porta-borbulhas nas plantas é quando a porção terminal do ramo está em fase de renovação foliar, que se identifica facilmente pela coloração arroxeada das folhas novas. Essa fase de lançamento de folhas, que precede a floração, coincide com o período de menor precipitação de chuvas, que na Amazônia Oriental Brasileira estende-se de julho a outubro. Em estágio um pouco mais avançado, ou seja, quando as folhas apresentam cor verde-clara, as hastes também estão com gemas em ponto adequado. Nessas duas situações, a casca é facilmente removida do lenho. Na linguagem do enxertador, diz-se que o ramo está “soltando casca”. Para identificar se o ramo está soltando casca, basta fazer, com o canivete de enxertia, uma incisão transversal no ramo e observar se há um pequeno estalo quando a lâmina do canivete atinge o lenho. A exsudação de seiva no local em que se fez a incisão é outro indicativo de que o ramo está soltando casca.

Para efetuar a enxertia, inicialmente é feita a abertura da janela, com uma incisão horizontal efetuada com o canivete no local em que será posicionada a porção superior da placa contendo a borbulha. Em seguida, são efetuadas duas

incisões verticais, uma do lado esquerdo e outra do lado direito. A distância entre as duas incisões verticais deve ser aproximadamente igual à largura da placa. Posteriormente, com a ponta do canivete, efetua-se a abertura da janela, puxando-se a casca para baixo; insere-se a placa contendo a gema; e corta-se a casca da janela aberta em sua porção inferior (Figuras 15A, B e C). Finalmente, envolve-se o enxerto com a fita de enxertia (Figuras 15D e E). Recomenda-se que a janela seja aberta no lado em que o Sol nasce, para evitar aquecimento excessivo.

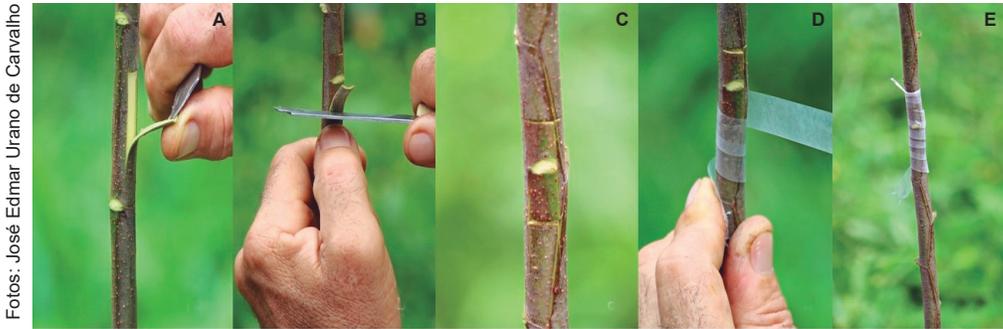


Figura 15. Etapas da enxertia em castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) pelo método de borbulhia em placa: abertura da janela (A), inserção da placa contendo a gema e corte da porção inferior da casca na janela aberta (B), gema inserida (C) e amarração do enxerto com fita de plástico (D; E).

A verificação da sobrevivência do enxerto é feita entre 20 e 25 dias após a enxertia, momento em que se remove a fita de enxertia e se raspa levemente, com a ponta do canivete, uma pequena porção da placa enxertada. Caso esteja verde, é indicativo de que o enxerto está vivo. Entretanto, se estiver marrom, deve ser providenciado novo enxerto na planta, pois não se obteve sucesso na enxertia. Enxertadores experientes fazem essa verificação sem necessidade de efetuar a raspagem, considerando apenas o aspecto visual da placa, principalmente no que concerne à turgidez e à cicatrização nas porções inferior e superior do enxerto. O novo enxerto deve ser efetuado, preferencialmente, em local um pouco abaixo do enxerto morto.

Quando o enxerto está vivo, efetua-se imediatamente a remoção, em forma de anel, de pequena porção da casca do porta-enxerto, situada um pouco acima da parte superior da placa contendo a gema. É importante que nenhuma gema do porta-enxerto permaneça entre a porção inferior do anel de casca retirado e a parte superior da placa enxertada. A porção da casca removida deve ter largura mínima de 1 cm. Essa operação tem por finalidade induzir a brotação da gema (Figura 16).

Na quase totalidade das espécies propagadas pelo método de borbulhia em placa, normalmente se faz a decapitação do porta-enxerto com o intuito de induzir a brotação da gema. Na castanheira-da-amazônia, recomenda-se apenas a retirada de um anel de casca na porção acima do enxerto. Esse procedimento é indicado pelo fato de que o ramo originado da gema pode apresentar crescimento ortotrópico ou plagiotrópico, ou seja, ter crescimento vertical ou horizontal. Quando apresenta crescimento horizontal, há necessidade de corrigir a direção de crescimento de tal forma que fique voltado para cima, o que é obtido tutorando-se o enxerto na porção do caule que foi anelada. Esse procedimento evita custos adicionais com a aquisição de tutores e de mão de obra para fincá-los no solo. A porção do porta-enxerto situada acima do local em que foi retirada a casca, com o passar do tempo, perde as folhas e seca, podendo, então, ser retirada. Nessa ocasião, o ramo originado do enxerto já está com a conformação desejada.



Foto: José Edmar Urano de Carvalho

Figura 16. Remoção da casca em porta-enxerto de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) para induzir a brotação do enxerto.

O início de brotação do enxerto, desde que a enxertia seja efetuada em época correta, inicia-se entre 10 e 15 dias após a retirada da fita de enxertia (Figura 17A). Há casos em que podem demorar mais de 3 e 6 meses para a brotação. Isso ocorre, com frequência, quando a enxertia é efetuada no período de novembro a janeiro, ocasião em que alguns ramos soltam casca, porém as gemas estão em fase de dormência. Decorridos de 15 a 25 dias do início da brotação do enxerto, já é possível verificar se a brotação apresenta crescimento ortotrópico ou plagiotrópico (Figuras 17B e C).

Fotos: José Edmar Urano de Carvalho



Figura 17. Início da brotação da gema no enxerto (A) e enxertos brotados de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), com crescimento ortotrópico (B) e plagiotrópico (C).

Quando os enxertos com crescimento plagiotrópico atingem de 20 cm a 25 cm de comprimento, há necessidade de tutorá-los, direcionando o ramo para cima de tal forma que fique em posição vertical, amarrando-o na porção do porta-enxerto acima do ponto de anelamento (Figura 18).

Foto: José Edmar Urano de Carvalho



Figura 18. Ramo de crescimento plagiotrópico de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) oriundo do enxerto tutorado no próprio porta-enxerto.

O sucesso na enxertia pelo método de borbulhia em placa é determinado por diversos fatores. Para obter porcentagens de enxertos pegos igual ou superior a 80%, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- a) Efetuar a enxertia, na época correta, com borbulhas de boa qualidade;
- b) O porta-enxerto deve estar vigoroso e em fase de lançamento de folhas;
- c) O diâmetro do porta-enxerto deve ser compatível com a placa contendo a gema;
- d) O enxertador deve ter bastante habilidade e ser ágil nas operações de abertura da janela, retirada da placa contendo a borbulha e inserção desta no porta-enxerto.

Além disso, é de fundamental importância a desinfecção periódica do canivete e dos demais instrumentos cortantes utilizados na operação de enxertia com álcool 70%, para evitar a transmissão de doenças, principalmente de *Lasiodiplodia* sp. (Figura 19), que não só ocasiona a morte do enxerto, como pode também comprometer a sobrevivência do porta-enxerto. A desinfecção do canivete pode ser efetuada com álcool 70% ou por meio de flambagem, com a chama de um isqueiro.



Foto. José Edimar Urano de Carvalho

Figura 19. Enxerto de castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) infectado por *Lasiodiplodia* sp.

Enxertia pelo método de garfagem no topo em fenda cheia

Esse método de enxertia pode ser utilizado tanto em porta-enxertos previamente estabelecidos no campo como em porta-enxertos ainda em fase de viveiro. No primeiro caso, os procedimentos de produção do porta-enxerto e de plantio são os mesmos indicados para a propagação pelo método de borbulhia em placa. Por outro lado, para a enxertia em porta-enxertos enviveirados, os recipientes para produção das mudas obrigatoriamente têm de apresentar dimensões mínimas de 18 cm de largura, 35 cm de altura e espessura de 200 μ . Tal recomendação é imperativa, haja vista que os porta-enxertos só estão aptos para serem enxertados entre 10 e 12 meses após a germinação das sementes, ocasião em que apresentam diâmetro compatível com o diâmetro do ramo a ser enxertado (Carvalho; Nascimento, 2016). Recipientes com essas dimensões permitem, ainda, que os porta-enxertos sejam mantidos em viveiro por até 18 meses.

A enxertia de garfos no topo deve ser efetuada em distância igual ou superior a 20 cm do colo da planta. É importante que os porta-enxertos estejam aptos para serem enxertados entre junho e agosto, pois, nesse período do ano, as castanheiras estão com folhas completamente maduras e é próximo do período de renovação foliar. Quando as ponteiras (garfos) são retiradas da árvore matriz nessa época, a brotação dos enxertos é rápida e uniforme e obtém-se boa porcentagem de enxertos pegos (Carvalho; Nascimento, 2016). Convém salientar que esse período do ano se constitui apenas em indicativo, pois o mais importante é a observação semanal das plantas para se detectar o momento ideal em que as ponteiras devem ser retiradas da planta-mãe.

Para a enxertia pelo método de garfagem no topo, os garfos devem ser retirados de ramos ortotrópicos, para assegurar crescimento vertical do enxerto. Preferencialmente, devem ser utilizados garfos que, no ponto em que serão inseridos no porta-enxerto, apresentem diâmetro entre 0,8 cm e 1,0 cm. Garfos com diâmetros menores implicam baixa porcentagem de enxertos pegos e garfos com diâmetros maiores são, na quase totalidade, incompatíveis com o diâmetro de porta-enxertos com idades entre 10 e 18 meses.

Após serem retirados da planta-mãe, os garfos são submetidos à toaleta, ou seja, efetua-se a remoção de todas as folhas, com exceção das duas folhas terminais, que são seccionadas transversalmente, deixando-se apenas cerca de 4 cm a 5 cm

do limbo foliar. A remoção das folhas deve ser efetuada com canivete bem afiado ou com tesoura. Nunca se deve puxar as folhas com as mãos, pois pode ocorrer que parte da casca do garfo seja rasgada, o que favorece a infecção por fungos saprófitas. Normalmente, os garfos são enxertados com comprimento entre 15 cm e 20 cm, mas devem ser destacados da planta-mãe com comprimento um pouco maior, ou seja, 25 cm a 35 cm. Essa recomendação é importante, pois há rápida perda de água na porção do garfo que foi cortada e, como muitas vezes caem no solo, também pode haver contaminação por microrganismos.

A decapitação do porta-enxerto deve ser feita no ponto em que a largura deste seja aproximadamente igual à largura do enxerto, evitando-se, no entanto, que esse ponto esteja em distância inferior a 20 cm do colo da planta, para evitar contaminações por fungos patogênicos, resultantes de respingos. Imediatamente após a decapitação do enxerto, abre-se, com um canivete bem afiado, uma fenda com comprimento de 3 cm a 4 cm, onde será inserido o enxerto, o qual deverá apresentar em sua porção basal corte em bisel duplo, com comprimento aproximadamente igual ao da fenda aberta no porta-enxerto (Figuras 20A e B). Finalmente, insere-se o enxerto no porta-enxerto, efetua-se a amarração e protege-se o enxerto com câmara úmida, constituída por um saco de plástico transparente umedecido internamente com água (Figuras 20C, D e E). A câmara úmida será removida somente após a brotação do enxerto, que ocorre entre 20 e 30 dias após a enxertia.

As mudas enxertadas por esse método estão aptas para serem plantadas no local definitivo entre 2 e 3 meses após a brotação do enxerto. Nessa ocasião, devem apresentar, no mínimo, dois pares de folhas completamente maduras.

No caso da enxertia de porta-enxertos previamente estabelecido no campo, os procedimentos são os mesmos adotados para a produção de mudas em viveiro, com exceção de que a câmara úmida deve ser recoberta com papel jornal, para evitar aquecimento excessivo do enxerto pelos raios solares.

É importante ressaltar, a exemplo do recomendado no método de enxertia de borbulhia em placa, a necessidade de desinfecção periódica, com álcool 70% ou por meio de flambagem, dos canivetes e das tesouras utilizados na operação de enxertia.



Figura 20. Etapas da enxertia da castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) pelo método de garfagem no topo em fenda cheia: decapitação do porta-enxerto (A), abertura de fenda longitudinal no porta-enxerto (B), inserção do enxerto (C), amarrido do enxerto (D) e proteção do enxerto com câmara úmida (E).

Considerações finais

Os atuais sistemas de produção de mudas de castanha-da-amazônia são relativamente satisfatórios e têm propiciado o plantio dessa espécie ao longo dos tempos. Obviamente, precisam ser aperfeiçoados cada vez mais, principalmente no que concerne aos problemas de germinação lenta e desuniforme das sementes.

A propagação por estacas de ramos ou de raízes constitui-se em linha de pesquisa pouco explorada até os dias atuais, sendo de grande importância o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a produção de mudas por esse método de propagação. Plantas propagadas por estacas contornam o problema da variação intraclonal, decorrentes de possíveis interações entre enxerto e porta-enxerto.

Um aspecto que merece consideração é a limitada implantação de pomares com plantas enxertadas, fato decorrente das dificuldades de coleta de material propagativo (gemas e ponteiros), que exige mão de obra especializada para escalar as árvores, pois, invariavelmente, apresentam altura muito elevada. Além disso, há de considerar-se a carência de enxertadores devidamente treinados para a enxertia da castanha. Também merece ser evidenciado que, até 2016, os custos com a implantação de pomares com plantas enxertadas eram bastante

elevados, haja vista que, até então, a enxertia era efetuada somente pelo método de borbulhia em placa, em porta-enxertos previamente estabelecidos no campo, exigindo, portanto, o deslocamento do enxertador até o local em que os porta-enxertos estavam implantados. Diante desses fatores limitantes, nenhum viveirista do Brasil nem dos demais países produtores de castanha-da-amazônia produzem, em larga escala, mudas enxertadas de castanheira-da-amazônia.

Os pomares de castanheira até então implantados não têm apresentado sustentabilidade econômica em decorrência da baixa produtividade de frutos. Esses pomares foram implantados, predominantemente, com mudas oriundas de sementes sem nenhum critério de seleção. Nos poucos castanhais de cultivo implantados com mudas enxertadas, com raríssimas exceções, não se considerou a diversidade de clones no pomar, que é de grande importância para se obter boa taxa de conversão de flores em frutos, pois a espécie é predominantemente autoincompatível.

Finalmente, é bom salientar que a propagação assexuada da castanheira-da-amazônia somente se tornará importante para o sistema de produção dessa espécie quando se dispuser de variedades clonais que aliem atributos de alta produtividade de frutos com elevada compatibilidade genética entre si. A Embrapa iniciou em 2014 um programa de melhoramento genético da castanheira visando à produção de frutos, tendo sido implantados cinco jardins clonais, os quais possuem atualmente cerca de 60 matrizes clonadas e em fase de avaliação.

Referências

- ALBUQUERQUE, F. C. de; DUARTE, M. de L. R.; MANÇO, G. R.; SILVA, H. M. e. **Morte de enxertos de castanheira-do-pará**. Belém, PA: Ipean, 1972. 7 p. (IPEAN. Comunicado, 35).
- BORDALES-LOZANO, R. M.; AUCA, E. C.; DIONÍSIO, L. F. S. Rooting of juvenile cuttings of Brazil nut trees using indolbutyric acid in sub-irrigation chamber. **Revista Agroambiente**, v. 13, p. 222-231, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v13i0.5691>.
- CAMARGO, I. P. de. **Estudos sobre a propagação da castanheira-do-brasil** (*Bertholletia excelsa* Hum. & Bonpl.). 1997. 127 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CARVALHO, J. E. U. de; LEÃO, N. V. M.; MÜLLER, C. H. Variação no grau de umidade em sementes individuais de castanha-do-brasil. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1., 1999, Belém, PA. **Resumos Expandidos...** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. p. 253-256. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/394999>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- CARVALHO, J. E. U. de; NASCIMENTO, W. M. O. do. **Enxertia da castanheira-do-brasil pelo método de garfagem no topo em fenda cheia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 283). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1049139>. Acesso em: 20 ago. 2021.

CORDEIRO, I. M. C. C.; LAMEIRA, O. A.; OLIVEIRA, F. de A.; WENDLING, I. Enraizamento de estacas juvenis de *Bertholletia excelsa* com diferentes concentrações de ácido indol-butírico. **Agrociência**, v. 50, n. 2, p. 227-238, feb./marzo. 2016.

CORVERA-GOMRINGER, R.; TORRES, D. del C.; PALOMINO, W. S. **La castaña amazónica (*Bertholletia excelsa*)**: manual de cultivo. Puerto Maldonado: IAP, 2010. 71 p.

CUSI-AUCA, E.; DIONÍSIO, L. F. S.; BARDALES-LOZANO, R. M.; SCHWARTZ, G. Propagation of brazil nut (*Humb. y Bonpl.*) seedlings using seeds in mini-greenhouses. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 12, n. 4, p. 300-313, out./dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i4.5222>.

FIGUEIREDO, F. J. C.; CARVALHO, J. E. U. de; FRAZÃO, D. A. C. **Nível crítico de umidade de sementes e seus efeitos sobre a emergência de plântulas de castanha-do-brasil**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1990. 17 p. (Embrapa-CPATU. Boletim de pesquisa, 113). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/379300>. Acesso em: 21 jul. 2021.

FRAZÃO, D. A. C.; MÜLLER, C. H.; FIGUEIREDO, F. J. C.; MÜLLER, A. A.; PEREIRA, L. A. F. Escarificação química na emergência de sementes de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 6, n. 1, p. 83-90, 1984.

MORAIS, R. P.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B. de. Propagação vegetativa de *Bertholletia excelsa*, H.B.K. por estaquia. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 4., 2008, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008. p. 122-131.

MÜLLER, C. H. **Quebra da dormência da semente e enxertia em castanha-do-brasil**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1982. (Embrapa-CPATU. Documentos, 16). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/381176>. Acesso em: 21 jul. 2021.

NASCIMENTO, W. M. O. do; CARVALHO, J. E. U. de.; MÜLLER, C. H. **Castanha-do-brasil**. Jaboticabal: Funep, 2010. 41 p. (FUNEP. Série frutas nativas, 8).

PEREIRA, L. A. F.; MULLER, C. H.; MULLER, A. A.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; FRAZÃO, D. A. C. **Escarificação mecânica e embebição na germinação de sementes de castanha-do-brasil**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1980. 13 p. (Embrapa-CPATU. Boletim de pesquisa, 10). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/376820>. Acesso em: 21 jul. 2021.

PETRECHEN, G. P.; ARDUIN, M.; AMBRÓSIO, J. D. Morphological characterization of brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) fruit pericarp. **Journal of Renewable Materials**, n. 7, n. 7, p. 683-692, July 2019. DOI: <https://doi.org/10.32604/jrm.2019.04588>.

SILVA, M. F. da; ROSA, N. de A. Estudos botânicos na área do Projeto Carajás, Serra Norte, Pará. II. Regeneração de castanheiras em mata primária na Bacia do Itacaiúnas. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1986. Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1986. v. 2, p. 167-170.

SOARES, T. C. **Análise da qualidade fisiológica e microbiológica de sementes de *Bertholletia excelsa* Bonpl. provenientes da Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri**. Relatório Final (2018-2019). Marabá: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, 2019. 34 p.

TSOU, C.; MORI, S. A. Seed coat anatomy and its relationship to seed dispersal in subfamily Lecythidoideae of the Lecythidaceae (The Brazil Nut Family). **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v. 43, n. 1, p. 37-56, jan. 2002. Disponível em: <https://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/toc/issue-2002-1.html>. Acesso em: 21 jul. 2021.

Capítulo 3

Alternativas de baixo custo para produção de mudas

Marcelino Carneiro Guedes; Ediglei Gomes Rodrigues; Edgar Cusi Auca; Dennis del Castillo Torres; Lúcia Helena de Oliveira Wadt; Joana Keila da Silva Gomes; Ezaquiel de Souza Neves; Thamires Viana Alves de Sousa

Introdução

A castanha-da-amazônia é um dos principais produtos florestais não madeireiros geradores de riquezas para os agroextrativistas. A produção de seus frutos depende quase que exclusivamente do extrativismo realizado em castanhais nativos, pois são relativamente poucas as áreas de plantio para fins de produção comercial. Apesar de o Brasil ter uma extensa área de florestas com castanhais nativos, observa-se que os castanhais atualmente explorados estão envelhecidos. Este fato, associado à intensificação da frequência de eventos climáticos extremos, torna cada vez mais urgente a renovação dos castanhais, pois as castanheiras jovens têm mais plasticidade (Schimbl et al., 2019) e são menos afetadas por restrições climáticas, tais como aquelas relacionadas a anos de fortes “El Niño”, que são associados a períodos secos mais prolongados e maiores temperaturas em partes da Amazônia (Pastana et al., 2021).

Ao mesmo tempo que o envelhecimento dos castanhais e as mudanças climáticas propiciam quedas na produção de frutos (Pastana et al., 2021), também está ocorrendo o aumento da demanda, principalmente no mercado interno brasileiro (Sousa, 2018). Essa conjuntura de situações leva à necessidade de plantios para o enriquecimento ou a expansão dos castanhais, que, além de garantirem a produção e a cadeia de suprimentos para diversos produtos derivados da castanha, também têm potencial para colocar os agroextrativistas como importantes atores na luta contra a degradação ambiental na Amazônia.

Devido à sua plasticidade ecológica e adaptação a condições menos favoráveis de disponibilidade de nutrientes, diversos autores têm apontado o potencial da castanheira para plantios em áreas antes consideradas improdutivas e na

recuperação de áreas degradadas². Plantios de castanheira por agricultores familiares podem, portanto, ser uma importante contribuição a paisagens rurais mais sustentáveis, especialmente considerando os serviços ambientais associados à recomposição florestal com uma espécie de longa vida, que é uma característica da espécie da castanheira-da-amazônia.

No entanto, vários fatores dificultam o plantio e o cultivo da espécie *Bertholletia excelsa*. Uma das principais dificuldades está relacionada aos problemas na produção de mudas. A produção de mudas via assexuada, seja por enxertia, seja por estaquia, ainda é uma tecnologia distante da realidade dos agroextrativistas. Nesse caso, a produção via sementes é a forma mais prática, permitindo que os agricultores possam produzir suas próprias mudas. Além disso, as mudas oriundas de sementes apresentam maior variabilidade genética, podem ser produzidas sem necessidade de ambiente controlado ou de mudas já estabelecidas em campo para porta-enxerto, têm menor custo de produção e não necessitam de coleta de material em árvores adultas de grande porte. Mesmo assim, há a possibilidade de certo grau de melhoramento genético, por meio da seleção de sementes oriundas de matrizes reconhecidas como sendo mais produtivas e com sementes grandes (graúdas). Detalhes sobre a seleção de matrizes e a coleta de sementes para a produção de mudas podem ser encontrados no capítulo 4.4, que trata do melhoramento genético da castanheira. Importante destacar aqui a necessidade de coletar sementes em pelo menos 20 castanheiras matrizes selecionadas para se obter uma população com diversidade suficiente para evitar problemas de incompatibilidade genética e baixa produção de frutos.

As vantagens de produção de mudas via semente é algo facilmente entendido pelos agroextrativistas. Todavia, a germinação das sementes normalmente é lenta, desigual e, frequentemente, ocorre em baixa porcentagem, pois há uma dormência imposta pelo tegumento ou casca da semente. Neste texto, será considerada semente a castanha viva que pode germinar tanto com a casca (também chamada “pivídia” pelos castanheiros) como sem o tegumento – apenas o endocarpo. A “castanha dry”, comercializada com casca, ou o endocarpo após processamento para comercialização, também chamado de amêndoa ou noz, não são considerados sementes, pois os processos de secagem com aquecimento reduzem ou levam a zero a taxa de germinação.

² Ver capítulo 5 para uma discussão mais aprofundada sobre esse tema.

O objetivo do capítulo é apresentar uma revisão da literatura sobre pesquisas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias simples para produção de mudas, assim como as experiências desenvolvidas no âmbito da rede Kamukaia, do Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), e de viveiristas que trabalham com a espécie. As recomendações de métodos práticos e simples permitem a produção de mudas de castanheira-da-amazônia em escala familiar, de forma acessível, com qualidade e baixo custo.

O capítulo descreve diferentes métodos e técnicas para otimizar etapas do processo de germinação e produção de mudas, com resultados e recomendações para os seguintes tópicos: estruturas para as sementes e mudas; desinfecção das estruturas e sementes; estratificação e retirada da casca; semeadura e germinação; transplante, condução e desenvolvimento das mudas; e produção de mudas em miniestufas e após armazenamento nos próprios frutos (ouriços). Para avaliação da qualidade da muda produzida e da eficiência das técnicas, são apresentadas medições e observações relacionadas à porcentagem e velocidade de germinação, crescimento e mortalidade, além de parâmetros morfológicos e outros indicadores, como o índice de qualidade de Dickson (IQD), que avalia a relação entre a parte aérea e a raiz.

Estrutura para a germinação e produção de mudas

Os viveiros altamente tecnificados, com estruturas e materiais mais sofisticados, estão distantes da necessidade de produzir mudas a baixo custo e com maior acesso aos produtores agroextrativistas. Dessa forma, este capítulo foca nas possibilidades de estruturas condizentes com a realidade dos agricultores familiares da Amazônia, utilizando materiais existentes na propriedade ou nas proximidades, como madeira serrada ou roliça e palhas de palmeiras para a cobertura.

A estrutura que será utilizada deve ser planejada de acordo com as necessidades e os objetivos do produtor e pode ser de dois tipos: i) temporária, que visa à produção de mudas para uma determinada área e por um período limitado; e ii) permanentes, para produção de mudas de maneira contínua, por tempo indeterminado, podendo ser a produção voltada ao comércio, para uso próprio de empresas ou pessoa física.

A escolha do local onde será construída a estrutura é um passo importante, devendo ser considerados alguns aspectos que influenciam na produção, elencados a seguir.

- O local deve ser próximo a uma fonte de água (poço, riacho, igarapé) para facilitar a irrigação das mudas;
- O terreno deve ser plano ou com leve inclinação, para evitar que a água fique empocada;
- O viveiro não deve ser construído muito próximo de árvores grandes, para evitar fatores como queda de galhos, acúmulo de folhas e sombreamento excessivo;
- O tamanho do espaço depende do objetivo do produtor, que deve considerar o espaçamento adequado entre as estruturas: sementeira, bancadas e corredores de acesso, além dos próprios tamanhos das estruturas em si.

Tanto a sementeira quanto as bancadas que servirão de canteiros para a germinação e o crescimento inicial das mudas devem ser construídos suspensos a 1 m do chão (Figuras 1A e C), para evitar que as sementes ou as mudas sejam predadas por formigas e roedores (Müller, 1981). No caso de reaproveitamento de baldes para confecção de miniestufas para produção de mudas (Figura 1B), as plantas já ficam fisicamente protegidas pelos recipientes.

Após germinadas, as mudas ainda ficam com a castanha aderida ao caulículo durante vários meses, o que pode atrair predadores, como os roedores. Portanto, cada estaca, ou “pé”, da base de sustentação da sementeira e dos canteiros deve ser revestida com cano de PVC e pintada com óleo queimado, ou revestida com alumínio ou outro material que dificulte o acesso de formigas e roedores (Müller, 1981).

As bancadas e as sementeiras podem ser confeccionadas com tábuas e madeira retirada na própria área, para evitar o uso de estruturas metálicas, que são bem mais caras e difíceis de encontrar em regiões amazônicas de difícil acesso. Recomenda-se que a sementeira seja preenchida com substrato até uma profundidade mínima de 20 cm, pois as plântulas de castanheira apresentam sistema radicular que se desenvolve rapidamente, muitas vezes emitindo as raízes antes de lançar a parte aérea. Como substrato, pode ser usado areia pura ou areia mais serragem curtida, misturadas em uma proporção de três partes de serragem para sete partes de areia ($3/7 = 30\%$).



Figura 1. Bancadas e sementeiras suspensas para produção de mudas de castanheira-da-amazônia (A) reaproveitamento de baldes plásticos (B); detalhe da estrutura de madeira e mudas maiores em sacolas plásticas (C).

Na fase inicial de produção de mudas, o controle do nível de luminosidade ao qual as plantas estão expostas é um fator fundamental. Parte do viveiro, a qual se utiliza para colocar as mudas após a retirada da sementeira, deve ser coberta de forma que ocorra a interceptação de 50% da luz solar. Essa cobertura pode ser feita com qualquer tipo de palha de palmeiras disponível na localidade ou com tela sombrite 50%. A outra parte, com aproximadamente 25% de sombreamento, é o local para onde as mudas já pegas serão transferidas após o seu estabelecimento, devendo aí ficar até o momento do plantio.

Desinfecção das estruturas e sementes

Ainda não existem inseticidas e fungicidas com registro no Mapa para o tratamento das sementes ou amêndoas de castanha-da-amazônia. Como alternativa para a desinfecção das sementeiras, assim como o substrato, antes da semeadura, pode ser usada água fervente em todo o substrato, incluindo a estrutura. Uma maneira fácil e de baixo custo para realizar esse procedimento é reaproveitar latas de tinta de 18 L, que podem ser utilizadas para ferver a água em uma fogueira feita próximo ao viveiro. Importante: não deve ser jogada água fervendo nas sementes, apenas no substrato e na estrutura da sementeira. A etapa da desinfecção é uma das mais importantes durante a produção de mudas de castanheiras, para evitar o desenvolvimento de pragas e doenças. A castanha possui elevado teor de gordura e carboidratos, sendo altamente atrativa para formigas, outros insetos e fungos, sendo também necessária sua desinfecção, antes e após a semeadura.

Fungicidas e inseticidas químicos sintéticos podem ser de difícil acesso ao produtor, tanto pela questão do custo, quanto pela dificuldade em encontrá-los nos interiores da Amazônia. Outra questão relacionada ao uso desses produtos é a dificuldade em seguir uma dosagem adequada, devido às dificuldades na leitura e interpretação das bulas com as recomendações, em uma realidade em que há carência de extensão rural e assistência técnica para atender os agroextrativistas. Há também a possibilidade real de contaminação se não há o devido cuidado na manipulação do produto e no uso de equipamentos de proteção. Mesmo com a aplicação desses produtos sintéticos, há relatos de elevado apodrecimento das sementes, o que reforça ainda mais a necessidade da busca por métodos alternativos de controle de fungos e insetos.

Testes empíricos indicam que tanto o fungicida quanto o inseticida podem ser substituídos pelo óleo de neem ou de andiroba, sendo este um produto cujo uso é amplamente difundido na Amazônia brasileira, sendo empregado como remédio ou repelente de insetos. O óleo ou azeite de andiroba, quando aplicado nas sementes descascadas, permitiu obter elevada porcentagem de germinação e redução do número de sementes danificadas por formigas ou mesmo podres. Recomenda-se fazer a imersão das sementes por pelo menos 2 minutos no óleo de andiroba antes de colocá-las na sementeira. A predação, principalmente por formigas, e o apodrecimento das sementes ocorrem principalmente nos primeiros 15 dias após a semeadura. Esse é o período mais crítico em termos de perdas de sementes,

sendo necessário o produtor ficar muito atento durante esse intervalo. A água para a irrigação da sementeira deve ser misturada com óleo de andiroba e aplicada semanalmente sobre o substrato com as sementes por pelo menos 3 semanas, na proporção de uma colher de óleo (aproximadamente 5 ml) para cada 20 L de água. Após a diferenciação dos tecidos meristemáticos (eles ficam esverdeados e endurecidos), que irão originar a raiz e a parte aérea da semente, praticamente não há mais risco de esta apodrecer.

Outro método simples e natural recomendado para proteger as amêndoas do ataque de fungos é o uso de cinzas da combustão de madeira (Cusi-Auca et al., 2018). As amêndoas das sementes selecionadas e já descascadas, inteiras e livres de qualquer dano, devem ser envolvidas com a cinza no momento da semeadura, processo que também pode ser realizado após a imersão dessas no óleo de andiroba, o que melhora a formação de uma camada protetora em volta da semente. Se a seleção das sementes for muito rigorosa, Cusi-Auca et al. (2018) relatam que a desinfecção pode não ser necessária. No entanto, por precaução, e se houver disponibilidade dos produtos naturais citados, é recomendável realizar a desinfecção. Esses produtos naturais são de fácil acesso, não são nocivos e têm baixo custo, podendo ser encontrados e retirados da própria floresta e da área da propriedade.

Escarificação, seleção das sementes e retirada do tegumento lenhoso

Após a abertura dos ouriços selecionados para coleta das sementes, é fundamental que se realize a triagem das sementes, colocando-as em recipiente com água e descartando aquelas que boiarem, pois estarão vazias, “chochas” ou com algum dano na amêndoa.

As sementes de castanha possuem um tegumento externo chamado de casca ou casquilho, que envolve o endocarpo, que é a parte comestível conhecida como amêndoa. Esse tegumento é muito duro, espesso e lignificado, causando dormência física e dificuldades de germinação (Kainer et al., 1999). Sem uma escarificação física desse tegumento, que o rompa completamente ou pelo menos crie fissuras na sua superfície, facilitando as trocas gasosas e a entrada de água, a germinação será muito irregular e poderá demorar mais de um ano para acontecer. Assim,

a etapa da escarificação das sementes é uma das mais importantes para se ter sucesso na produção de mudas de castanheiras em um tempo menor.

Dessa forma, para acelerar a germinação, se faz necessária a escarificação ou a completa remoção do tegumento da semente antes da sementeira. No entanto, a remoção do tegumento sem danificar a amêndoa não é uma atividade fácil de se realizar, pois qualquer dano facilitará o ataque de microrganismos patogênicos e seu apodrecimento. Alternativas para facilitar o descascamento e obter boas amêndoas para sementeira e uma germinação mais uniforme são: i) estratificação em serragem dentro de miniestufas; e ii) armazenamento das sementes dentro do próprio fruto. Esses métodos, que serão detalhados no final do capítulo, representam práticas que facilitam o trabalho para os produtores, não exigindo o acompanhamento frequente, pois são utilizadas condições naturais de germinação das sementes e estas ficam protegidas da ação de roedores e outros predadores.

Esses métodos podem ser facilmente aplicados nas colocações dos castanheiros e não precisam de muito controle, mas necessitam de maior tempo de estratificação. A Figura 2A ilustra as camadas de sementes da castanha estratificadas com a própria casca da castanha decomposta. Se o produtor tiver necessidade de realizar logo a sementeira, uma alternativa mais rápida é a imersão das castanhas na água (Figura 2B).

As sementes devem ficar embebidas em água durante pelo menos 15 dias para facilitar a retirada do tegumento. Contudo, isso exige que a água seja corrente ou trocada diariamente, senão pode ocorrer a fermentação das amêndoas. É, portanto, um processo que demanda o monitoramento e o acompanhamento diário por parte do agroextrativista para garantir seu sucesso.

Após a estratificação, deve ser realizada nova seleção das sementes para eliminar aquelas com sinal de podridão, antes de ir para a quebra e a retirada da casca. A retirada da casca para sementeira apenas da amêndoa pode ser realizada com auxílio de um torno de bancada (Figura 3.2C) ou de um quebrador de castanha (Figura 2D). Detalhes sobre como usar esses equipamentos e dicas para retirada da casca sem danificar a amêndoa serão vistos mais à frente.



Fotos: Edigar Cusi-Auca (A, B e C); Marcelino Guedes (D)

Figura 2. Estratificação de sementes de castanheira-da-amazônia em camadas alternadas com a própria casca da castanha decomposta (A); sementes de castanha imersas em água para facilitar a quebra e a retirada da casca (B); descasca da castanha com auxílio de torno de bancada (C); e quebrador de castanha, para retirada da amêndoa que será semeada (D).

Após a retirada da casca das sementes da castanha, deve-se semear apenas as amêndoas completamente saudáveis sem nenhum dano. Todas aquelas com sinal de dano mecânico durante a quebra (Figura 3), como as cortadas, as quebradas, com presença de trincas e fissuras, assim como aquelas com danos biológicos, como indício de podridão ou presença de fungos, devem ser descartadas.



Figura 3. Danos mecânicos em amêndoas de castanha-da-amazônia que justificam seu descarte e não utilização na produção de mudas.

Semeadura, germinação das sementes e suas características

Antes de colocar as amêndoas para a germinação na sementeira, é importante saber que essas possuem dois polos germinativos: um que originará o caule e outro, a raiz (Müller, 1981). A extremidade mais arredondada corresponde à extremidade que dará origem ao caule e deve ser colocada voltada para cima. A outra extremidade, que se apresenta em formato mais triangular e pontiagudo, deve ser colocada para baixo (Corvera-Gomringer et al., 2010). Esse procedimento facilita a manipulação das plântulas no momento da repicagem e gera mudas de melhor qualidade. Na dúvida sobre a identificação dos polos por onde sairão a raiz e o caule, a semente pode ser colocada “deitada” na sementeira.

Com a sementeira preparada e nivelada, devem ser feitos sulcos a cada 5 cm, com, aproximadamente 1 cm de profundidade por 1 cm de largura, nos quais serão colocadas as amêndoas para germinar (Figura 4B). Deve-se utilizar o máximo de

espaço possível na sementeira. As amêndoas não devem ficar afastadas umas das outras mais que 1 cm.



Fotos: Marcelino Guedes

Figura 4. Sementes sadias de castanheira-da-amazônia selecionadas para semeadura, mostrando o polo germinativo radicular, com a borda inferior mais afinada, e o polo germinativo caulinar, com a borda superior mais arredondada (A); processo de semeadura em canaletão com areia (B).

Normalmente, as sementes sem a casca começam a germinar em menos de um mês (Müller, 1981). O monitoramento deve ser constante após colocar as amêndoas para germinar, pelo menos até os 15 primeiros dias, quando ocorrem os maiores índices de podridão das amêndoas. Nesse período, pelo menos uma vez a cada 2 ou 3 dias, deve-se remover levemente o substrato de cima da amêndoa, sem movê-la do lugar, para verificar sua viabilidade. As amêndoas podres ou danificadas por insetos devem ser retiradas da sementeira e descartadas longe do viveiro. Também devem ser retiradas e descartadas as partes superficiais do substrato onde forem observados desenvolvimento de fungos.

Germinação de sementes e produção de mudas de castanheira-da-amazônia em miniestufas

Esse método simples, acessível e de baixo custo para produção de mudas de castanha foi desenvolvido no IIAP e adaptado na Embrapa. Ele compreende três etapas, que são a estratificação, a germinação e o crescimento das mudas, conforme os passos a seguir.

Preparação de miniestufas

Uma miniestufa (Figura 5A) é preparada utilizando um balde plástico de 20 L de capacidade, com sua respectiva tampa, devidamente desinfetado com solução de água e hipoclorito de sódio a 2%. Após a limpeza, fura-se um buraco de 4 mm de diâmetro, 5 cm abaixo da tampa (Figura 5B). Esse buraco é muito importante para permitir a troca de gases (Cusi-Auca et al., 2018).

Fotos: Joana Keilla da Silva Gomes



Figura 5. Miniestufas para produção de mudas de castanheiras, preparadas utilizando baldes plásticos de 20 L de capacidade, com suas respectivas tampas (A), com detalhe do furo de 4 mm de diâmetro, localizado 5 cm abaixo da tampa, para trocas gasosas (B).

Estratificação das sementes na miniestufa

Como já foi colocado anteriormente, as sementes de castanha germinam em um tempo muito menor quando o tegumento externo que reveste o endocarpo é removido. No entanto, a remoção do tegumento é uma operação que precisa ser feita com muito cuidado, pois qualquer dano à amêndoa representa a porta de entrada para fungos. Para facilitar a retirada do tegumento, as sementes podem ser deixadas, aproximadamente, 5 meses em uma miniestufa, misturadas com algum substrato. Cada miniestufa, no processo de estratificação, pode conter até 10 kg de castanhas (180-200 sementes/kg), que devem ser lavadas anteriormente e selecionadas com máximo cuidado para eliminar aquelas que apresentam qualquer defeito físico.

Diversos substratos podem ser usados, tais como:

- Areia lavada do rio;
- Serragem de partículas grosseiras (maravalha) decomposta;
- Casca de castanha decomposta há mais de 3 anos;
- Terra da floresta, eliminando todos os tipos de insetos.

Qualquer substrato utilizado deve ser passado por uma peneira ou alguma malha, com furos em torno de 0,5 cm de diâmetro, para que um material homogêneo e solto seja obtido. Em testes realizados no IIAP com três tipos de substratos (serragem, terra florestal e casca de castanha decomposta), o substrato terra florestal propiciou menor tempo no descascamento e maior percentual de sementes saudáveis ($72 \pm 13,7\%$), conforme a avaliação feita no momento da retirada do tegumento. Resultado semelhante foi obtido em teste feito na Embrapa Rondônia, confirmando o melhor desempenho da terra da floresta como substrato para a estratificação e a facilitação da retirada da casca da castanha (Gomes, 2019).

A disposição das sementes de castanha nas miniestufas é feita em camadas, colocando 10 cm de substrato na base, depois 10 cm de semente, e assim por diante, até chegar ao orifício, sem obstruí-lo, colocando substrato como a última camada (Cusi-Auca et al., 2018). O material usado como substrato deve estar umedecido, mas não demasiadamente. Não deve escorrer água ao espremer o substrato na mão. Após o fechamento da tampa do balde, nenhuma água adicional deve ser colocada durante o processo de estratificação, que leva cinco meses.

Após 5 meses, o amaciamento do tegumento é alcançado, permitindo que a casca seja removida com a ajuda de um torno (morsa) de bancada, de um quebrador de castanha ou outro instrumento que facilite o processo, tendo muito cuidado para não danificar a amêndoa. Uma dica é usar um extrator de grampos, ou a parte de trás (não cortante) de um canivete ou de uma faca que não seja pontiaguda, para remover a casca após esta ser rachada com a morsa ou o quebrador. Após a retirada total da casca, as sementes são cuidadosamente selecionadas, removendo todas aquelas que mostram algum dano físico, não importa quão pequeno seja.

Miniestufa para germinação

A mesma miniestufa e o mesmo tipo de substrato podem ser usados para alcançar a germinação das sementes de castanha após a quebra e a retirada da casca.

No entanto, para sua reutilização, o substrato deve passar por um processo de “solarização”, em lonas ou sacos plásticos transparentes, que visa reduzir a carga microbiana do material por meio do aquecimento. Para isso, o substrato deve ser umedecido e colocado dentro do plástico, que deve ser bem amarrado nas extremidades para evitar perda de umidade. Em seguida, é colocado, por até 2 meses, em uma área que receba a ação direta do sol, que pode elevar a temperatura interna a 60-70° C, eliminando muitos patógenos e sementes daninhas. Durante esse tempo, o produtor deve ir retirando as cascas das sementes de castanha, trabalho esse que deve ser realizado com paciência e cuidado. Se esse processo for terminado antes de completar o período necessário para a solarização do substrato, este deve ser esterilizado com água fervente para realizar logo a semeadura.

As miniestufas devem ser preenchidas com o substrato esterilizado e umedecido (como na estratificação) até a altura de cerca de 15 cm do fundo do balde. Até 50 sementes podem ser colocadas para germinação (Figura 6A), introduzindo-as até 1 cm abaixo da superfície do substrato, evitando compactação. Durante a distribuição das sementes, deve-se tomar cuidado para que os polos de germinação tenham a orientação adequada para evitar germinações defeituosas (Cusi-Auca et al., 2018).

As miniestufas com as sementes são bem fechadas com as tampas dos baldes e colocadas sob cobertura que fornece uma sombra de aproximadamente 60% até que as sementes germinem. A temperatura dentro da miniestufa chega a 37° C, não sendo necessário adicionar água, pois a umidade inicial do substrato será mantida pela condensação interna (Cusi-Auca et al., 2018).

Em testes de germinação realizados com essas miniestufas, preenchidas com quatro substratos (terra florestal, areia, serragem decomposta e areia + serragem), não foram observadas diferenças significativas nas respostas em função do tipo de substrato. Em média, houve 76% de germinação e todos os substratos apresentaram índice acima de 70%. Sob as condições das miniestufas, a germinação das sementes de castanha começou aos 5 dias após o plantio, atingindo 40% de germinação em 15 dias e estabilização em 30 dias, chegando a 81% de germinação (Cusi-Auca et al., 2018).

Em um teste realizado com miniestufas no Campo Experimental da Embrapa Rondônia, tentando reduzir o tempo de estratificação para 60 dias, a germinação das sementes teve início aos 44 dias. O solo de floresta foi o que apresentou melhores resultados, mesmo assim, obteve-se apenas 24% de germinação aos 82 dias, quando houve a estabilização da emergência das plântulas (Gomes, 2019). Uma

possível explicação para esses resultados inferiores aos encontrados no Peru foi que o período bem menor de estratificação, de 2 meses (*versus* 5 meses no Peru), não foi suficiente para desencadear o processo de germinação, pois as amêndoas, nessa fase antes do processo de diferenciação celular para a germinação, são muito mais sensíveis ao ataque dos patógenos. Nessas condições, houve um excesso de apodrecimento e perda de sementes, nem o fungicida químico sintético utilizado na desinfecção das sementes se mostrou capaz de controlar a podridão.

Miniestufa para crescimento inicial das mudas

Uma vez germinadas, as sementes de castanha em forma de “espada” (com broto inicial, sem abertura de folhas) ou com duas folhas abertas estarão prontas para ser retiradas das miniestufas (Figura 6B) e levadas para a repicagem, ou seja, para realizar o transplante para o recipiente definitivo onde cada muda irá se desenvolver. Preferencialmente, o recipiente utilizado para inserir cada semente germinada deve ser um tubete de capacidade de 115 cm³ (Cusi-Auca et al., 2018). As sementes germinadas são, então, inseridas no tubete, tomando o cuidado de podar a raiz se ela for muito grande. Posteriormente, os tubetes são preenchidos com substrato adequado, que pode ser constituído por uma mistura de uma parte de areia + uma parte de serragem curtida, na proporção 1/1, em base volumétrica. Em seguida, os tubetes são arrumados em pé nos baldes, que antes devem receber uma camada de substrato (pode ser o mesmo que será usado nos tubetes ou apenas areia molhada) com altura de 20 cm. Os tubetes devem ser completamente inseridos no substrato inferior no fundo do balde, cuja tampa deve ser substituída por plástico transparente para permitir a entrada de luz. O plástico pode ser preso ao balde com uma liga ou tira de câmara de pneu, que facilita a retira para inspeção e cuidado das mudas. Em cada balde de 20 L, podem ser produzidas, no máximo, dez mudas.

Para proporcionar o desenvolvimento das mudas, as miniestufas prontas são colocadas em ambiente com luminosidade de 60%, por um período de 3 meses. Durante esse período, o crescimento das raízes deve ser monitorado e realizada a poda se elas saírem dos tubetes. Outro cuidado durante esse período é a remoção de ervas daninhas. Após os 3 meses de idade, as mudas já estarão próximas da tampa (Figura 6C), por isso será necessário removê-las e aumentar a altura da miniestufa. Uma cúpula de 30 cm acima da tampa pode ser confeccionada com plástico transparente sobre uma estrutura metálica (dois arames de aço curvados e cruzados, conforme Figura 6D) para favorecer a entrada de luz e a atividade fotossintética.



Figura 6. Etapas envolvidas no processo de produção de mudas de castanheira em miniestufas, feitas com baldes plásticos de 20 L: sementeira (A); germinação e plântulas (B); mudas desenvolvidas dentro dos baldes (C); extensão de plástico para formação de câmara úmida e crescimento das mudas além da altura do balde (D).

A estrutura da cúpula pode ser amarrada na altura da tampa, tomando o devido cuidado para evitar obstruir o orifício lateral (Figura 5B). As mudas podem ficar na miniestufa por mais 2 meses, sem adição de fertilizantes, pois as reservas nutricionais das sementes de castanha são suficientes para sua nutrição nesse período. A cúpula é importante para manter a umidade na câmara e proteger as mudas, mas, a partir daqui, também é possível seguir com o seu crescimento sem essa estrutura ou fora das miniestufas.

Em estudo no Peru, onde foram testados quatro tipos de substratos (areia, areia + serragem, casca de castanha decomposta e terra florestal) para o crescimento e a produção de mudas em miniestufas, foi verificado que a mistura de areia + serragem foi o substrato que propiciou melhor desenvolvimento. As mudas desse tratamento apresentaram maior comprimento da parte aérea ($40,34 \text{ cm} \pm 3,24 \text{ cm}$),

da raiz (19,51 cm \pm 4,83 cm), assim como maior número de folhas, massa seca aérea e massa seca de raiz.

Em um experimento realizado na Embrapa de Rondônia, onde o método das miniestufas foi comparado com sementeira-padrão para produção de mudas de castanheiras, a miniestufa foi melhor que o método da sementeira, apresentando maior índice de velocidade de germinação (IVG). A miniestufa também torna dispensável a rega, devido à diminuição da evapotranspiração e ao aumento da retenção de água no interior dos baldes. Quanto ao tipo de substrato, o solo de floresta apresentou os melhores resultados para o IVG, e também para a relação raiz/parte aérea, que gera o IQD, mas não houve diferença significativa em relação ao desenvolvimento das mudas.

Os resultados obtidos com esse trabalho indicam que o uso de solo de floresta em miniestufas pode ser uma boa alternativa para a produção de mudas de castanheira-da-amazônia em área extrativista onde não há infraestrutura para viveiros. Além do baixo custo para o produtor, a utilização de miniestufa se torna uma alternativa viável devido aos resultados positivos e à facilidade de confecção e condução do trabalho. Para sua construção podem ser reaproveitados diversos baldes plásticos com tampa, como aqueles utilizados na comercialização de vários produtos, como manteiga, cloro, tintas e massa corrida, desde que devidamente limpos e desinfectados.

Rustificação das mudas produzidas em miniestufas

No caso de plantio das mudas produzidas nas miniestufas em áreas livres de vegetação ou sistemas agrofloretais, sem ou com pouco sombreamento, se faz necessária a fase de rustificação ou endurecimento. Para isso, colocam-se as mudas sob sombreamento de 80%, durante uma semana, com irrigação frequente e depois se diminui aos poucos a porcentagem de sombra e irrigação, até a completa exposição ao sol, e a frequência de rega, apenas para que não seja atingido o ponto de murcha. Esse processo deve ocorrer durante, aproximadamente, 1 mês, sendo que, após esse período, as mudas estarão adaptadas para plantio em áreas com maior exposição solar.

No caso em que as mudas sejam destinadas a enriquecimento de bosques castanheiros, em clareiras naturais ou induzidas, não é necessária uma rustificação intensa, pois o plantio será realizado em ambiente mais ameno. No Peru, onde é permitido o aproveitamento da madeira dentro das concessões de castanha, essa prática já é realizada.

Germinação e produção de mudas de castanheira-da-amazônia após armazenamento do fruto (Ouriço)

Como alternativa para facilitar o trabalho dos agroextrativistas que queiram produzir mudas de castanheira, pode-se utilizar o próprio fruto (ouriço) para o armazenamento das sementes por um determinado período, substituindo a estratificação em substrato úmido, em baldes ou outros recipientes. Esse método é mais prático e simples, pois, durante o período de armazenamento no ouriço, não há necessidade de nenhuma atividade antes da retirada da casca da castanha. O tegumento amolece naturalmente pela tentativa das sementes de germinarem e, algumas vezes, elas já apresentam trincas e início da emissão da radícula (Figura 7B), tornando-se menos trabalhosa, mais rápida e eficiente a remoção da casca e o processo de germinação.

Os ouriços podem permanecer no próprio castanhal ou em alguma área de floresta mais próxima da residência. Na floresta, é importante que sejam protegidos do ataque dos roedores, fazendo um cercado à sua volta. No caso da produção em viveiro, recomenda-se o armazenamento dos ouriços em caixas térmicas de poliestireno expandido – isopor (Figura 7A), ou caixas plásticas de supermercado, que podem ser visualizadas na Figura 1C, com terra e um pouco de serapilheira na superfície. O tamanho da caixa vai variar com a quantidade dos frutos ou a quantidade de mudas que se pretende produzir. Os ouriços devem ser colocados com o opérculo, “umbigo,” voltado para baixo, evitando, assim, o encharcamento excessivo das sementes. O armazenamento dos ouriços e das sementes neles contidas também pode ser realizado em sacos plásticos resistentes de colocar lixo, que deve ser fechado para manter a umidade.

Em estudo realizado na Embrapa Amapá (dados ainda não publicados), foi testado o tempo de armazenamento (0, 3, 6, 9 e 12 meses) das sementes de castanha nos ouriços durante 1 ano. Nesse estudo, todas as amêndoas inteiras e sem danos foram semeadas em canaletão (Figura 7C), após retirada da casca, em cada tempo, com auxílio de quebrador de castanha. Foram armazenados quinze frutos de cada uma de várias castanheiras matrizes selecionadas, sendo quebrados três de cada matriz para retirada das sementes que foram para o canaletão, em cada um dos cinco tempos testados. A referência foi o tempo zero (T0), quando a quebra dos ouriços foi realizada logo pós a coleta em campo. Posteriormente, mais três ouriços de cada matriz foram quebrados a cada 3 meses, até se atingir o T4 = 12 meses. Todas as amêndoas que foram danificadas durante a extração do tegumento, mesmo que o dano tenha sido mínimo, foram descartadas.



Fotos: Marcelino Guedes

Figura 7. Armazenamento dos ouriços em caixas de isopor para facilitar a retirada da casca e a germinação de sementes de castanheiras (A); sementes de castanha com casca trincada e emissão de radícula 6 meses após retirada do ouriço (B); plântulas de castanheiras em canaletão com areia mais serragem curtida (30%), em momento ideal para a repicagem ou o transplante (C); saquinhos com plântulas transplantadas e originadas de sementes armazenadas nos ouriços (D).

A repicagem, ou o transplante, das plântulas para os saquinhos com substrato (Figura 7C), ou outro recipiente que será usado para produzir as mudas, deve ser realizada logo após a emissão do primeiro par de folhas. As plântulas devem ser removidas do canaletão com auxílio de uma pequena pá para descompactar o substrato da sementeira e transferidas individualmente para cada recipiente. Se as raízes estiverem muito compridas, com tamanho maior que a metade da altura do recipiente, pode ser realizada sua poda para facilitar o transplante. É importante bater levemente o recipiente na bancada várias vezes e apertar com os dedos em torno do caule da plântula para retirar bolsões de ar e evitar posterior rebaixamento do substrato e exposição de raízes superficiais.

Apesar de não haver diferenças estatísticas entre os três primeiros tempos (T0, T1 e T2) testados no experimento, recomenda-se realizar a retirada do tegumento no

período de 3 a 6 meses de armazenamento, uma vez que as sementes que não são armazenadas (T0) apresentaram maior resistência na retirada do tegumento e na “quebra da casca”, bem como, conseqüentemente, maiores perdas por danos físicos. Com esse período de 3 a 6 meses, além de ficar mais fácil retirar o tegumento da castanha, também é facilitada a quebra do ouriço. Na Figura 8, verifica-se que o tempo de armazenamento dos ouriços necessário para obtenção de melhores resultados na germinação vai de 3 a 6 meses.

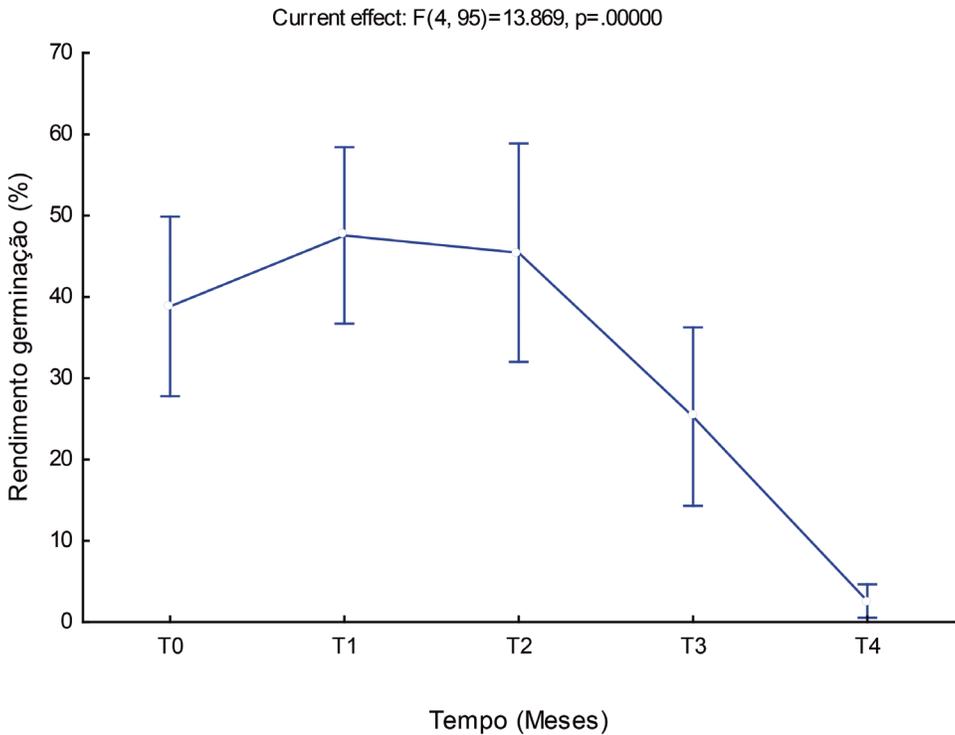


Figura 8. Porcentagem de germinação da castanha-da-amazônia em função do tempo de armazenamento das sementes em ouriços. T0 = tempo zero, os ouriços foram quebrados logo que chegaram do campo e as amêndoas, colocadas para germinar após o descascamento das castanhas; T1 = 3 meses de armazenamento; T2 = 6 meses de armazenamento; T3 = 9 meses de armazenamento; e T4 = 12 meses de armazenamento. As barras verticais representam o intervalo de confiança construído com 95% de certeza.

Verifica-se que, a partir de 9 meses de armazenamento, ocorrem drásticas quedas na porcentagem da germinação. Portanto, deve-se tomar muito cuidado para que as castanhas sejam retiradas dos ouriços antes de se atingir esse tempo. Nesse primeiro estudo, foram verificados rendimentos de germinação e mudas produzidas em torno de 50%. Esse pode ser considerado um bom rendimento, principalmente quando observamos o aumento e a padronização na velocidade de germinação. No entanto, esses valores podem ser aumentados e o processo, otimizado, pois houve elevada perda de sementes por apodrecimento devido ao ataque de fungos, mesmo utilizando fungicida químico. Com o uso de inseticidas naturais, o maior controle da desinfecção e o armazenamento dos ouriços em sacos pretos de lixo fechados, foram obtidas maiores porcentagens de germinação. Após o armazenamento de 3 a 6 meses das sementes nos frutos (ouriços) e a semeadura de amêndoas inteiras e selecionadas, observa-se a emergência da radícula, a partir dos 15 dias, e do caulículo, a partir dos 25 dias. Aos 30 dias, já é possível observar o aparecimento das primeiras folhas em várias plântulas, sendo que, aos 40 dias, a maior parte das plântulas exibem as folhas expandidas. Após esse período em que a semente germina, o apodrecimento é muito reduzido e praticamente 100% das sementes germinadas que geram plântulas irão virar mudas aptas para plantio.

Considerações finais

Este capítulo apresentou métodos práticos e simples para produção de mudas de castanheira-da-amazônia em escala familiar, com os quais o agroextrativista poderá produzir mudas de forma acessível, com qualidade e baixo custo. Nesse contexto, torna-se importante destacar que a produção local de mudas pelo próprio agroextrativista é uma etapa importante para viabilizar a necessária e urgente renovação dos castanhais perante o envelhecimento dos castanhais e o agravamento da crise climática. Para isso, é fundamental a existência de mudas de qualidade e com baixo custo.

Estruturas simples de viveiro podem ser utilizadas para produção de mudas de castanheiras com sucesso, sendo que os cuidados no processo são mais importantes do que ter um viveiro altamente tecnificado. Os principais processos que exigem cuidado e atenção, por parte dos produtores, para se ter eficiência, rendimento e produção de boas mudas, são a estratificação e a quebra da castanha para retirada da amêndoa, bem como a desinfecção e o acompanhamento rigoroso logo após a semeadura.

A remoção do tegumento da semente para semear diretamente a amêndoa é um dos principais desafios da produção de mudas de castanha. Já está comprovado que, para acelerar, uniformizar e aumentar a porcentagem de germinação, é fundamental semear a amêndoa intacta sem danos. No entanto, o tegumento externo da castanha é muito duro, espesso e lignificado, sendo que sua retirada, sem danificar a amêndoa, é um processo que exige habilidade e paciência. Para facilitar esse processo é preciso umidificar e amolecer o tegumento, deixando as castanhas totalmente imersas em água por 15 dias, ou fazer a estratificação em miniestufas, ou nos próprios ouriços.

As técnicas de produção de mudas de castanheiras em miniestufas e armazenamento nos próprios ouriços, detalhadas neste capítulo, foram validadas dentro desse contexto. São técnicas viáveis, pois resolvem de forma simples e eficiente uma das principais dificuldades para produção dessas mudas, que é o amolecimento e a extração da casca da semente. Isso é fundamental para que ocorra a retirada e a semeadura de amêndoas selecionadas inteiras e sem nenhum dano, diminuindo a perda de sementes, devido à infecção por fungos e à ocorrência de pragas e doenças.

O controle de pragas e doenças com inseticidas e fungicidas químicos sintéticos não se mostrou muito efetivo, sendo recomendados métodos naturais alternativos para desinfecção das sementes e da sementeira, tais como óleo de andiroba e neem. Um rigoroso controle nas primeiras semanas logo após a semeadura, inclusive com vistorias diárias e retiradas das sementes podres, é crucial para o sucesso na produção de mudas de castanheiras.

Referências

- CUSI-AUCA, E.; DIONÍSIO, L. F. S.; BAARDALES-LOZANO, R. M.; SCHWARTZ, G. Propagation of Brazil nut (Humb. y Bonpl) seedlings using seeds in mini-greenhouses. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 12, n. 4, p. 300-313, out./dez., 2018. DOI: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i4.5222>.
- CORVERA-GOMRINGER, R.; DENNIS, del C. T.; WILSON, S. P.; ALFREDO, C. Z. **La castanha amazônica (*Bertholletia excelsa*) - Manual de cultivo**. Madre de Dios: Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, 2010. 74 p.
- GOMES, J. K. S. **Método prático para produção de mudas de castanha-da-amazônia adaptado para produtores agroextrativistas**. 2019. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Rondônia, Porto Velho.

KAINER, K. A.; DURYEA, M. L. D.; MALAVASI, M. de M.; SILVA, E. R. da; HARRISON, J. Moist storage of Brazil nut seeds for improved germination and nursery management. **Forest Ecology and Management**, v. 116, n. 1-3, p. 207-217, Apr. 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00461-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00461-7).

MÜLLER, C. H. **Castanha-do-brasil**: estudos agrônômicos. Belém, PA Embrapa CPATU, 1981. 25 p. (Embrapa CPATU. Documentos, 1). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/379778>. Acesso em: 22 set. 2021.

PASTANA, D. N. B.; GUEDES, M. C.; MODENA, E. de S.; WADT, L. H. de O.; NEVES, E. de S. MARTORANO, L. G.; LIRA-GUEDES, A. C.; SOUZA, R. L. F. de; COSTA, F. L. Strong El Niño reduces fruit production of Brazil-nut trees in the eastern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 51, n. 3, p. 277-286, jul./set. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392202003702>.

SCHIMBL, F. C.; FERREIRA, M. J.; JAQUETTI, R. K.; MARTINS, S. C. V.; GONÇALVES, J. F. de C. Physiological responses of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) plants to drought stress and subsequent rewatering. **Flora**, v. 252, p. 10-17, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.02.001>.

SOUSA, W. P. **A castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) no contexto dos novos padrões internacionais de qualidade e segurança dos alimentos**. 2018. 241 f. Tese (Doutorado em Extensão Rural) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Capítulo 4

Melhoramento genético

Cássia Ângela Pedrozo; Lúcia Helena de Oliveira Wadt; José Edmar Urano de Carvalho; Aisy Botega Baldoni; Walnice Maria Oliveira do Nascimento; Ana Cláudia Lira-Guedes; Marcelino Carneiro Guedes; Ronald Corvera-Gomringer; Edgar Cusi Auca.

Introdução

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma espécie de uso múltiplo, podendo a madeira ser aproveitada na construção civil; os frutos serem usados na produção de peças ornamentais e de carvão; e as amêndoas, na alimentação ou na fabricação de cosméticos. O maior valor econômico da espécie, entretanto, é atribuído às amêndoas, que se caracterizam como o segundo produto extrativista não madeireiro em importância econômica para a Amazônia brasileira, perdendo apenas para o açaí fruto (IBGE, 2019).

Grande parcela da produção mundial de castanha é proveniente do extrativismo em áreas nativas (Homma et al., 2014), sendo o restante obtido de um número reduzido de plantios espalhados ao longo da Amazônia. Esse cenário pode, no futuro, ser alterado, pois tem se verificado, por parte de produtores e empresas, grande interesse pelo cultivo da castanheira, principalmente para uso em consórcios, como os Sistemas Agroflorestais (SAFs).

A falta de cultivares selecionadas e recomendadas e as dificuldades encontradas na propagação, principalmente vegetativa, são fatores que limitam a expansão de cultivos da castanheira visando à produção de frutos. Com isso, os poucos plantios existentes são geralmente feitos com material propagativo de origem genética desconhecida, resultando em baixa produtividade e qualidade das castanhas (Baldoni et al., 2019). Características como sanidade, produtividade, precocidade de produção, porte da planta e qualidade nutricional das amêndoas devem ser consideradas durante a seleção de genótipos de castanheira para a produção de frutos.

As primeiras iniciativas de melhoramento genético da castanheira foram realizadas pelo IIAP, no Peru, e pelas unidades descentralizadas da Embrapa, na Amazônia brasileira. Esses programas realizam, inicialmente, identificação, caracterização e seleção de genótipos para formação de jardins clonais, que são úteis para conservação de germoplasma e estudos de melhoramento e propagação (Corvera-Gomringer, 2014; Pedrozo et al., 2015, 2017).

O aproveitamento do conhecimento e das experiências e preferências de extrativistas e/ou produtores quanto às características de interesse para a seleção de castanheiras, bem como a seleção inicial em castanhais nativos e/ou cultivados, em fase de produção, é considerado no intuito de encurtar o processo de seleção e, conseqüentemente, a disponibilização de variedades de elevada produção e qualidade de castanhas (Baldoni et al., 2019).

Formas de propagação

A castanha-da-amazônia é uma espécie hermafrodita e, predominantemente, de fecundação cruzada (O'Malley et al., 1988; Cavalcante et al., 2012; Wadt et al., 2015), sendo a polinização realizada por espécies de abelhas de grande porte e de alta frequência de visitação (Cavalcante et al., 2012). Na natureza, se reproduz exclusivamente por sementes, sendo dispersada por pequenos roedores, destacando-se nesse mister as cutias (Peres et al., 1997; Haugaasen et al., 2012). A espécie também pode ser propagada de forma assexuada pela técnica da enxertia (Müller et al., 1995). No caso da propagação seminífera, as plantas resultantes apresentam variabilidade genética, devido à polinização cruzada da espécie, enquanto as plantas enxertadas são geneticamente idênticas à planta matriz utilizada como enxerto.

A produção de mudas seminíferas de castanheira é indicada quando o objetivo é o plantio para produção de madeira ou de porta-enxertos. A propagação assexuada, por outro lado, é recomendada para cultivos visando à produção de frutos, sendo a enxertia por borbúlia em placa e, mais recentemente, a garfagem no topo em feda cheia (Figuras 1A e B) os métodos recomendados (Müller et al., 1995; Corvera-Gomringer 2010; Nascimento et al., 2010; Carvalho; Nascimento, 2016; Almeida et al., 2020). Ainda de acordo com esses autores, a propagação por enxertia, quando comparada à propagação por sementes, apresenta como principais vantagens: i) redução da fase jovem, possibilitando a antecipação do florescimento e da frutificação; e ii) fixação do genótipo de plantas de interesse, sendo essa a principal vantagem para o melhoramento.



Fotos: Cássia Ângela Pedrozo

Figura 1. Castanheira enxertada pelo método da borbulhia em placa (A); castanheira enxertada pelo método da garfagem no topo em fenda cheia (B).

A propagação da castanheira via estaquia e cultivo *in vitro* também vem sendo estudada. No entanto, os resultados ainda são iniciais, sendo realizados, basicamente, testes para o estabelecimento e a adequação de protocolos para enraizamento e regeneração (Serra et al., 2000; Moraes et al., 2008; Vieira et al., 2009; Veltilari; Quisen, 2012).

Aspectos relacionados à produção de frutos

A produtividade em castanhais nativos é dependente de uma série de fatores, incluindo fatores genéticos e ambientais. Dados apresentados na Tabela 1, coletados pela Rede Kamukaia em diversas árvores, safras, estados e sítios na Amazônia brasileira, mostram grande variação na produção média de frutos. Foram contabilizados de 27 a 215 frutos por árvore em Roraima (ITA) e no Amapá (Natanael), respectivamente.

Tabela 1. Produção média de frutos por castanheira, em diferentes períodos de monitoramento, estados e sítios da Amazônia brasileira.

Estado e sítio	Produção média (frutos/árvore)
Acre – Filipinas	95
Acre – Cachoeira	188
Roraima – SJB	35
Roraima – ITA	27
Roraima – MVV	121
Amapá – Claudio	116
Amapá – Natanael	215
Amapá – K7	65

A produção comercial de castanha-da-amazônia é oriunda quase que exclusivamente do extrativismo em florestas nativas (Wadt et al., 2008; Homma et al., 2014; Tonini; Pedrozo, 2014). No Brasil, os poucos plantios existentes apresentam baixa produtividade de frutos (Cavalcante et al., 2012), devido, entre outros fatores, à incompatibilidade entre árvores aparentadas, causada pela reduzida variabilidade genética considerada nos plantios e pelo número insuficiente de polinizadores específicos nessas condições e ao longo tempo necessário para que as árvores atinjam estabilidade de produção (Moritz, 1984; Homma, 1989; Nascimento et al., 2010; Baldoni et al., 2019).

Apesar das oscilações anuais na produção e na exportação brasileira de castanha-da-amazônia, o produto vem sendo valorizado no mercado (IBGE, 2019), fato que, associado ao aumento da demanda interna e externa, tem despertado o interesse pelo plantio da espécie, seja na forma de plantios de enriquecimento (Scoles et al., 2011), seja na forma de áreas consorciadas, utilizando, principalmente, os sistemas agrofloreais – SAFs (Homma et al., 2014).

A opção de plantio de castanheiras em áreas já desmatadas e/ou degradadas se revela como alternativa de longo prazo para aumentar a oferta e gerar renda e emprego no meio rural (Homma et al., 2014). No entanto, a indisponibilidade de variedades recomendadas, aliada às dificuldades encontradas na produção de mudas e ao longo período necessário para que as árvores atinjam estabilização da produção, está entre os fatores que limitam os investimentos envolvendo plantios

comerciais de castanheira (Baldoni et al., 2019). Nesse sentido, são necessárias mais pesquisas voltadas à melhoria do processo de propagação, tanto seminífero como clonal, bem como ao melhoramento genético da castanheira, para que haja viabilidade econômica do cultivo comercial (Pimentel et al., 2007; Wadt; Kainer, 2009).

A Fazenda Aruanã, localizada no município de Itacoatiara-AM, possui o maior plantio de castanheiras em monocultivo, com 318 mil plantas enxertadas para produção de frutos e cerca de 939 mil plantas para produção de madeira (Agropecuária Aruanã S/A Produtos, 2020). Nas últimas décadas, várias outras experiências com plantios menores foram realizadas no Pará, em Mato Grosso e em Rondônia (Homma et al., 2014), visando principalmente à restauração florestal.

Sem disponibilidade de cultivares recomendadas, geralmente o material propagativo utilizado nos plantios é coletado de árvores matrizes de origem genética desconhecida (Baldoni et al., 2019), comprometendo a produtividade e a qualidade do produto obtido. No Brasil, no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), consta apenas o registro da espécie (*Bertholletia excelsa*).

Iniciativas de melhoramento genético

A primeira iniciativa de melhoramento genético da castanheira para produção de frutos ocorre na década de 1960, realizada pelo extinto Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária no Norte (Ipean), sendo selecionadas 28 castanheiras de elevada produtividade em castanhais nativos do Pará. Alguns desses genótipos estão conservados em um banco de germoplasma da castanheira, mantido pela Embrapa Amazônia Oriental (Nascimento, 2011), e, atualmente, são utilizados para estudos de propagação e melhoramento. Na fazenda Aruanã, boa parte das plantas enxertadas para produção de frutos são desses clones da Embrapa Amazônia Oriental.

No princípio da década de 2000, um programa de melhoramento foi iniciado pelo IIAP, em Madre de Dios, no Peru, onde foram identificadas 164 árvores de elevado rendimento e das quais foram selecionadas as noventa melhores. Quarenta desses genótipos foram implantados em um jardim clonal, e, como resultado desse esforço, avanços significativos têm sido obtidos na cadeia produtiva da castanha na região de Madre de Dios (Corvera-Gomringer, 2014).

Outro programa de melhoramento conduzido pela Embrapa teve início em 2012 e conta com a participação de sete unidades descentralizadas (Roraima, Pará, Acre, Amapá, Amazonas, Rondônia e Mato Grosso). Por meio de projetos aprovados de pré-melhoramento e melhoramento genético, pelo menos 120 castanheiras foram selecionadas em diversos castanhais nativos e cultivados dos sete estados. Esses genótipos estão sendo implantados em jardins clonais nos vários estados, os quais servirão como base para o programa de melhoramento, bem como para a conservação *ex situ* da castanheira.

Tanto nos jardins clonais da Embrapa quanto no do IIAP, os genótipos selecionados têm sido clonados pelo método da enxertia por borbulhia em placa, realizada diretamente no campo (Müller et al., 1995; Corvera-Gomringer, 2010; Nascimento et al., 2010; Almeida et al., 2020). Nessas condições, têm-se registrado dados de crescimento dos porta-enxertos, de pegamento da enxertia e de crescimento e da fenologia reprodutiva dos clones obtidos.

Em Madre de Dios (Corvera-Gomringer, 2014) e nos jardins clonais do Acre e de Roraima, alguns clones de castanheira apresentaram florescimento precoce, aos dois anos após a enxertia. No Acre e em Roraima, o vingamento dos primeiros frutos ocorreu a partir dos seis anos, enquanto em Madre de Dios o início da produção ocorreu antes, aos quatro anos após a enxertia (Corvera-Gomringer, 2014). Segundo informações de Moritz (1984), no Pará, algumas castanheiras floresceram 3,5 anos após a enxertia e produziram os primeiros frutos aos seis anos.

A característica de precocidade é bastante almejada no melhoramento, pois pode garantir retorno econômico mais rápido do investimento feito no plantio. No entanto, apesar da possibilidade de florescimento e frutificação precoce nos primeiros anos após a enxertia, as castanheiras ainda não apresentam porte suficiente para atingir produção comercial. Fotos de castanheiras nos jardins clonais de Roraima, de Rondônia e do Acre podem ser observadas nas Figuras 2A, B e C.

Segundo Bringham (1983), o melhoramento de castanheiras para produção de frutos deve seguir quatro etapas: i) identificação de plantas superiores em castanhais nativos; ii) propagação, em campo, das plantas selecionadas; iii) desenvolvimento de práticas de manejo para melhorar a performance das plantas selecionadas; e iv) cruzamentos entre plantas selecionadas, seguido pela seleção de progênies superiores. As etapas i e ii possibilitam a obtenção de ganhos no curto prazo,



A

Fotos: Cassia Ângela Pedrozo (A) e Lúcia H. de Oliveira Wadt (B e C)



B



C

Figura 2. Jardim clonal de castanheira em Roraima (A); Jardim clonal de castanheira em Rondônia (B); Jardim clonal de castanheira no Acre (C).

podendo a seleção ser realizada, também, em castanhais cultivados. A realização de cruzamentos para implantação de testes de progênes deve constituir, por outro lado, a base do melhoramento a longo prazo. A compatibilidade de cruzamento entre diferentes genótipos também é um fator que deve ser avaliado, já que Moritz (1984) sugere a presença de sistemas de incompatibilidade como uma das causas da baixa produtividade de frutos em cultivos.

Durante a seleção de matrizes em castanhais nativos, deve-se atentar para a distância entre as árvores selecionadas, não devendo ser selecionadas árvores muito próximas, porque podem ser aparentadas, devido à baixa distância de dispersão das sementes e à proximidade com a planta-mãe (Baldoni et al., 2017a; Giustina et al., 2018).

Seja em castanhais nativos, seja em cultivados, a seleção de plantas visando ao melhoramento para castanhas deve priorizar, além da elevada produção, a estabilidade de produção entre as safras, a boa sanidade e árvores com frutos grandes e que apresentem menor resistência ao corte. Espera-se que, somada às variáveis de produção desejáveis, as castanheiras também apresentem amêndoas de elevada qualidade nutricional (Corvera-Gomringer; Suri, 2008; Peña, 2008; Corvera-Gomringer, 2014; Baldoni et al., 2019). Das plantas selecionadas são coletados dados de “passaporte” que incluem, entre outros, localidade, coordenadas geográficas, características do solo, vegetação e relevo do local de seleção e características morfológicas e biométricas da árvore, do fruto e da castanha. Neste capítulo, o termo “castanha” é utilizado para se referir à castanha com casca, enquanto o termo “amêndoa”, para se referir à castanha beneficiada, sem a casca.

Estudos realizados no Acre, em Roraima e no Mato Grosso mostram que a produção em castanhais nativos é altamente influenciada por condições ambientais temporárias, sendo necessário, dependendo do(a) estado/população avaliado(a), de três a nove safras de avaliação para que genótipos sejam eficientemente selecionados quanto ao número de frutos por planta (Pedrozo et al., 2015; Baldoni et al., 2017b; Azevedo et al., 2020). Assim, a seleção inicial deve ser realizada, preferencialmente, com base nos valores fenotípicos permanentes das plantas, baseados em vários anos de avaliação.

Em Roraima, ao se avaliarem duas populações nativas (ITAe CUJ), durante oito e seis safras, respectivamente, as árvores selecionadas apresentaram produção média de

73 frutos.árv⁻¹.ano⁻¹ e 12 kg de castanhas.árv⁻¹.ano⁻¹, na primeira população, e 228 frutos.árv⁻¹.ano⁻¹ e 28 kg de castanhas.árv⁻¹.ano⁻¹, na segunda população (Pedrozo et al., 2015). No Acre, a produção média de frutos de árvores selecionadas em duas populações (Filipinas e Cachoeira), por 13 e 6 anos, foi de 400 e 445 frutos.ano⁻¹, ou 69 e 89 kg de castanha.árv⁻¹.ano⁻¹, respectivamente (Azevedo et al., 2020). Em castanhais nativos em Madre de Dios (Peru), foram selecionadas árvores com produção média de 240 kg de castanhas. árv⁻¹.ano⁻¹ (Corvera-Gomringer, 2014). Esses resultados mostram a grande variação de produção entre os(as) diferentes estados/populações quanto às árvores selecionadas.

Uma alternativa à seleção de castanheiras com base na avaliação de várias safras é utilizar o conhecimento de extrativistas ou produtores quanto às árvores mais produtivas e com boa estabilidade de produção ao longo dos anos. Com essa informação, é possível encurtar o processo de seleção em castanhais nativos ou cultivados. Após a seleção por essa estratégia, as árvores selecionadas devem ser monitoradas no seu ambiente natural, visando à confirmação da superioridade.

Conservação de germoplasma

Independentemente se o objetivo final do melhoramento é a produção de mudas seminíferas ou de propagação vegetativa, deve-se contar com uma base genética ampla para que ganhos suficientes sejam obtidos a curto e a longo prazo. Nesse sentido, a seleção de material diversificado e a adoção de estratégias eficientes de conservação são imprescindíveis, devendo-se considerar tanto a conservação *in situ*, em nível de populações, quanto a conservação *ex situ* de indivíduos com características de interesse agrônomo.

Além da conservação que é realizada nos jardins clonais do programa de melhoramento da Embrapa, no Brasil há dois bancos de germoplasma da castanheira, sendo o primeiro deles o Banco Ativo de Germoplasma (BAG-Castanha), mantido pela Embrapa Amazônia Oriental, em Belém-PA (Nascimento, 2011), e o segundo mantido pela Mineração Rio do Norte, em Porto Trombetas, também no Pará. O BAG-Castanha conserva dez clones (Santa Fé I e II, Manuel Pedro I e II, C-606, C-609, C-612, C-614, C-710 e C-722), que foram selecionados em áreas de ocorrência natural nos municípios de Alenquer e Oriximiná-PA, na década de 1960, pelo então Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária no Norte (Ipean).

O banco de germoplasma mantido pela Mineração Rio do Norte conserva castanheiras obtidas de sementes coletadas em dez municípios, no Pará, no Amazonas, em Rondônia, no Amapá e no Acre (Quaresma, 2017), não havendo, no entanto, informações sobre o número total de acessos, nem informações sobre o desenvolvimento e as características dos acessos conservados (dados de passaporte).

Diversidade molecular, morfológica e agrônômica

Estudos de diversidade genética da castanheira, visando ao embasamento para conservação e melhoramento da espécie, têm sido realizados pelo uso de marcadores moleculares e marcadores fenotípicos relacionados a aspectos das árvores, dos frutos, das castanhas e das mudas. No caso dos marcadores moleculares, isoenzimas, marcadores RAPD, AFLP, SSR e STR já foram utilizados para acessar a diversidade genética de populações nativas e cultivadas em vários locais (Buckley et al., 1988; Kanashiro et al., 1997; Reátegui-Zirena et al., 2009; Sujii et al., 2015; Coelho et al., 2017; Santos et al., 2017; Giustina et al., 2018; Baldoni et al., 2020).

Grande parte dos estudos citados anteriormente mostram que a distribuição da diversidade genética em populações naturais de castanheira é similar àquela observada para a maioria das populações naturais de espécies arbóreas tropicais, ou seja, apresenta maior diversidade genética dentro de populações do que entre populações, sugerindo que na castanheira o fluxo gênico é eficiente. A manutenção da diversidade genética dentro de populações é importante no sentido de assegurar a produção de sementes em quantidades suficientes para o extrativismo, bem como para a perpetuação da espécie em seu ambiente natural (Sujii et al., 2015; Santos et al., 2017). Entretanto, diferentemente do exposto, Baldoni et al. (2020) observaram maior diversidade genética entre do que dentro de populações naturais do Mato Grosso ao utilizarem marcadores microssatélites. Ainda segundo os autores, as populações avaliadas também apresentam grandes diferenças quanto a aspectos morfológicos dos frutos e das castanhas. Esse resultado sugere que, para a castanheira, a estrutura genética e, conseqüentemente, a estratégia de conservação podem variar de acordo com a origem geográfica das populações, o que é respaldado por Buckley *et al.* (1988) quando afirmam que, ao se considerar a gama de mecanismos de dispersão de pólen e sementes possível, é de se esperar estruturas populacionais diversificadas nas árvores da floresta tropical.

Os frutos da castanheira, popularmente conhecidos como ouriços, apresentam variações quanto a tamanho, peso, forma, número de castanhas, resistência ao corte e espessura do pericarpo. Em paralelo, as castanhas apresentam variações quanto a tamanho, forma, peso e resistência do tegumento (Corvera-Gomringer, 2014; Teixeira et al., 2015; Roelis et al., 2018).

Em castanheiras nativas selecionadas no Acre, no Amazonas, em Mato Grosso e em Roraima, foram registrados frutos com peso variando de 326 g a 1.292 g, largura de 8,67 cm a 14,79 cm, comprimento de 8,65 cm a 13,83 cm, espessura do pericarpo de 4,8 mm a 17,6 mm, 10 a 24 castanhas por fruto, 71,67 g a 220,05 g de castanhas por fruto e castanhas com peso de 3,88 g a 12,08 g (Tabela 2). É possível observar variabilidade tanto entre genótipos dentro de cada estado quanto entre os diferentes estados, informação importante para o melhoramento.

Variabilidade para variáveis biométricas do fruto e da castanha também tem sido observada entre genótipos cultivados com mudas seminíferas e clonais (Teixeira et al., 2015; Passos et al., 2018). Em um castanhal cultivado em Roraima, foi observado que plantas com frutos maiores e mais pesados apresentam também castanhas maiores e mais pesadas. Assim, se existir correlação genética entre essas variáveis, a seleção com base no tamanho do fruto pode resultar em plantas com características desejáveis tanto para a comercialização quanto para a produção de mudas, uma vez que as castanhas grandes são preferidas (Müller et al., 1995). Correlação positiva entre produção de castanhas e número de frutos (Teixeira et al., 2015) também pode possibilitar a seleção indireta para a primeira variável, por meio da segunda, a qual é muito mais fácil de ser quantificada do que peso ou volume de castanhas.

Durante a prospecção de matrizes em castanhais de cultivo estabelecidos no município de Tomé-Açu-PA, a partir de mudas oriundas de sementes, foram observadas expressivas variações nas características dos frutos entre matrizes. Uma das matrizes apresentou frutos muito grandes, com peso médio superior a 2.150 g e contendo 423,9 g de castanhas de tamanho grande (Tabela 3). Também foi observada uma forte correlação entre o tamanho dos frutos e o tamanho das castanhas ($r = 0,95$). Castanhas grandes são particularmente interessantes para o mercado de castanhas fatiadas, que ainda é pouco explorado nos países produtores de castanha-da-amazônia. Também tem ampla utilização na indústria de confeitaria. Convém ressaltar que o mercado para consumo *in natura* tem preferência por castanhas de tamanho médio e que castanhas miudinhas podem ser interessantes para produtos diversificados, como castanha coberta por chocolate, por exemplo.

Tabela 2. Informações da morfologia do fruto (ouriço) de castanheiras nativas do Acre, do Amazonas, do Mato Grosso e de Roraima.

Estado		PF (g)	LF (cm)	CF (cm)	EPF (mm)	NCF	PCF (g)	PMC (g)
Acre	Média	509,81	9,98	9,96	12,0	17,0	-	-
	Mínimo	326,00	8,67	8,65	9,6	13,2	-	-
	Máximo	822,00	11,62	11,51	14,9	20,9	-	-
	Desvio-padrão	98,92	0,62	0,77	1,4	1,89	-	-
Amazonas	Média	918,35	12,41	11,61	6,5	16,3	-	-
	Mínimo	437,50	9,76	9,74	4,8	12,2	-	-
	Máximo	1292,00	14,34	13,97	9,7	21,0	-	-
	Desvio-padrão	183,72	0,87	1,05	1,1	2,27	-	-
Mato Grosso	Média	574,11	10,62	10,40	9,3	17,4	128,40	7,45
	Mínimo	342,12	8,34	8,98	6,3	10,6	71,67	3,88
	Máximo	934,20	13,40	11,92	12,3	24,0	220,05	12,08
	Desvio-padrão	132,04	0,93	0,66	1,1	2,48	33,92	1,80
Roraima	Média	785,62	12,21	11,99	1,07	16,0	124,61	7,83
	Mínimo	404,40	10,26	9,98	0,70	10,4	71,68	5,81
	Máximo	1218,88	14,79	13,83	1,76	20,6	188,48	10,63
	Desvio-padrão	185,61	0,83	0,89	0,22	2,38	24,25	1,16

Obs.: Peso médio do fruto (PF), largura média do fruto (LF), comprimento médio do fruto (CF), espessura média do pericarpo do fruto (EPF), número médio de castanhas por fruto (NCF), peso médio de castanhas por fruto (PCF) e peso médio da castanha (PMC).

Tabela 3. Informações da morfologia do fruto (ouriço) de castanheiras estabelecidas no município de Tomé-Açu-PA a partir de mudas oriundas de sementes.

Genótipo	PF (g)	LF (cm)	CF (cm)	EPF (cm)	NCF	PCF (g)	PMC (g)
Maria 1	584,20	10,60	10,80	1,28	16,2	167,30	10,33
Maria 2	668,30	10,80	11,50	1,30	15,0	160,10	10,67
Sasahara P	1217,10	12,90	12,10	2,04	20,2	315,80	15,63
Sasahara G	1537,90	11,50	14,80	2,48	17,9	313,80	17,53
Inatam 1	1143,60	14,70	13,30	2,13	15,6	258,10	16,54
Inatam 2	830,10	11,90	13,00	2,04	16,9	183,20	10,84
Inatam 3	612,20	9,30	11,60	1,67	15,8	147,70	9,35
Inatam 4	497,40	9,90	10,60	1,51	17,0	91,60	5,39
Inatam 5	302,20	8,60	10,10	1,10	15,0	88,70	5,91
GG	2150,70	16,50	17,40	3,86	20,3	423,90	21,00

Obs.: Peso médio do fruto (PF), largura média do fruto (LF), comprimento médio do fruto (CF), espessura média do pericarpo (EPF), número médio de castanhas por fruto (NCF), peso médio de castanhas por fruto (PCF) e peso médio da castanha (PMC).

A seleção de plantas com frutos de menor resistência ao corte interfere positivamente no rendimento final de extração das castanhas, pois quanto menor for a resistência, maior será o rendimento e menor o esforço físico. A forma e a resistência do tegumento da castanha também podem interferir no processo de produção de mudas seminíferas. Algumas matrizes produzem castanhas predominantemente com quatro arestas, que são mais difíceis de descascar que castanhas com três arestas, o que implica menor rendimento de mão de obra e provoca perdas acentuadas de sementes por danos mecânicos.

No Acre, os extrativistas costumam classificar as castanheiras em dois tipos fenotípicos: branca e vermelha. Além da cor e da qualidade da madeira, o potencial produtivo, o porte das árvores e a forma e o tamanho dos frutos e das castanhas são as características utilizadas para diferenciar os dois tipos. Por essa classificação, castanheiras vermelhas apresentam madeira de melhor qualidade, maior diâmetro à altura do peito (DAP), maior produção de frutos, frutos e castanhas maiores e mais pesados e amêndoas mais oleaginosas (Braga, 2007; Fernandes et al., 2007; Sujii et al., 2008). Em árvores avaliadas na Reserva Extrativista Chico Mendes, no

Acre, as castanheiras vermelhas apresentaram pericarpo mais espesso e foram mais produtivas que as brancas (Braga et al., 2009), sem, contudo, mostrarem diferenças para as demais variáveis avaliadas.

Se as variáveis usadas pelos extrativistas para classificar castanheiras vermelhas e brancas forem geneticamente consistentes para separação dos tipos em outras populações, a seleção de castanheiras vermelhas poderia favorecer a seleção de árvores mais produtivas, o que seria bastante favorável para o melhoramento da espécie. No entanto, resultados preliminares com marcadores moleculares não mostraram diferenças genéticas entre a castanheira vermelha e a branca (Sujii et al., 2008).

A qualidade fisiológica e sanitária das sementes, bem como sua capacidade de produzir mudas de qualidade satisfatória, seja para emprego em plantios de pé-franco, seja para uso como porta-enxertos, também deve ser considerada no melhoramento. Foi observada diversidade entre castanheiras nativas de Roraima e do Mato Grosso quanto ao número de dias para o início da germinação, à porcentagem de plântulas emergidas e ao desenvolvimento das mudas no viveiro (Pedrozo et al., 2017; Giustina et al., 2018). Em Roraima, por exemplo, após estratificação das sementes em areia úmida por dois meses, dependendo da matriz, o tempo para o início da germinação variou de quinze a 27 dias e a porcentagem de plântulas emergidas, de 57,33 a 93,88%. Mesmo dentro da matriz, há grande variação entre sementes quanto ao tempo necessário para germinação, sendo esse um grande desafio à propagação seminífera da castanheira. Em relação às mudas avaliadas, aos três meses após o transplante, o número de folhas variou de sete a treze unidades; a altura, de 6,3 a 16,6 cm; e o diâmetro do colo, de 2,20 a 3,68 mm (Pedrozo et al., 2017).

Considerações finais

O próximo passo no melhoramento genético da castanheira deve considerar a seleção de novos genótipos para ampliar a base genética já existente nos jardins clonais e bancos de germoplasma, visando à obtenção de ganhos genéticos a curto e a longo prazo. Além dos castanhais nativos, essa seleção deve incorporar castanheiras presentes em plantios florestais ou agroflorestais e que apresentem características desejáveis, como: bom desenvolvimento, precocidade e elevada produção de frutos. Para fins de seleção e recomendação de clones, devem ser implantados testes clonais em diferentes condições edafoclimáticas, com o intuito

de avaliar a adaptação e, com isso, o crescimento e a produção dos genótipos nessas condições. Para o melhoramento a longo prazo, os melhores clones devem ser utilizados em cruzamentos controlados para obtenção de testes de progênesis.

Referências

AGROPECUÁRIA ARUANÃ S/A PRODUTOS. **Produtos**. Disponível em: <http://agropecuariaaruana.wordpress.com/produtos>. Acesso em: 3 ago. 2020.

ALMEIDA, I. I.; SANTOS, R. F. dos; MAYER, M. M.; SILVA, J. Z. da; ALCOFORADO, A. T. W.; PEDROZO, C. A. Porta-enxertos e enxertia de castanheira-do-brasil pelo método da borbulhia em placa. **Revista de Ciências Agrárias**: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Science, v. 63, 2020. Disponível em: <https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/3353>. Acesso em: 22 ago. 2021.

AZEVEDO, V. R.; WADT, L. H. de O.; PEDROZO, C. A.; FONSECA, F. L. da; RESENDE, M. D. V. de. Coeficiente de repetibilidade para produção de frutos e seleção de matrizes de *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) em castanhais nativos do estado do Acre. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 135-144, jan./mar. 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509834304>

BALDONI, A. B.; WADT, L. H. O.; CAMPOS, T.; SILVA, V. S.; AZEVEDO, V. C. R.; MATA, L. R.; BOTIN, A. A.; MENDES, N. O.; TARDIN, F. D.; TONINI, H.; HOOGEHEIDE, E. S. S.; SEBBENN, A. M. Contemporary pollen and seed dispersal in natural populations of *Bertholletia excelsa* (Bonpl.). **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 1-14, 2017a. DOI: 10.4238/gmr16039756.

BALDONI, A. B.; WADT, L. H. O.; PEDROZO, C. A. Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) breeding. In: AL-KHAYRI, J. M.; JAIN, S. M.; DENNIS, V. (ed.). **Advances in plant breeding strategies**: nut and beverage crops. Cham: Springer, 2019. V. 4, p. 57-76.

BALDONI, A. B.; TONINI, H.; TARDIN, F. D.; BOTELHO, S. C. C. TEODORO, P. E. Minimum number of measurements for evaluating *Bertholletia excelsa*. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017b. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr16039783>.

BALDONI, A. B.; TEODORO, L. P. R.; TEODORO, P. E.; TONINI, H.; TARDIN, F. D.; BOTIN, A. A.; HOOGERHEID, E. S. S.; BOTELHO, S. da C. C.; FARIAS, NETO, A. L. de; AZEVEDO, V. C. R. Genetic diversity of Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in southern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 458, Article number e117795, Feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117795>.

BRAGA, E. T. M. **Diversidade morfológica e produção de *Bertholletia excelsa* HBK (Lecythidaceae) no sudeste do estado do Acre-Brasil**. 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC.

BRAGA, E. T. M.; WADT, L. H. O.; MARTINS, K. Morfologia de frutos e análise de produção de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) na Reserva Extrativista Chico Mendes – Acre. In: SEMINÁRIO ANUAL DE COOPERAÇÃO UFAC/UF, 7., 2009, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC, 2009. p. 109-113. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/631779>. Acesso em: 22 ago. 2021.

BRINGHURST, R. E. Breeding strategy. In: JANICK, J.; MOORE, J. N. (ed.). **Methods in fruit breeding**. Indiana: Purdue University, 1983. p. 147- 153.

- BUCKLEY, D. P.; O'MALLEY, D. M.; PRANCE, G. T.; BAWA, K. S. Genetics of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. Lecythidaceae): 1. Genetic variation in natural populations. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, p. 923-928, Dec. 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00273683>.
- CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O. **Enxertia da castanheira-do-brasil pelo método de garfagem no topo em fenda cheia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 283). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1049139>. Acesso em: 22 ago. 2021.
- CAVALCANTE, M. C.; OLIVEIRA, F. F.; MAUÉS, M. M.; FREITAS, B. M. Pollination requirements and the foraging behavior of potential pollinators of cultivated Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) Trees in central Amazon rainforest. **Psyche: A Journal of Entomology**, Article number ID 978019, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/978019>.
- COELHO, L. M.; LOPES, M. T. G.; CHAGAS, E. A.; PIO, R.; PASQUAL, M.; COSTA NETO, P. de Q.; MAGALHÃES, M. A. Genetic diversity in populations of Brazil nut. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 7, n. 4, p. 382-389, Dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n4a57>.
- CORVERA-GOMRINGER, R. **Sub proyecto: mejoramiento genetico de la castaña (*Bertholletia excelsa*) aplicado ao desarrollo regional de Madre de Dios**. Puerto Maldonado: IIAP, 2010. 46 p. (IIAP. Informe final).
- CORVERA-GOMRINGER, R. **Servicio para la integracion del estado actual de la diversidad biologica y genetica de la castaña (*Bertholletia excelsa*) en el Peru**. Puerto Maldonado: IIAP, 2014. 39 p. (IIAP. Segundo informe final).
- CORVERA-GOMRINGER, R.; SURI, W. **Base tecnológica y genética del germoplasma de castaña (*Bertholletia excelsa* H.B.K) en la región de Madre de Dios**. Loreto: IIAP, 2008.
- FERNANDES, E. T. M. B.; WADT, L. H. O.; MARTINS, K. Diversidade morfológica e produção de *Bertholletia excelsa* HBK (Lecythidaceae) no sudeste do estado do Acre-Brasil. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. **Ecologia no tempo de mudanças globais: anais**. São Paulo: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2007. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/495715>. Acesso em: 22 ago. 2021.
- GIUSTINA, L. D.; BALDONI, A. B.; TONINI, H.; AZEVEDO, V. C. R.; NEVES, L. G.; TARDIN, F. D.; SEBBENN, A. M. Hierarchical outcrossing among and within fruits in *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) open-pollinated seeds. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 1, p. 1-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr16039872>.
- 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, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00796.x>.
- HOMMA, A. K. O. **A extração de recursos naturais renováveis: o caso do extrativismo vegetal na Amazônia**. 1989. 575 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. 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, 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.526>.
- IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, v. 34, p. 1-8, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2019_v34_informativo.pdf. Acesso em: 2 ago. 2021.

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

MORAES, R. P.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B. Propagação vegetativa de *Bertholletia excelsa* H. B. K. por estaquia. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 6., 2008, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008. p. 122-131. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 58). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/684051>. Acesso em: 2 ago. 2021.

MORITZ, A. **Estudos biológicos da floração da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.; Lecythidaceae)**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1984. 82 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 29). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/387228>. Acesso em: 2 ago. 2021.

MÜLLER, C. H.; FIGUEIRERO, F. J. C.; KATO, A. K.; CARVALHO, J. E. U. de; STEINE, R. L. B.; SILVA, A. de B. **A cultura da castanha-do-brasil**. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1995. 65 p. (Coleção plantar, 23).

NASCIMENTO, W. M. O. Banco ativo de germoplasma de castanheira-do-brasil (BAG) castanha. In: WORKSHOP DE CURADORES DE GERMOPLASMA DO BRASIL, 1., 2011, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2011.

NASCIMENTO, W. O. N.; CARVALHO, J. E. U.; MÜLLER, C. H. **Castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.)**. Jabotical, SP: Funep, 2010. 45 p. (Série frutas nativas, 8).

O'MALLEY, D. M. O.; 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. 929-932, Dec. 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00273683>.

PASSOS, R. M. O.; AZEVEDO, R. M. de; LIMA, C. P. de; SOUZA, C. R. de. **Características biométricas e produção de frutos de castanha-da-amazônia em plantios clonais na Amazônia Central**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2018. 37 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 140). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1103273>. Acesso em: 2 ago. 2021.

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, out. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500009>.

PEDROZO, C. A.; COSTA, E. K. L. da; OLIVEIRA, V. X. A.; BATISTA, K. D.; SMIDERLE, O. J.; ALBUQUERQUE, T. C. S. de. **Emergência de plântulas e desenvolvimento de mudas de matrizes selecionadas de castanha-do-brasil**. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2017. (Embrapa Roraima. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 44). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1074259>. Acesso em: 2 ago. 2021.

PEÑA, J. **Identificación y caracterización fenotípica de árboles plus de "castaña", *Bertholletia excelsa* H.B.K. (Lecythidaceae) en el Departamento de Madre de Dios**. 2008. 88 f. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente) – Universidade Nacional Agraria La Molina, Peru.

PERES, C. A.; SCHIESARI, L. C.; DIAS-LEME, C. L. Vertebrate predation of Brazil nuts (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae), an agouti-dispersed Amazonian seed crop: a test of the escape hypothesis. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 1, p. 69-79, Jan. 1997. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467400010269>.

PIMENTEL, L. D.; WAGNER JUNIOR, A.; SANTOAS, C. E. MAGALHÃES DOS; BRUCKNER, C. H. Estimativa de viabilidade econômica no cultivo da castanha-do-brasil. **Informações Econômicas**, v. 37, n. 6, p. 26-36, jun. 2007. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=8999>. Acesso em: 2 ago. 2021.

QUARESMA, S. S. **Banco de germoplasma de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*)**. 28 fev. 2017. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/banco-de-germoplasma-castanha-do-par%C3%A1-bertholletia-excelsa-santos>. Acesso em: 2 ago. 2021.

REÁTEGUI-ZIRENA, E.; RENINO, J. F.; CARVAJAL-VALLEJOS, F.; CORVERA-GOMRINGER, R.; CASTILLO-TORRES, D.; GARCIA-DÁVILA, C. R. Evaluación de la variabilidad genética de la castaña *Bertholletia excelsa* en la región de Madre de dios (Perú), mediante marcadores microsatélites. **Folia Amazónica**, v. 18, n. 1-2, p. 41-50, 2009.

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

VIEIRA, F. S.; ROSSI, A. A. B.; IREMA, L.; OTTONI, W. C. Ajuste de protocolo para micropropagação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae). In: JORNADA CIENTÍFICA DA UNEMAT, 2., 2009, Barra do Bugres. **Anais...** Barra do Bugres: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2009.

SANTOS, R. S. O.; CAMPOS, T. de; MARTINS, K.; WADT, L. H. de O. Estrutura genética de duas populações naturais de *Bertholletia excelsa* Bonpl. sob exploração no Vale do Rio Acre. **Biota Amazônica**, v. 7, n. 3, p. 37-40, 2017. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1079269>. Acesso em: 2 ago. 2021.

SCOLES, R.; GRIBEL, R.; KLEIN, G. N. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 6, n. 3, p. 273-293, 2011. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v6i3.610>.

SERRA, A. G. P.; PAIVA, R.; PAIVA, P. D. O. Análises bioquímicas de calos formados de explantes foliares de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 4, p. 833-840, out./dez. 2000.

SUJII, O. S.; AZEVEDO, V. C. R.; CIAMPI, A. Y.; WADT, L. H. de O. Diferenciação de dois tipos de castanheiras-do-brasil por meio de marcadores moleculares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2., 2008, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa-Recursos Genéticos e Biotecnologia: Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica - FUNCREDI, 2008.

SUJII, P. S.; MARTINS, K.; WADT, L. H. de 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>.

TEIXEIRA, R. A.; PEDROZO, C. A.; COSTA, E. K. L. da; BATISTA, K. D.; TONINI, H.; PESSONI, L. A. Correlações e divergência fenotípica entre genótipos cultivados de castanha-do-brasil. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 523-531, set. 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorista.ufv.br/handle/123456789/16330>. Acesso em: 2 ago. 2021.

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, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100013>.

VELTILARI, M. C. D.; QUISEN, R. Cultivo *in vitro* de espécies florestais tropicais – controle de contaminação e estabelecimento de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*). In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 8., 2012, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2012. p. 39-50. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/950184>. Acesso em: 2 ago 2021.

WADT, L. H. de 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. de O.; KAINER, K. A. Domesticação e melhoramento de castanheira. In: BORÉM, A.; LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (ed.). **Domesticação e melhoramento genético: espécies amazônicas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 297-317. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/511908>. Acesso em: 2 ago 2021.

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. 65, n. 5-6, p. 248-259, 2015. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1055132>. Acesso em: 2 ago. 2021.

Capítulo 5

Ecofisiologia: implicações para a silvicultura e o manejo

José Francisco de Carvalho Gonçalves; Karen Cristina Pires da Costa; Roberval Monteiro Bezerra de Lima.

Introdução

A castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma árvore ícone da Amazônia e impressiona pelas suas dimensões e arquitetura de raízes, caule e copa da planta adulta, estruturas essas que são, particularmente, importantes para aqueles que se dedicam a estudar a fisiologia e as interações bióticas e abióticas da espécie no contexto do bioma amazônico (Costa et al., 2022). Existe uma forte relação cultural, social e econômica da espécie com os povos da Amazônia, e, em se tratando de dimensionar a relevância da castanheira e o seu papel de destaque na prestação de serviços ecossistêmicos, estudos têm demonstrado sua importância ambiental (Fauset et al., 2015; Thomas et al., 2018) e a contribuição dessa espécie para esclarecer a trajetória política, social e econômica de algumas regiões da Amazônia (Andrade et al., 2019; Costa et al., 2022).

A coleta das castanhas é realizada, predominantemente, em florestas nativas, havendo evidências de que essa coleta não afeta a dinâmica populacional da espécie (Bertwell et al., 2018). Por outro lado, fatores como as mudanças climáticas, o desflorestamento e a hipótese do envelhecimento dos castanhais podem levar ao declínio natural na produção de frutos, aumentar o risco de extinção da espécie e também comprometer a disponibilidade de material genético, bem como afetar o modo de vida apoiado no extrativismo da castanha para as próximas gerações.

A exploração mais racional, por meio de técnicas silviculturais apropriadas, manejo de populações naturais e estabelecimento de plantios, é, portanto, alternativa viável para contornar esses cenários, garantindo a sustentabilidade pela exploração econômica racional e a conservação da espécie para as gerações futuras. Para ajustarmos protocolos de exploração e manejo, quer seja a exploração em florestas

naturais, quer seja em plantações florestais, é fundamental a compreensão da relação entre a castanheira e os fatores do meio ambiente no qual ela está inserida. Assim, é possível identificar quais *fatores bióticos e abióticos* determinam a sobrevivência, o crescimento e a produção de frutos e madeira pela espécie.

A relação entre as plantas e os fatores do meio em que elas estão inseridas também é objeto de estudo da *ecofisiologia*. A compreensão sobre os aspectos ecofisiológicos das plantas tem nos permitido avançar no aperfeiçoamento das técnicas de manejo e da silvicultura da castanheira em relação a espécie/genótipos e populações, uma vez que, conhecendo os processos fisiológicos e como os fatores bióticos e abióticos influenciam esses processos, torna-se possível identificar demandas por recursos e sítios mais favoráveis, nos permitindo manejar o local em que elas vivem para favorecer sua sobrevivência, seus crescimento, seu desenvolvimento e sua produção.

Considerando, então, a ecofisiologia da *B. excelsa*, estudos têm sido realizados para entender os efeitos dos fatores abióticos sobre uma diversidade de *características funcionais* da castanheira em diferentes condições de crescimento (Morais et al., 2007; Ferreira et al., 2009, 2016 Lopes et al., 2019; Schimpl et al., 2019; Costa et al., 2020). Esses estudos são cruciais e precisam ser aprofundados para compreendermos as respostas da castanheira a partir das alterações fisiológicas, bioquímicas e moleculares condicionadas por fatores abióticos (irradiância, água, CO₂ e nutrientes) e como esses fatores são capazes de impor mudanças sobre a morfologia, a anatomia, a fisiologia e o metabolismo de *B. excelsa*, bem como as implicações quanto à produção/produktividade de madeira ou frutos.

A partir da experimentação sobre a ecofisiologia, tem se identificado que a castanheira possui *plasticidade* fisiológica em relação a diferentes níveis de luz, água e nutrientes, sendo capaz de ajustar suas características morfológicas, anatômicas e fisiológicas de modo a favorecer a sobrevivência e o crescimento mesmo em condições que, do ponto de vista teórico, podem não ser ótimas para o adequado desempenho fisiológico das plantas (Costa et al., 2022). Isto é, condições de campo fora da faixa ótima de crescimento não impedem que a castanheira altere seu funcionamento e tolere níveis de estresse considerados elevados para a maioria das outras espécies arbóreas.

Essa plasticidade faz da castanheira uma espécie bastante “flexível” como opção de uso em várias condições e para várias finalidades, a exemplo do uso preferencial em plantios para recuperação de áreas degradadas na Amazônia (Ferreira et al., 2009, 2015; Costa et al., 2020, 2022). Em geral, essas áreas degradadas assim são conceituadas pelo nível de impacto a que foram submetidas e, do ponto de vista físico, são caracterizadas por apresentarem alta incidência de luz (irradiância) aliada à baixa disponibilidade de água e nutrientes, o que pode levar as plantas ao *estresse fisiológico*. Conjuntamente, essas condições sugerem que somente espécies com atributos fisiológicos bastante eficientes podem ter “sucesso” no plantio nessas áreas. Daí o efeito prático das características de plasticidade dos indivíduos de *B. excelsa*.

Conforme já mencionado, a plasticidade fisiológica da castanheira deve-se à capacidade desta espécie de tolerar e ajustar suas características morfofisiológicas às variações nos fatores do meio que podem desencadear condições estressantes. A *tolerância* a diferentes tipos de estresse, que constitui característica fisiológica importante, e a plasticidade fisiológica da castanheira têm sido observadas em pesquisas sobre a ecofisiologia da castanheira no Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Vegetal (LFBV) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), ao longo de mais de quinze anos de estudos sobre essa espécie. Analisando o crescimento e desenvolvimento da castanheira sob diferentes tratamentos em condições de casa de vegetação e de campo.

Tudo considerado, seja a importância social, seja a econômica e a ambiental da castanheira-da-amazônia, bem como as peculiaridades fisiológicas que tornam essa espécie uma das mais promissoras para apoiar o desenvolvimento da silvicultura de espécies nativas da Amazônia, neste capítulo discutimos sobre os aspectos ecofisiológicos da castanheira e como esses podem direcionar o cultivo e o manejo racional da espécie. O objetivo deste capítulo foi estabelecer as conexões conceituais para entender a ecofisiologia da castanheira e projetar possibilidades sobre a silvicultura e o manejo da espécie em plantios comerciais ou nos castanhais nativos, tanto para a produção de múltiplos produtos quanto para os potenciais serviços ecossistêmicos fornecidos pela castanheira individual e coletivamente (plantios puros ou mistos) e pelos castanhais nativos em associações da castanheira com outras espécies.

Dicionário dos termos em destaque

Características funcionais são traços fenotípicos que sofrem interferência do meio. Alguns exemplos de traços funcionais são as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila a, os teores de pigmentos foliares e de nutrientes, a área foliar etc.

Ecofisiologia vegetal é o ramo da fisiologia vegetal capaz de comparar a diversidade fisiológica com o ambiente do indivíduo e suas interações na autoecologia e nas funcionalidades dos organismos vegetais.

Estresse fisiológico é uma condição à qual a planta é submetida e que promove alterações negativas sobre suas estruturas e funções, produzindo impactos diretos sobre a produtividade primária. O estresse pode ser transitório ou permanente, dependendo do impacto (nível e tempo de exposição ao estresse) conferido pelo desvio das condições ótimas para o crescimento e o desenvolvimento da espécie.

Fatores abióticos, isto é, componentes físicos dos sistemas biológicos, são representados pelos recursos primários sem os quais não se repercute crescimento vegetal, que são os seguintes: água, luz, carbono, hidrogênio, oxigênio e outros nutrientes minerais, conhecidos como elementos essenciais.

Fatores bióticos são representados, principalmente, por interações, competições e/ou sinergismos intra e interespecíficos, com destaque para a participação de insetos e microrganismos.

Plasticidade pode ser entendida como a capacidade do organismo de alterar o fenótipo em função das mudanças que podem ocorrer na disponibilidade de recursos no meio onde habita.

Tolerância é a capacidade da espécie de suportar níveis diferenciados de estresse. As respostas de tolerância podem variar de acordo com a espécie, o estágio de crescimento e a duração da intensidade do estresse. A tolerância resulta em aclimação, no curto prazo, ou em mais longo prazo para a adaptação dos organismos às novas condições impostas pelo meio.

O ambiente da castanheira

A castanheira é uma espécie que ocorre em toda a região amazônica, desde o nível do mar até cerca de 562 m de altitude (Mori; Prance, 1990; Thomas et al., 2014; Tourne et al., 2019). A ocorrência da castanheira tem sido registrada em ambientes com temperaturas médias variando de 24,3° C a 27,2° C, precipitação total anual entre 1.400 mm e 2.800 mm e umidade relativa média anual entre 79 e 86% (Diniz; Basto, 1974). A espécie ocorre, predominantemente, em áreas de terra firme, mas também pode ocorrer em áreas alagadas (Tourne et al., 2019).

O ambiente edáfico

Os fatores edáficos, como silte, argila, macroporosidade, pH e teores de fósforo, zinco e cobre são os fatores que melhor apresentaram relação espacial com a ocorrência da castanheira (Guerreiro et al., 2017). A espécie apresenta melhor desempenho de crescimento em solos com textura argilosa a muito argilosa e seu crescimento é prejudicado em solos arenosos (Müller et al., 1995; Lima et al., 2018; Costa et al., 2022).

Os principais fatores edáficos relacionados à indução ou à inibição do crescimento da castanheira são os níveis de fósforo (P), zinco (Zn), sódio (Na), alumínio (Al), magnésio (Mg) e os teores de areia total, silte e água disponíveis (Lima et al., 2018; Costa et al., 2022). O pH do solo entre 5,5 e 6,6 favorece o aumento das taxas de crescimento em diâmetro e produção de biomassa (Costa, 2019) e o P tem sido apontado como fator determinante para a produção de frutos e o crescimento (Kainer et al., 2007; Costa et al., 2022) – Figura 1.



Foto: Viviane Maia Corrêa

Figura 1. Influência da calagem e da fertilização fosfatada sobre o crescimento de mudas de *Bertholletia excelsa* aos seis meses de idade em Manaus-AM.

Em estudo realizado com mudas de castanheira em vasos (Figura 1), foi possível verificar que os níveis adequados de P no solo estão entre 200 e 400 mg kg⁻¹ (Corrêa, 2013). Apesar dessas informações, sua parte nutricional ainda precisa ser mais bem estudada para entendermos as relações entre os elementos essenciais e o crescimento e outras características fisiológicas da espécie.

Em se tratando de crescimento, a adubação orgânica também parece exercer papel determinante sobre essa variável na castanheira (Figura 2). A castanheira em plantio em área degradada apresentou maiores taxas de crescimento sob adubação orgânica (folhas e galhos picados) quando comparado com a adubação química – 150 g de adubo mineral Ouromag® e 50 g de calcário dolomítico por planta (Ferreira et al., 2009). Os autores atribuíram as maiores taxas de crescimento da espécie ao seu melhor desempenho fotossintético quando submetida à fertilização orgânica (cobertura do solo ao redor dos indivíduos com a biomassa orgânica). A partir dessas informações, ficou constatado que o efeito da adubação/cobertura orgânica não se limitou ao fornecimento de nutrientes, pois também pode influenciar os parâmetros físicos do solo, inclusive a temperatura, e potencialmente estimular a presença da microbiota mais favorável na parte do solo que é mais influenciada pelas raízes (Primavesi et al., 2006).

Fotos: João B. S. Ferraz (Inpa) e Marciel J. Ferreira (UFAM)



Figura 2. Efeitos da adubação orgânica (A) e adubação química (B) sobre o crescimento de *Bertholletia excelsa* aos quatro anos de idade, plantada sobre área degradada em Manaus-AM.

Em condições controladas, a castanheira foi tolerante à deficiência hídrica (Schimpl et al., 2019) e foi capaz de suportar alagamento em condições de campo (Figura 3). Em experimento em condições de casa de vegetação, plantas jovens de castanheira foram submetidas à suspensão da rega (deficiência hídrica) e, ao mesmo tempo, foi monitorada a fotossíntese líquida até alcançar valores próximos a zero, condição de estresse hídrico que induziu uma série de mudanças morfológicas e fisiológicas. Mas, quando as mudas foram reidratadas, elas retomaram os indicadores funcionais

(ex.: fotossíntese) e o crescimento em tempo curto, indicando tolerância à seca e plasticidade fisiológica a diferentes condições hídricas (Schimpl et al., 2019).

Por outro lado, observações de campo realizadas em 2019, em experimento de recomposição de área de preservação permanente na cidade de Marabá-PA (*dados não publicados*), mostraram que a espécie foi capaz de suportar períodos curtos de alagamento (cinco ou sete dias contínuos), durante os quais as plantas permaneceram completamente submersas. Após o período de alagamento, a castanheira perdeu todas as folhas, porém, em poucos dias, os indivíduos lançaram novas folhas, indicando uma recuperação da planta após o estresse causado pelo alagamento (Figura 3).



Foto: Karen Cristina Pires da Costa

Figura 3. Castanheira-da-amazônia aos seis meses de idade em condição de alagamento (A) e a mesma planta após a redução dos níveis de água (B), em Marabá-PA. Os círculos vermelhos indicam os lançamentos foliares.

O ambiente de luz

Embora a castanheira sobreviva em ambientes sombreados, a exemplo do interior das florestas, local onde a quantidade de luz que chega até a superfície das folhas representa de 0,2 a 1,5% da irradiância que atinge o dossel, a espécie exibe maior desempenho funcional em ambientes com 100% de irradiância incidente nas folhas, representado pelas áreas totalmente abertas, como as áreas degradadas, Figura 4 (Lopes et al., 2019).

A capacidade da castanheira de se estabelecer tanto em ambientes sombreados quanto em ambientes a pleno sol (Figura 4) reflete, consistentemente, a flexibilidade do aparato fotossintético dessa espécie para tolerar faixas amplas de variação de luz. Contudo, a regeneração, o crescimento e a produção são favorecidos pela maior disponibilidade de luz (Scoles et al., 2014; Lopes et al., 2019; Costa et al., 2020, 2022).

Foto: Karen Cristina Pires da Costa



Figura 4. Castanheiras-da-amazônia de aproximadamente um ano de idade, sombreadas, plantadas em sistema agroflorestal em Marabá-PA (A) e em área aberta no sistema de plantio puro, em Canaã dos Carajás-PA (B).

Os maiores valores das taxas de crescimento da castanheira têm sido observados em indivíduos crescendo em áreas com porcentagem de abertura do dossel superior a 30% (Peña-Claros et al., 2002; Costa, 2015), sendo que na região de Trombetas-PA, as maiores taxas de crescimento foram observadas em áreas com 100% de abertura do dossel e as menores taxas de crescimento foram observadas em áreas com abertura do dossel igual ou inferior a 10% (Scoles et al., 2014). No entanto, as variações entre esses resultados podem ser explicadas pela maior ou menor disponibilidade dos outros fatores abióticos, ou seja, quando a disponibilidade de água e de nutrientes, ou até mesmo de fatores físicos do solo (densidade, porosidade, teor de matéria orgânica etc.), é favorável, a elevada incidência de luz, que potencialmente induziria a uma resposta negativa, pode ser compensada mediante ajustes fisiológicos da espécie.

Apesar das diferenças de crescimento, a castanheira é capaz de sobreviver em ambientes de luz diferenciados, mas os níveis de irradiância mais adequados para a sobrevivência e o crescimento da castanheira parecem estar entre 800 a 2.100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. O nível mais moderado, de 800-1.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, pode, no longo prazo, ser mais vantajoso (Souza et al., 2017), pois, em níveis mais elevados de irradiância, a castanheira apresenta menor eficiência fotoquímica, o que pode comprometer a fotossíntese, em particular o metabolismo dos carboidratos e, conseqüentemente, o crescimento da espécie (Lopes et al., 2019; Costa et al., 2020). Níveis de irradiância inferiores a 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ também podem comprometer a sobrevivência dos indivíduos no médio e longo prazo (Scoles et al., 2014).

Estágios fenológicos foliares da castanheira

A descrição dos estágios fenológicos foliares é fundamental para que haja um diagnóstico correto sobre a fisiologia e o metabolismo vegetal, uma vez que essas medidas são realizadas, em geral, no nível da folha e devem ser realizadas segundo rigorosos protocolos de coleta de dados. No campo, é possível identificar ao menos quatro estágios fenológicos foliares da castanheira, que são: folhas recém-lançadas, folhas novas, folhas maduras e folhas velhas (Figura 5).

As folhas mais novas sempre ocorrem na base dos ramos (Figura 5). As folhas recém-lançadas e novas são tenras e podem ser maiores que as folhas maduras e velhas, mas isso depende do ambiente de crescimento das plantas. A principal

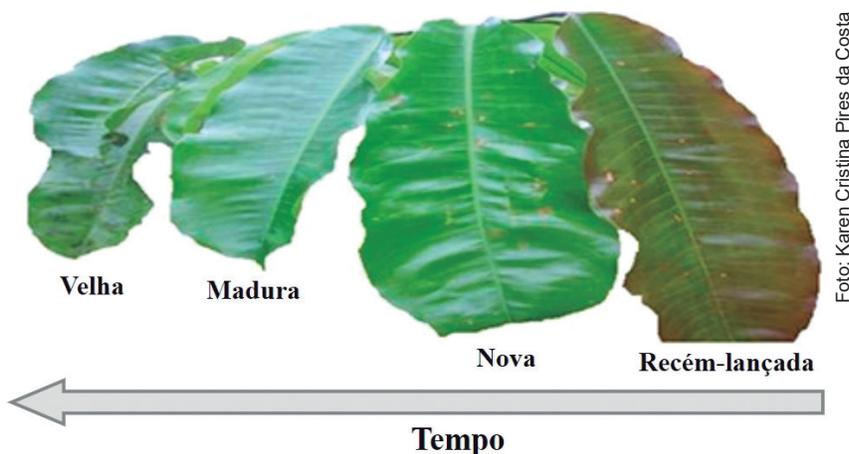


Figura 5. Estágios fenológicos foliares da castanheira-da-amazônia.

diferença entre as folhas recém-lançadas e as novas pode ser verificada na coloração, sendo que, geralmente, nas folhas recém-lançadas a coloração marrom clara é predominante (Figura 5).

A diferença entre as folhas novas e as maduras se dá, principalmente, pela textura e coloração das folhas. As folhas maduras são menos tenras que as novas e apresentam coloração verde mais intensa e brilhosa. Já em relação às folhas maduras e folhas velhas, a principal diferença é o aspecto coriáceo e a coloração verde mais opaca nas folhas mais velhas (Figura 5).

O estágio fenológico da folha exerce forte influência sobre as características funcionais, em especial nos parâmetros das trocas gasosas, em que as folhas mais novas, em geral, apresentam taxas fotossintéticas superiores às das folhas mais velhas (Figura 6A). Porém, as folhas maduras são as mais utilizadas para determinar as respostas fotossintéticas das plantas, pois são capazes de gerar balanço positivo na produção de compostos, provavelmente devido ao equilíbrio no metabolismo do carbono.

Como consequência do metabolismo foliar ao longo dos estágios fenológicos, entre as folhas da castanheira, as mais velhas apresentam área foliar específica (AFE) menor quando comparada com as folhas mais novas (Figura 6B). A AFE é uma característica funcional importante e que também pode ser utilizada para inferir sobre o estágio fenológico foliar da castanheira, como pode ser observado na Figura 6B.

Características funcionais da castanheira

O conhecimento sobre a ecofisiologia da castanheira vem sendo construído gradualmente. Dessa maneira, as informações sobre os aspectos ecofisiológicos da *Bertholletia excelsa* ainda necessitam ser consolidadas, especialmente em relação às diferentes condições e fases de crescimento das árvores. Porém, algumas pesquisas têm se destinado a investigar as principais respostas fisiológicas dessa espécie quando cultivada sob diferentes condições ambientais, por exemplo, deficiência hídrica, alta irradiância e limitações edáficas e nutricionais (Tabela 1), sendo realizadas com mudas e árvores de castanheiras em condições controladas ou de campo (Morais et al., 2007; Ferreira et al., 2009, 2015; Schimpl et al., 2019; Costa et al., 2020, 2022).

Tabela 1. Respostas ecofisiológicas de *Bertholletia excelsa* à variação na disponibilidade de irradiância, água e nutrientes. A = Fotossíntese, g_s = Condutância estomática, E = Transpiração, R_d = Respiração no escuro, AFE = Área foliar específica; Chl_{total} = Clorofilas total, Car = Carotenóides, F_v/F_M = eficiência fotoquímica do fotossistema II, EUN = Eficiência no uso do nitrogênio, EUP = eficiência no uso do fósforo, EUA = Eficiência no uso da água.

Características funcionais	Irradiância ⁽¹⁾		Água ⁽²⁾		Nutrientes ⁽³⁾	
	Folhas de sombra	Folhas de sol	Período seco	Período chuvoso	Sem fertilização	Fertilizadas
A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	10,34	12,61	11,21	11,74	8,23	11,60
g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	235,83	297,50	285,00	248,33	265,33	369,28
E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	4,14	4,77	4,62	4,29	3,57	4,71
R_d ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1,03	1,72	1,47	1,28	0,82	0,95
AFE ($\text{cm}^{-2} \text{g}^{-1}$)	115	95	115	95	142	150
Chl a/Chl b	2,92	3,05	2,88	3,08	3,46	3,29
Chl_{total}/Car	2,83	2,65	2,72	2,77	3,07	2,50
F_v/F_M	0,82	0,78	0,81	0,80	0,74	0,76
EUN $\mu\text{mol mol}^{-1}$	0,56	0,70	0,61	0,66	0,66	0,62
EUP $\mu\text{mol mol}^{-1}$	11,02	14,45	10,83	14,64	9,27	10,30
EUA $\mu\text{mol mmol}^{-1}$	2,63	2,69	2,53	2,79	2,28	2,50

⁽¹⁾ Médias calculadas a partir dos trabalhos de Morais et al. (2007) e Ferreira et al. (2009).

⁽²⁾ Médias calculadas a partir dos trabalhos de Ferreira (2013) e Morais et al. (2007).

⁽³⁾ Médias calculadas a partir dos trabalhos de Ferreira et al. (2009), Gomes (2012) e Corrêa (2013).

Na literatura, é possível encontrar valores de fotossíntese para castanheira que, em geral, variam dentro de uma faixa mais ampla de 0,5 a 15 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ sob diferentes condições de tratamento ou de crescimento (Morais et al., 2007; Ferreira et al., 2009, 2015; Schimpl et al., 2019; Lopes et al., 2019; Costa et al., 2020). Mas, quase sempre, os valores apresentados na Figura 7 representam o comportamento fotossintético mais comum para a espécie. Os menores valores foram observados em mudas sombreadas, enquanto os maiores valores foram observados em plantas adultas expostas à luz solar direta (Ferreira et al., 2015, 2016; Lopes et al., 2019; Costa et al., 2020, 2022).

As taxas de respiração no escuro encontradas para a castanheira têm variado de 0,12 a 2,9 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ (Morais et al., 2007; Ferreira et al., 2009, 2015; Schimpl et al., 2019; Lopes et al., 2019). A amplitude de valores encontrados para a condutância estomática e a transpiração têm sido de 0,02 a 0,59 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e de 0,57 a

6,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Morais et al., 2007; Ferreira et al., 2009, 2015; Schimpl et al., 2019; Lopes et al., 2019; Costa et al., 2022).

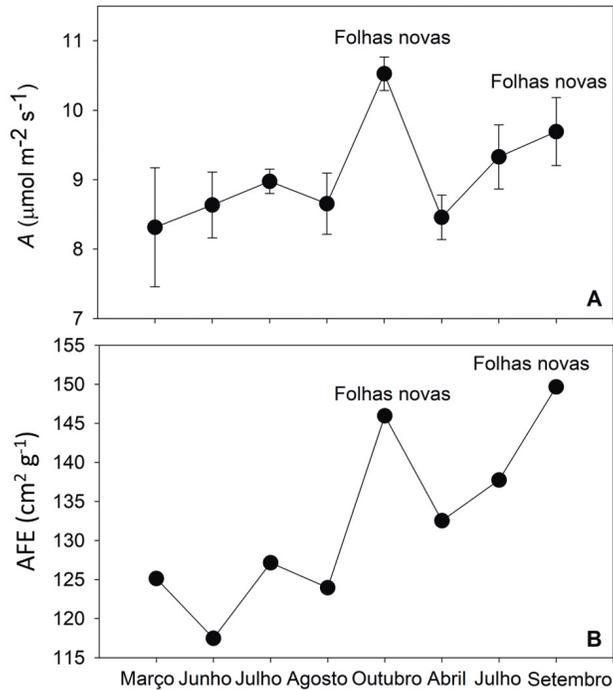


Figura 6. Influência do estágio fenológico foliar sobre a fotossíntese (A) e a área foliar específica (B) de árvores de *Bertholletia excelsaem* plantio de dezenove anos localizado em Itacoatiara-AM.

Fonte: Costa (2019).

Uma curva típica de fotossíntese em resposta à irradiância de plantas de castanheira (Figura 7) pode apresentar um ponto de compensação de luz variando de 2,11 a 71 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$, ponto de saturação variando de 190 a 1032 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ e eficiência quântica entre 0,026 e 0,12 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ (Corrêa, 2013; Ferreira et al., 2015; Lopes et al., 2019; Costa et al., 2022). Esses valores podem variar de acordo com o ambiente de luz, a disponibilidade de água, a fertilidade do solo e a idade das folhas. As consequências e os desdobramentos dos valores das taxas de fotossíntese poderão ser melhor entendidos em várias partes deste capítulo a partir das discussões sobre os componentes do aparato fotossintético ou por processos fisiológicos relacionados como a fluorescência da clorofila *a*.

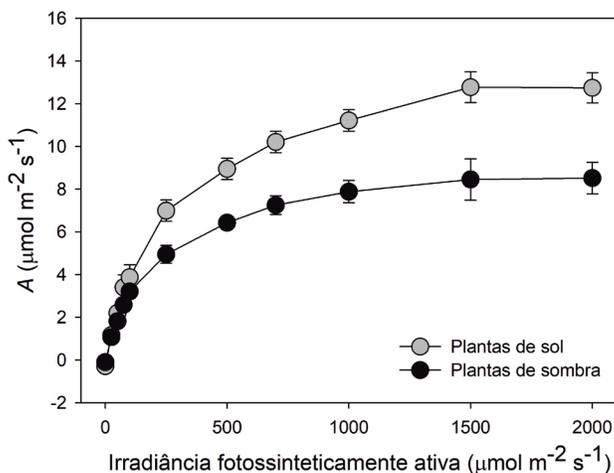


Figura 7. Curva de fotossíntese em resposta à irradiância de mudas de castanheira-da-amazônia de 2 anos de idade em diferentes ambientes de luz em Manaus-AM.

Fonte: Lopes et al. (2019).

A fluorescência da clorofila *a*, mais especificamente medida pela eficiência fotoquímica do fotossistema II, é definida como a razão entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima (F_v/F_M), e ocorre na membrana do tilacoide no cloroplasto. Em geral, evidencia um dreno de elétrons para finalidade que não apresentará ganho energético, representado pela redução dos valores de F_v/F_M para a fotossíntese, isto é, não resultará na produção de NADPH e ATP (Strasser et al., 2004).

A redução dos valores de F_v/F_M , por sua vez, ocorre quando as plantas estão sob alguma condição de estresse, como a que pode ser observada na Figura 8, em que folhas aclimatadas a sombra, quando submetidas a uma condição de maior incidência de luz, aumentam a perda de energia na forma de calor ou fluorescência e reduzem a quantidade de energia direcionada para o processo fotoquímico podendo causar a fotoinibição (Strasser et al., 2004; Kalaji et al., 2018).

A fotoinibição é definida como um complexo conjunto de processos moleculares que promovem a inibição de fotossíntese em situações de excesso de luz e ocorre quando a quantidade de energia captada pelo aparato fotossintético é maior do que a planta necessita para o desempenho dos seus processos funcionais (Strasser et al., 2004). Esse excedente de energia pode causar danos irreversíveis ao aparato

fotossintético, de modo a resultar na redução do desempenho fotoquímico, o que pode levar a perdas de crescimento e mortalidade da planta (Strasser et al., 2004).

Para a castanheira é verificada uma amplitude de variação não muito grande da razão F_v/F_m , com valores da ordem de 0,58 a 0,85, sendo os menores valores encontrados em plantas a pleno sol e em solos pobres em nutrientes, enquanto os maiores valores foram encontrados em plantas jovens sob adubação fosfatada (Ferreira et al., 2009, 2015; Corrêa, 2013; Souza et al., 2017; Schimpl et al., 2019; Lopes et al., 2019; Costa et al., 2020). Para castanheira, o que tem sido verificado é que, embora fatores de estresse possam causar redução da razão F_v/F_m , na maioria dos casos isso não implica redução das taxas fotossintéticas (Costa, 2019; Costa et al., 2022).

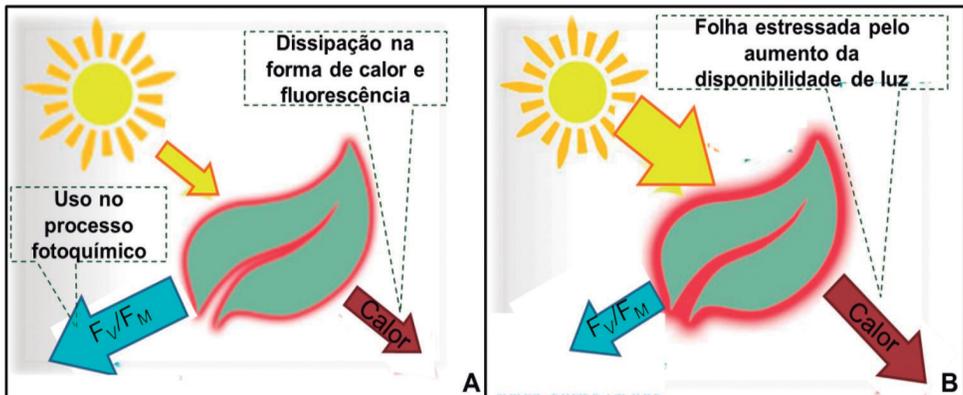


Figura 8. Esquema ilustrativo do fluxo de elétrons em membranas cloroplastídicas (tilacoide), com destaque para a fluorescência da clorofila a.

Fonte: Costa (2015).

Nutrição mineral

As concentrações de nutrientes nas folhas da castanheira com diferentes idades ou em diferentes condições de crescimento e locais de plantios na região amazônica apresentam pequenas variações (Tabela 2). Valores mais altos são observados em plantas jovens, em casa de vegetação, e valores mais baixos, em plantios sobre áreas degradadas (Tabela 2). Em geral, a ordem da concentração de nutrientes nas folhas da castanheira é: N (18 g kg^{-1}) > Ca (7 g kg^{-1}) > K (5 g kg^{-1}) > Mg (2 g kg^{-1}) > P (1 g kg^{-1}) > Mn (102 mg kg^{-1}) > Fe (68 mg kg^{-1}) > Zn (28 g kg^{-1}).

Tabela 2. Teores de nutrientes foliares em castanheiras-da-amazônia em diferentes idades, sistemas de plantio e localidades na região da Amazônia.

Condição de crescimento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
	----- g kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----			
Plantio puro, 8 anos	17,5	0,7	6,2	4,3	2,4	57,5	25,7	94,5
Casa de vegetação, 9 meses	20,2	1,1	5,5	4,2	1,5	39,3	36,7	52,9
Plantio clonal (606)	19,2	1,0	5,7	5,6	2,1	64,2	29,0	107,4
Plantio clonal (609)	19,7	0,9	4,4	8,4	2,2	67,4	29,2	134,5
Plantio clonal (ARU)	18,8	1,0	4,7	6,1	2,3	66,2	30,1	99,9
Plantio clonal (Manuel Pedro)	19,0	1,0	4,8	6,3	2,6	70,3	28,5	124,1
Plantio clonal (Santa Fé)	19,3	1,0	4,4	7,8	2,6	68,7	30,2	149,2
Plantio de RAD, 1 ano	10,7	1,2	3,1	11,1	2,4	119,6	19,6	32,6
Plantio misto, 10 anos	18,5	0,7	4,1	8,8	2,7	62,3	28,2	123,2
Sistema agroflorestal, 7 anos	19,4	1,1	7,0	9,5	2,7	-	-	-
Plantio puro, 17 anos	17,2	0,9	3,6	5,5	2,5	97,1	20,5	95,2
Plantio puro, 12 anos ⁸	17,1	0,7	4,6	5,6	3,7	36,6	18,9	62,4
Plantio puro, 29 anos	19,3	1,1	8,4	5,2	2,7	46,4	18,7	32,4

Fonte: Costa et al. (2022).

A castanheira possui alta taxa de reabsorção de nutrientes das folhas senescentes, especialmente fósforo (P) e potássio (K) (Costa, 2019). A eficiência de reabsorção de nutrientes pela espécie ocorre na seguinte ordem: P = K > N > Mg > Ca (Costa, 2019). Em relação à eficiência de reabsorção no uso do P, verifica-se que a espécie reabsorve cerca de 60% do P das folhas senescentes, e isso pode significar que 40% desse P pode, então, ser transportado para o solo via serrapilheria (Costa, 2019). Adicionalmente, foi observado que os teores de nutrientes em folhas maduras de

castanheira não são bons indicadores da fertilidade dos solos e que as raízes finas e as folhas mais velhas parecem ser os melhores indicadores (Costa, 2019).

Anatomia e morfologia de folhas e raízes finas

As folhas da castanheira são do tipo hipoestomáticas, apresentando estômatos apenas na parte inferior das folhas (epiderme abaxial do limbo), e com características de folhas mesofíticas. Os estômatos observados nas folhas da castanheira, de acordo com o formato e o arranjo das células, são classificados como anomocítico, pois cada estômato está envolvido por um número variável de células que não diferem em formato e tamanho das demais células epidérmicas subsidiárias (Figura 9).

Fotos: Karen Cristina Pires da Costa

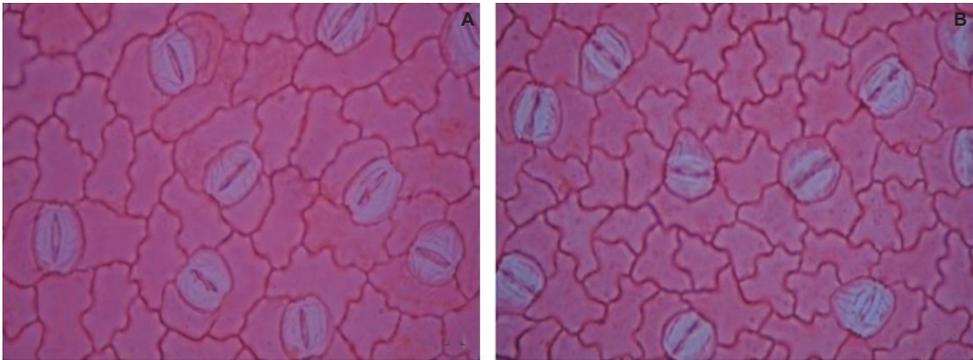


Figura 9. Fotomicrografias paradérmicas do limbo foliar de *Bertholletia excelsa* submetidas a diferentes regimes hídricos. A = Irrigada; e B = Não irrigada (40 x 2).

A redução da disponibilidade de água impacta a morfoanatomia da castanheira. Mudanças de castanheira submetidas a tratamento de supressão de irrigação exibiram reduções da espessura da epiderme adaxial, do parênquima paliçádico, do parênquima lacunoso e da epiderme abaxial (Schimpl et al., 2019).

A disponibilidade de luz também influencia a morfoanatomia de folhas da castanheira. Folhas de castanheira em ambientes sombreados diminuem a espessura dos parênquimas, como pode ser verificado na Figura 10A, na qual se observa um discreto aumento do parênquima paliçádico nas plantas expostas a pleno sol quando comparada com a planta sombreada (Figura 10B).

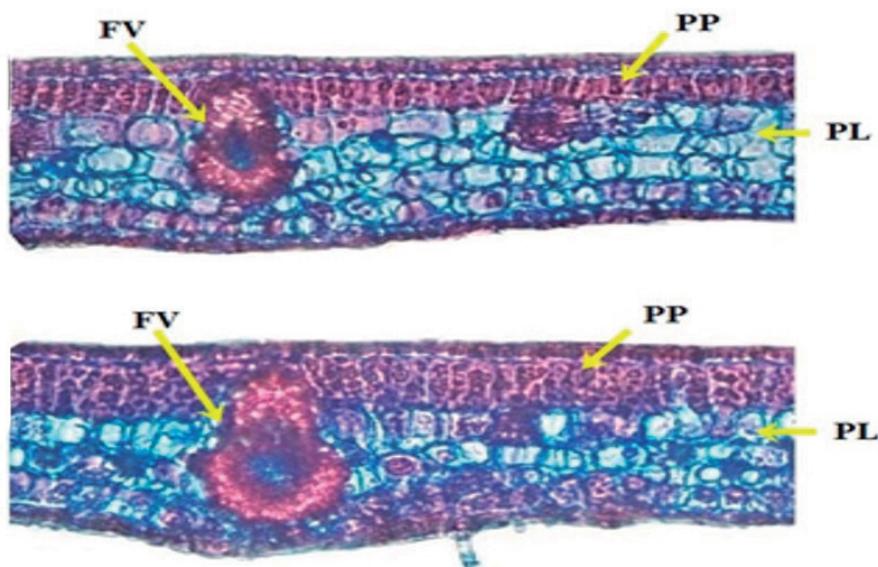


Foto: Karen Cristina Pires da Costa

Figura 10. Cortes transversais de folhas de castanheiras-da-amazônia submetidas ao sombreamento (10A) e a pleno sol (10B). PP – Parênquima paliçádico; PL – Parênquima lacunoso; e FV – Feixe vascular.

A AF da castanheira varia de 74,8 a 400 cm² e a AFE varia de 91,3 a aproximadamente 200 cm² g⁻¹ em plantas com diferentes idades e em diferentes condições de sítio (Ferreira et al., 2009, 2015; Corrêa, 2013; Souza et al., 2017; Schimpl et al., 2019; Lopes et al., 2019; Costa et al., 2020). Mudanças nos valores de AF, em geral, ocorrem devido a mudanças no ambiente de luz e devido a diferenças na fertilidade do solo (Costa, 2019). Por outro lado, mudanças nos valores de AFE têm sido observadas a partir de mudanças no ambiente de luz e da disponibilidade de água no sítio e menos por mudanças na fertilidade dos solos (Costa, 2019).

A morfologia das raízes da castanheira é fortemente influenciada pela disponibilidade de água e de nutrientes (Costa, 2019). As raízes da castanheira em solos pobres em fósforo são mais finas e, em geral, em maior quantidade (Figura 11). Esses aspectos favorecem a aquisição e o uso de nutrientes. Esses resultados refletem a importância da adubação fosfatada, principalmente as alterações morfológicas dos principais órgãos de captação e absorção de nutrientes, que são as raízes finas.



Figura 11. Aspecto visual de raízes de mudas da castanha-da-amazônia aos seis meses de idade, sem adubação (11A) e adubadas com fósforo (11B).

Tolerância aos fatores de estresse

A castanheira demonstra tolerância a diferentes tipos de estresse (Lopes et al., 2019; Schimpl et al., 2019; Costa et al., 2020, 2022). Embora as pesquisas sejam mais direcionadas para o estresse abiótico e a potencial plasticidade da espécie, evidências sugerem que a castanheira também apresenta tolerância a estresses bióticos, uma vez que há um número reduzido de relatos de microrganismos que atacam a castanheira, e nesses relatos se destaca, em geral, que não ocorre o comprometimento da sobrevivência e produtividade da espécie (Andrade et al., 1984).

A castanheira possui tolerância à alta irradiância e isso tem sido constatado a partir das pequenas reduções nos valores de eficiência fotoquímica (F_v/F_M) e também devido

à capacidade de rápida recuperação dos valores de F_v/F_M a níveis considerados ótimos, mesmo após um evento de estresse por alta irradiância (Lopes et al., 2019; Costa et al., 2020). Essa característica parece ser conferida, principalmente, pela capacidade da espécie de eliminar o excesso de energia na forma de calor e também pela redução da área foliar e da concentração de clorofilas que diminuem a capacidade de captação de irradiância pelas plantas (Lopes et al., 2019; Costa et al., 2020). Adicionalmente, a manutenção de concentrações altas de ferro nas folhas da castanheira sob alta irradiância parece ser fundamental para a manutenção da taxa de transporte de elétrons e, assim, evitar a fotoinibição (Costa et al., 2020).

Com relação ao estresse hídrico, a tolerância da castanheira à seca parece ser conferida pelas mudanças morfológicas em nível de folha e de raiz, refletidas na redução da área foliar e no aumento do comprimento das raízes, que resulta em menor área de transpiração e maior capacidade de captação de água (Schimpl et al., 2019). Adicionalmente, foi observado que plantas de castanheiras submetidas a estresse hídrico aumentam a concentração de osmorreguladores nas folhas, como as prolinas, os carboidratos e o potássio (Costa, 2019).

Quanto à tolerância ao estresse pela baixa disponibilidade de nutrientes, há necessidade de maiores investigações para se entender quais mecanismos conferem essa capacidade à espécie, mas alguns estudos (Côrrea, 2013; Costa et al., 2020) têm demonstrado que, em condições de baixa fertilidade dos solos, ocorrem mudanças no sistema radicular e nos mecanismos fisiológicos que favorecem tanto a captação quanto o aumento da eficiência no uso do nutriente mais limitante (Costa, 2019).

Plasticidade e eficiência no uso de recursos

A castanheira possui plasticidade adaptativa em resposta à disponibilidade de luz, água e nutrientes (Corrêa, 2013; Lopes et al., 2019; Costa et al., 2020, 2022). Essa característica se deve à capacidade dessa espécie de desenvolver estratégias que representam vantagem adaptativa às mudanças na disponibilidade de fatores como luz, água e nutrientes no ambiente de crescimento e à capacidade da espécie de recuperação do estresse em curto período (ex.: dinâmica dos valores de F_v/F_M , retomada da fotossíntese após reidratação, ampla faixa de utilização de nutrientes).

As características funcionais que mais contribuem para explicar a plasticidade fotossintética da castanheira à irradiância são a área foliar específica, a relação F_v/F_M , a respiração no escuro, a condutância estomática e a concentração de

carboidratos nas folhas (Lopes et al., 2019). Além dessas características, aspectos morfológicos de folhas e raízes finas, bem como a alocação de biomassa na planta também ajudam a explicar a plasticidade da castanheira a fatores edáficos como a disponibilidade de fósforo, o pH do solo e a disponibilidade de água (Côrrea, 2013; Schimpl et al., 2019; Costa et al., 2020).

A eficiência no uso de recursos é uma característica funcional determinante para o estabelecimento e o crescimento das plantas. A castanheira possui a capacidade de alterar a eficiência no uso de água, luz e nutrientes conforme a disponibilidade desses recursos no meio. O que tem sido observado é que quando a água, a luz ou os nutrientes se tornam limitante, a castanheira aumenta a eficiência fotossintética no uso desses recursos (Ferreira et al., 2009; Lopes et al., 2019; Schimpl et al., 2019; Costa et al., 2022), porém os mecanismos associados a essas alterações ainda necessitam ser mais bem investigados.

A ecofisiologia da castanheira e suas implicações para o cultivo e o manejo

Considerando os aspectos ecofisiológicos da castanheira, pode-se inferir que a espécie apresenta perfil fisiológico para ser utilizada em diversos empreendimentos de base florestal, devido à alta plasticidade foliar em resposta a fatores abióticos e bióticos e também devido à sua capacidade de tolerar estresses causados por irradiância, água, luz e nutrientes. A castanheira pode ser plantada em áreas com alta disponibilidade de luz, como a pleno sol e em áreas degradadas, onde há uma baixa disponibilidade de água e nutrientes. Portanto, a tolerância da castanheira a esses impactos do ambiente e as suas respostas fisiológicas, que dão suporte à manutenção da produção (madeira ou castanhas), mesmo em condições menos favoráveis, elevam a espécie a um patamar de destaque na silvicultura do trópico úmido.

Conforme Melo (2000, p. 2),

O futuro da castanha-da-amazônia como uma cultura pode ser vista de três maneiras: 1^a) Como um produto extrativo; 2^a) Como um componente manejável de agrofloresta/floresta; e 3^a) Como uma cultura moderna de plantações em monocultura. A primeira opção pode ajudar a conservar a floresta tropical e as culturas de seus habitantes, tais como os ameríndios e os caboclos. A segunda opção pode enriquecer áreas desmatadas e prover uma capitalização a longo termo para seus donos. A última opção é para os investimentos já capitalizados, podendo ser limitada, futuramente, pelo ataque de pragas e doenças.

Para atingir essas potencialidades, no entanto, muito ainda é preciso ser feito, em termos científicos, para chegar a um entendimento mais completo sobre o comportamento funcional da castanheira, considerando-se o contexto das diferenças marcantes nos ambientes de crescimento especificados pelos sistemas de cultivo. Além disso, registramos que esses sistemas de cultivo não são excludentes. Deve-se usá-los de forma tecnicamente correta, observando ainda que os avanços nos plantios não representam passagem livre para aberturas de novas áreas, mas, sim, a oportunidade de reinserção de áreas degradadas e/ou de baixa produção em áreas produtivas, seguindo os modelos de sustentabilidade.

A castanheira também pode ser plantada em áreas com disponibilidade variável de irradiância ao longo do tempo, como aquelas que ocorrem em plantios de enriquecimento, e também em locais mais sombreados, como em sistemas agroflorestais. Porém, é importante ressaltar que a espécie apresenta melhor desempenho fisiológico em áreas onde há maior disponibilidade de luz. Isso considerado, também se verifica viabilidade para indicar que sejam inseridas castanheiras em sistemas de consórcio, preferencialmente nos anos iniciais de implantação e estabelecimento das culturas.

Práticas de adubação são recomendadas e devem ser adotadas, particularmente na instalação dos plantios em áreas degradadas, com o intuito de aumentar a produtividade tanto de madeira quanto de frutos, e especial atenção deve ser dada à disponibilidade de fósforo no solo. Esse elemento parece exercer papel fundamental sobre o crescimento e a produtividade da espécie.

A respeito do plantio da espécie em áreas que sofrem com alagamentos periódicos, embora resultados preliminares mostrem que a espécie é capaz de sobreviver à essa situação, há necessidade de maiores investigações, com o objetivo de verificar se o uso da espécie é viável, do ponto de vista econômico, para plantios em áreas que são alagadas periodicamente.

Considerações finais e perspectivas

Os estudos ecofisiológicos podem contribuir significativamente para aperfeiçoar técnicas silviculturais e de manejo da castanheira. Vários exemplos relacionados ao comportamento dessa espécie crescendo em condições controladas (casa de vegetação e/ou viveiro), assim como no campo, seja em plantios, seja em castanhais nativos, confirmam a plasticidade funcional da espécie. Características fisiológicas

da castanheira dão margem para flexibilizar e adequar práticas silviculturais, para manejar diferentes sistemas de plantios. Porém, muito ainda precisa ser estudado sobre os aspectos fisiológicos da castanheira, particularmente no que se refere à fisiologia da produção, alocação e estoque de carbono, além do metabolismo da espécie. Por isso, destaca-se a necessidade de estudos bioquímicos e moleculares complementares aos estudos ecofisiológicos. Esse esforço científico é importante para entender a diversidade de respostas, estratégias e mecanismos desenvolvidos pela castanheira durante situações de estresse ou mesmo quando cultivada em condições ideais, com vistas à seleção de clones mais produtivos. Portanto, entender a fisiologia e o metabolismo da castanheira, com a intenção de se obter alto rendimento funcional dos indivíduos no campo, ainda precisa de mais experimentação e mais estudos visando aprofundar os conhecimentos atuais.

Diante do que foi apresentado neste capítulo, a partir de resultados ecofisiológicos e silviculturais já realizados para a castanheira, assim como apontadas as principais lacunas, acredita-se que em um futuro próximo será uma realidade o aperfeiçoamento dos plantios da castanheira. Além disso, será possível oferecer maior suporte técnico aos programas de melhoramento, florestamento e reflorestamento desta espécie na Amazônia. Portanto, estes conhecimentos trarão importantes contribuições para a restauração de áreas degradadas, plantios de produção de alto desempenho (madeira ou frutos) e também para a sustentabilidade dos castanhais nativos. O fato é que os estudos ecofisiológicos da castanheira são imprescindíveis para diagnosticar limitações e promover intervenções técnicas em diferentes condições de cultivo e período dos ciclos de vida/produção desta icônica espécie florestal da Amazônia.

Referências

- ANDRADE, J. D. de; CARDOSO, J. E. Caracterização de uma doença fúngica na castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). **Acta Amazonica**, v. 14, n. 1-2, p. 3-8, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921984142008>.
- ANDRADE, V. L. C.; FLORES, B. M.; LEVIS, C.; CLEMENTE, C. R.; ROBERTS, P.; SCHONGART, J. Growth rings of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) as a living record of historical human disturbance in Central Amazonia. **PLoS ONE**, v. 14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214128>.
- BERTWELL, T. D.; KAINER, K. A.; CROPPER JUNIOR, W. P.; STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. de O. Are Brazil nut populations threatened by fruit harvest? **Biotropica**, v. 50, n. 1, p. 50-59, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12505>.
- CORRÊA, M. V. **Crescimento, aspectos nutricionais e fotossintéticos de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* H. B. submetidas à diferentes tratamentos de fertilização**. 2013. 65 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

COSTA, K. C. P. da. **Características ecofisiológicas e crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em plantio florestal submetido ao desbaste**. 2015. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

COSTA, K. C. P. **Ecophysiology and growth of *Bertholletia excelsa* Bonpl. in response to thinning, liming and phosphorus addition**. 2019. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

COSTA, K. C. P.; JAQUETTI, R. K.; GONCALVES, J. F. C. Chlorophyll a fluorescence of *Bertholletia excelsa* Bonpl. plantations under thinning, liming, and phosphorus fertilization. **Photosynthetica**, v. 58, p. 138-145, 2020. DOI: 10.32615/ps.2019.146.

COSTA, K. C. P.; GONÇALVES, J. F. C.; GONÇALVES, A. L.; NINA JUNIOR, A. da R.; JAQUETTI, R. K.; SOUZA, V. F. de; CARVALHO, J. C. de; FERNANDES, A. V.; RODRIGUES, J. K.; NASCIMENTO, G. de O.; WADT, L. H. de O.; KAINER, K. A.; LIMA, R. M. B. de; SCHIMPL, F. C.; SOUZA, J. P. de; OLIVEIRA, S. S. de; MILÉO, H. T. da S.; SOUZA, D. P.; SILVA, A. C. L. da; NASCIMENTO, H. M. I.; MAIA, J. M. F.; LOBO, F. de A.; MAZZAFERA, P.; RAMOS, M. V.; KOOLEN, H. H. F.; MORAIS, R. R. de; MARTINS, K.; LEAL FILHO, N.; NASCIMENTO, H. E. M.; GONÇALVES, K. D.; KRAMER, Y. V.; MARTINS, G. A.; RODRIGUES, M. O. Advances in Brazil Nut Tree Ecophysiology: Linking Abiotic Factors to Tree Growth and Fruit Production. **Current Forestry Reports**, v. 8, n. 1, p. 90-110, Mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725-022-00158-x>.

DINIZ, T. D. A.; BASTO, T. X. Contribuição ao conhecimento do clima típico da castanheira do Brasil. **Boletim Técnico do Ipean**, v. 64, p. 59-71, 1974.

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.; STEEGE, H. T.; 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.; VARGAS, P. N.; TERBORGH, J. W.; RUOKOLAINEN, K.; SILVEIRA, M.; PHILLIPS, L. O. Hyperdominance in Amazonian Forest carbon cycling. **Nature Communications**, v. 6, Article number 6857, Apr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms7857>.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Photosynthetic parameters of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B.) plants subjected to fertilization in a degraded area in Central Amazonia. **Photosynthetica**, v. 47, p. 616-620, Feb. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-009-0088-2>.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação [Growth and water use efficiency of young Brazil nut plants on degraded area subjected to fertilization]. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 393-401, abr./ jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050985747>

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. de C.; FERRAZ, J. B. S.; CORRÊA, V. M. Características nutricionais de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. sob tratamentos de fertilização em área degradada na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 863-872, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v43n108.11>.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. de C.; FERRAS, J. B. S.; SANTOS JUNIOR, U. M. dos; RENNENBERG, H. Clonal variation in photosynthesis, foliar nutrient concentrations, and photosynthetic nutrient use efficiency in a Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*) plantation. **Forest Science**, v. 62, n. 3, p. 323-332, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5849/forsci.15-068>.

GUERREIRO, Q. L. de M.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; SANTOS, G. R. dos; RUIVO, M. de L. P.; BELDINI, T. P.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, K. E. da; 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: 10.5897/AJAR2016.11766.

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>.

KALAJI, H. M.; BABA, W.; GEDIGA, K.; GOLTSEV, V.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M. D.; DIMITROVA, S.; PISZCZ, U.; BIELECKI, K.; KARMOWKA, K.; DANKOV, K.; KOMPALA-BABA, A. Chlorophyll fluorescence as a tool for nutrient status identification in rapeseed plants. **Photosynthesis Research**, v. 136, p. 329-343, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-017-0467-7>.

LIMA, R. M. B.; HIGA, A. R.; SOUZA, C. R. de. **Influência dos fatores edáficos no crescimento da *Bertholletia excelsa* na Amazônia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. SAFs: desenvolvimento com proteção ambiental: anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. (Embrapa Florestas. Documentos, 98). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/674497>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LOPES, J. S. de; COSTA, K. C. P. da; FERNANDES, V. S.; GONÇALVES, J. F. de C. Functional traits associated to photosynthetic plasticity of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) plants. **Flora**, v. 258, Article number 151446, Sept. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151446>.

MELO, R. **Castanha da Amazônia/estudos de produção e mercado**. [Manaus]: COIAB: CIPC, 2000. 58 p. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/M6D00044.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.

MORAIS, R. R. de; GONÇALVES, J. F. de C.; SANTOR JÚNIOR, U. M. dos; DUNISCH, O.; SANATOS, A. L. W. dos. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll *a* fluorescence in Amazon tropical tree species. **Revista Árvore**, v. 31, p. 959-966, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000500020>.

MORI, S. A.; PRANCE, G. T. Taxonomy, ecology, and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae). **Advances in Economic Botany**, v. 8, p. 130-150, 1990.

MÜLLER, C. H. FIGUEIRERO, F. J. C.; KATO, A. K.; CARVALHO, J. E. U. de; STEINE, R. L. B.; SILVA, A. de B. **A cultura da castanha-do-brasil**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1995. 65 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/115003>. Acesso em: 21 jul. 2021.

PEÑA-CLAROS, M.; BOOT, R. G. A.; DORADO-LORA, J.; ZONTA, A. Enrichment planting of *Bertholletia excelsa* in secondary forest in the Bolivian Amazon: Effect of Cutting line width on survival, growth and Crown traits. **Forest Ecology and Management**, v. 161, p. 159-168, May 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00491-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00491-1).

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. 18. ed. São Paulo: Nobel, 2006.

SCHIMPL, F. C.; FERREIRA, M. J. F.; JAQUETTI, R. K.; MARTINS, S. C. V.; GOANÇALVES, J. F. de C. Physiological responses of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) plants to drought stress and subsequent rewatering. **Flora**, v. 252, p. 10-17, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.02.001>.

SCOLES, R.; KLEIN, G. N.; GRIBEL, R. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) 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, n. 2, p. 321-336, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.528>.

SOUZA, C. S. C. R.; SANTOS, V. A. H. F. dos; FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. de 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>.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: PAPAGEORGIOU, G. C.; GOVINDJEE (ed). **Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis**. Switzerland: Springer, 2004. p. 321-362. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_12.

THOMAS, E.; ATKINSON, R.; KETTLE, C. Fine-scale processes shape ecosystem service provision by an Amazonian hyperdominant tree species. **Scientific Reports**, v. 8, Article number 11690, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29886-6>.

THOMAS, E. I.; 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, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.525>.

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, p. 1, p. 12623-12638, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.5726>.

Capítulo 6

Plantios pioneiros em monocultivos e sistemas agroflorestais na Amazônia

Roberval Monteiro Bezerra de Lima; Alfredo Kingo Oyama Homma; Tadário Kamel de Oliveira; José Francisco de Carvalho Gonçalves.

Introdução

O plantio de castanheiras nas áreas já desmatadas e/ou degradadas e para recuperar o passivo ambiental se revela como alternativa de longo prazo para aumentar a oferta de um produto já conhecido no mercado nacional e internacional. A oferta extrativa, mesmo com altos preços, não consegue atender a atual demanda, e plantios trazem o potencial de gerar renda e democratizar o consumo da castanha. É objetivo deste capítulo, portanto, fazer um levantamento e uma análise das iniciativas de plantio de castanheiras realizadas até então, buscando identificar e relatar as lições aprendidas com essas ações, como subsídio para a expansão dos plantios da espécie.

À semelhança do que aconteceu com o sucesso na domesticação do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), cultivado em larga escala no Nordeste brasileiro, África e Ásia, a seguinte questão pode ser muito oportuna para a situação da castanheira na Amazônia: tecnicamente, a castanheira-da-amazônia poderá seguir o mesmo caminho? Wadt e Kainer (2009) relatam as dificuldades de transformar a castanheira em uma planta cultivada, sendo este um desafio para o futuro. Nesse contexto, é interessante mencionar que o êxito na domesticação de outra espécie arbórea, também nativa da Amazônia, a seringueira (*Hevea brasiliensis* L.), realizada pelos ingleses no Sudeste asiático, não ocorreu com a castanheira naquela região, a despeito das facilidades para o transporte de material genético no passado. Isso coloca a hipótese de que entraves ecofisiológicos, como longo tempo para frutificação, falta de polinizadores, reduzido mercado até então prevaiente e existência de estoques na natureza, não tenham despertado o interesse pela sua

domesticação, ou mesmo, que esse interesse tenha sido limitado por questões de natureza técnica, relacionadas à silvicultura da espécie.

A primeira sinalização política para o plantio de castanheiras surgiu com a realização do I Simpósio Nacional da Castanha em 1982, promovido pela Superintendência Desenvolvimento Amazônia (Sudam), decorrente dos resultados de pesquisa da Embrapa Amazônia Oriental quanto à produção de mudas. A dificuldade na germinação das sementes, que levavam de doze a quinze meses, foi contornada na década de 1970, com as técnicas desenvolvidas pelo pesquisador Carlos Hans Müller (1947-2016), as quais consistiam na retirada da casca das sementes e no tratamento das amêndoas com fungicidas antes da sementeira (Müller, 1981). Com a adoção dessa prática, a baixa germinação de apenas 25% após 1,5 ano da sementeira foi elevada para 75% aos cinco meses (Nascimento; Homma, 1984).

O problema do porte muito elevado pode ser resolvido por meio do método Forkert de enxertia, que consiste em selecionar uma gema sadia da planta matriz e realizar um corte retangular com as mesmas dimensões do corte feito no porta-enxerto, permitindo à castanheira assumir uma forma mais copada. A longa fase juvenil, a despeito da enxertia, ainda constitui um desafio para a pesquisa em reduzir o tempo para a plena produção comercial. A baixa relação entre frutos e flores vem sendo contornada pelo uso de material nativo de excepcional produção relatado pelos coletores, obedecendo à mistura de clones selecionados de castanhais nativos, na técnica de enxertia desenvolvida (Müller et al., 1980; Moritz, 1984; Nascimento; Homma, 1984).

Para a plena domesticação da castanheira há necessidade de maiores investimentos de pesquisa de longo prazo e de mudanças na Lei nº 13.123/2015 (Brasil, 2015) e no Decreto nº 8.772/2016 (Brasil, 2016), o qual dispõe sobre o patrimônio genético, a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado à repartição de benefícios e à transferência de tecnologia para a sua conservação e utilização. Essa legislação é um atraso para o desenvolvimento das pesquisas com a castanheira, dificultando a coleta de material genético e na presunção de lucros imediatos para repartição. Há necessidade de sua reformulação (Alves et al., 2018; Bockmann et al., 2018).

As informações dadas a seguir sobre experiências de plantio compreenderam duas fontes principais: uma revisão bibliográfica e o conhecimento dos autores com relação aos plantios de castanheiras efetuados pelos produtores, pelas instituições de pesquisa e pelas grandes empresas desde a década de 1970, envolvendo observações, visitas e entrevistas a produtores nesses últimos cinquenta anos.

Experiências de plantios da castanheira

Estado do Amazonas

Parintins

A imigração japonesa iniciada por Tsukasa Uyetsuka (1890-1978) em 1931 no município de Parintins teve como sucesso a aclimatação da lavoura da juta (em 1934), efetuada por Ryota Oyama (1882-1972). Na busca de opções para o desenvolvimento da colônia, para o qual foi obtida uma concessão de 1 milhão de hectares, foram plantadas diversas espécies perenes e anuais (Homma, 2007; Homma et al., 2011). Entre as espécies perenes, a castanheira foi uma das que mereceu atenção dos imigrantes japoneses. Por não disporem de mudas e não dominarem o processo de germinação da castanheira, em janeiro de 1931, chegou a Parintins, no navio Guanabara, 1.143 mudas de castanheiras-da-amazônia, laranjeiras, mangueiras, biribazeiros e guaranazeiros, provenientes da Estação Experimental de Manaus, vinculada à Secretaria de Agricultura do Estado do Amazonas. Uma segunda remessa ocorreu em janeiro de 1932, no navio Tejo, que trouxe de Manaus novas mudas de castanheiras e laranjeiras. Os primeiros plantios, portanto, foram realizados no período de dezembro de 1931 a janeiro de 1932 (Homma, 2007; Homma et al., 2011).

Essas mudas de castanheira foram plantadas na Vila Amazônia, município de Parintins, em uma área desmatada de 46 ha, dividida em três partes, sendo que na segunda quadra, de 21 ha, foi plantada a castanheira-da-amazônia com o cafeeiro e nas entrelinhas, o arroz (Homma, 2007; Homma et al., 2011).

Inicialmente os colonos japoneses plantaram as mudas de árvores grandes, como castanheira-da-amazônia, seringueira, sapucaia etc., com o espaçamento de 20 m x 20 m, ocupando as entrelinhas com espécies arbóreas de tamanho médio ou pequeno, como cacaueiro, laranjeira, limoeiro, cafeeiro, mamoneira, algodoeiro arbóreo etc. Entre essas culturas permanentes, foram plantadas as culturas anuais e semiperenes, tais como mandioca, arroz, milho, feijão, bananeira, abacaxizeiro etc. Esse sistema de plantio representou uma adaptação do sistema criado no Japão por Toyohiko Kagawa (1888-1960) na década de 1920, a fim de aproveitar pequenas áreas por meio de culturas diversificadas. No Japão, esse foi um sistema recomendado para os lavradores nas regiões montanhosas, onde não havia condição de plantar arroz irrigado. No entanto, não foi difundido naquele país por causa de limitação na escolha das árvores grandes e rentáveis. Lá, os agricultores

tiveram a opção somente de cultivar a noz pecan e a macadâmia, mas não havia mercado para essas nozes (Homma 2007; Homma et al., 2011).

No campo principal da Vila Amazônia, foi adotado o sistema de *rittai nougyou* (agricultura sólida). Esse procedimento trata-se do sistema agroflorestal (SAF), como é conhecido na atualidade. Embora esse termo científico somente tenha surgido em 1953, nos Estados Unidos, Tsukasa Uyetsuka já tinha estudado o assunto nos anos de 1929 e 1930, e, a partir de 1931, ordenou a Mitsuru Kamei – chefe do Departamento Agrícola do extinto Instituto Amazônia (1930-1941), implantado pelos imigrantes japoneses em Parintins, Amazonas – experimentar o SAF, primeiro plantando as mudas de castanheira-da-amazônia ou seringueira e, em seguida, as mudas de cafeeiro, guaranazeiro ou cacauzeiro (Homma et al., 2021). A cada ano, os agricultores semeavam nas entrelinhas alguma cultura de ciclo curto, como arroz, milho, feijão e mandioca. Esse plantio de castanheiras, de 115 mil pés de seringueiras e de outros cultivos perenes, foi confiscado durante a II Guerra Mundial, em decorrência da aliança do Japão com a Alemanha, país ao qual Brasil declarou guerra em 1942. Em setembro de 1942, o gerente do Banco do Brasil em Manaus, Clovis Castelo Branco, foi nomeado liquidante; e em abril de 1946, os bens espalhados dos imigrantes japoneses nos municípios de Parintins, Maués e Barreirinha foram postos a leilão, sendo adquiridos pela firma J.G. Araújo, iniciais do comendador Joaquim Gonçalves de Araújo (1860-1940). Essas áreas foram ocupadas em 1988, quando o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) implantou o Projeto de Assentamento Vila Amazônia (Homma 2007; Homma et al., 2011).

Manaus

Em Manaus, o intelectual autodidata cearense Cosme Alves Ferreira Filho (1893-1976) – deputado estadual (1935) e federal (1946-1955) e secretário de Produção Rural do Estado do Amazonas – efetuou um plantio de 10 mil castanheiras, em 1930, em uma área de 250 ha, com esforço da Companhia Brasileira de Plantações, de sua propriedade. Esses plantios chegaram à idade adulta, mas essa área acabou sendo ocupada com a expansão urbana de Manaus, a partir da década de 1970. A sua localização próxima de aglomerados humanos restringiu as possibilidades de coleta pelo proprietário. O senhor Cosme Alves Ferreira Filho realizou trabalhos pioneiros com enxertia e defendia que a produção extrativa de castanha-da-amazônia poderia ser obtida em apenas 20 mil hectares de plantio de castanheiras (Ferreira Filho, 1961).

Itacoatiara

O maior plantio de castanheiras no mundo, com 318 mil árvores enxertadas para produção de frutos (3 mil hectares) e 968 mil árvores de pé-franco (552,3 ha) para projetos de reposição florestal, foi implantado pelo agrônomo paulista Sérgio Vergueiro, na Agropecuária Aruanã, na margem da estrada Manaus-Itacoatiara, Km 215, município de Itacoatiara, estado do Amazonas. O plantio das castanheiras foi feito com sementes selecionadas, tratadas e descascadas, que são postas a germinar no saco plástico de mudas pequenas (1 kg), com posição correta das amêndoas, que, pouco tempo após a germinação, são plantadas logo no início da estação chuvosa, tendo cuidado com cutias.

Esse empreendimento, em uma propriedade com 14,3 mil hectares, iniciou suas atividades em 1970, com a criação de gado bovino, posteriormente mudando o foco para o plantio de castanheiras, devido à degradação das pastagens (Figuras 1, 2 e 3). O plantio de castanheiras foi iniciado em 1981, adotando a tecnologia de produção de mudas e enxertia desenvolvida pela Embrapa Amazônia Oriental, com as sementes obtidas de ouriços coletados no Lago do Abufari, Alto Solimões, que recebeu a denominação de variedade Abufari, conhecida pela alta produtividade local.



Foto: Antônio Menezes

Figura 1. Plantio de castanheiras enxertadas na fazenda Aruanã.

Foto: Marcelo Casimiro Cavalcante



Figura 2. Visão panorâmica do plantio de castanheiras na Agropecuária Aruanã.

Foto: Roberval Lima



Figura 3. Árvore enxertada de castanheira na Agropecuária Aruanã, sendo observadas pelo engenheiro agrônomo Sérgio Vergueiro e pelo engenheiro florestal Euclides Pecinato.

O espaçamento adotado nos primeiros plantios na Agropecuária Aruanã foi de 20 m x 20 m, representando 30% dos plantios realizados, e, posteriormente, no espaçamento 10 m x 10 m, que representa 70% das castanheiras plantadas, todas com enxertia Forkert, realizada quando a castanheira tem a espessura de um lápis e o diâmetro compatível com o doador das borbulhas. A castanheira enxertada começou a produzir aos oito anos, com cinco ouriços; com quinze anos começou a produzir comercialmente; e com 25 anos produz à plena carga.

A Agropecuária Aruanã recebeu financiamento do Fundo de Investimentos Setoriais (Fiset) – Reflorestamento (Instituto Brasileiro de Defesa Florestal – IBDF) e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para o plantio de castanheiras; do Banco da Amazônia S/A para a pupunheira sem espinho; e do Banco do Brasil para um viveiro com capacidade para produção de 800 mil mudas de castanheira e 100 mil de pupunheira. Como parte da política de difusão do cultivo da castanheira, a Agropecuária Aruanã efetuou a distribuição de 496.392 mudas de castanheira-da-amazônia no período de 2006 a 2019 para 1.453 produtores espalhados em 183 comunidades nos municípios de Rio Preto da Eva, Presidente Figueiredo, Itacoatiara e Anamá.

Para garantir a reposição das árvores cortadas na exploração madeireira, há uma exigência legal do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama (Brasil, 1996) de plantar, no mínimo, oito árvores para cada metro cúbico sólido de madeira explorada, seis árvores por cada estéreo de lenha ou 12 árvores para cada metro cúbico de carvão produzido. Para evitar o fechamento das serrarias e de usuários de madeira (lenha, carvão etc.) de municípios próximos de Itacoatiara, com conseqüente desemprego, vislumbrou-se a oportunidade de plantar novas mudas de castanheiras nas entrelinhas do castanhal adulto da Agropecuária Aruanã, visando à produção de madeira para atender às normativas do Ibama, para comercialização desses ativos. Dessa forma, foi feito o plantio das castanheiras no espaçamento de 1,5 m na linha e 2,5 m na entrelinha, perfazendo 2.666 árvores/ha.

Nessas áreas de reposição florestal da Agropecuária Aruanã, existem 939 mil castanheiras, nas quais é efetuada a desrama para evitar a formação de galhos laterais e nós, semelhante ao que se faz no manejo da teca (*Tectona grandis L.f.*), e o corte das castanheiras (desbaste) para reduzir a densidade, vendida como lenha. Nos tocos remanescentes, verifica-se o rebrotamento integral das castanheiras cortadas para madeira. Esse procedimento não seria recomendado para plantios comerciais para frutos, cujo manejo silvicultural é diferente do sistema de plantios para produção de madeira. Para custear essa reposição, a Agropecuária Aruanã

recebeu à época R\$ 6,00 por castanheira plantada. A intenção da empresa foi limpar parte das áreas de castanheiras adultas que estavam na capoeira que ocupou o espaço entre as árvores cultivadas em grande parte da fazenda e efetuar a reposição, a qual depende dos contratos com as empresas madeireiras e da autorização do Ibama.

A coleta da castanha está concentrada nos 500 ha de área limpa, cuja produção tem sido crescente: 36 mil ouriços em 2010, 26 mil em 2011, 150 mil em 2012 e 165.321 em 2020. Na época da safra, a coleta é efetuada por uma equipe de cinco pessoas, que vão juntando os ouriços em determinado ponto de passagem do trator com carreta com capacidade para 2 mil ouriços. Essa equipe, que conta ainda com um tratorista, consegue coletar 5 mil ouriços/dia. O mês de fevereiro é o auge da queda de ouriços, e a coleta é feita após esse período, entre março e maio. Os ouriços são lavados e postos para secar; em seguida, são armazenados e quebrados com facão em cima de um tronco para a retirada das castanhas. Um trabalhador consegue quebrar entre mil a 1,2 mil ouriços por dia de serviço.

Após a retirada das castanhas dos ouriços, essas são colocadas em um secador durante quatro horas para pré-secagem; em seguida, são colocadas em uma peneira vibratória para proceder à separação por tamanho – pequena, média e grande. A separação apresenta, em média, 35% de castanhas pequenas, 60% de médias e 5% de grandes. Depois as castanhas médias e as grandes passam entre 10 e 12 horas em um secador estático. As amêndoas pequenas passam entre 8 e 9 horas. O objetivo é deixar as castanhas com 6% de umidade. São, então, ventiladas para a retirada de castanhas chochas.

O descascamento da castanha é efetuado em uma sala (4 m x 5 m) com ar refrigerado, onde ficam de seis a 12 funcionárias, todas com máscara e com facas com cabo de aço inoxidável. Nesse ambiente, sobre um tronco, com uma peça de plástico duro, efetuam a retirada manual das amêndoas. A posição ergonômica deixa muito a desejar, e pode ser melhorada. A experiência tem mostrado que uma funcionária consegue quebrar, em média, 600 castanhas por dia de serviço.

Para facilitar a retirada das películas das amêndoas, essas passam por secagem a 70 °C no forno a gás durante uma hora. As sementes são limpas e retornam por mais três horas ao forno a 72 °C, sendo a seguir classificadas em pequenas, médias e grandes, uma vez que não se destinam à exportação. O refugo representa entre 10 e 15% do peso inicial, e das amêndoas adequadas para comercialização, as pequenas e as grandes representam 5%, sendo 95% são de tamanho médio. A

castanha é vendida para lojas especializadas do Sul e Sudeste do Brasil e por meio do portal EcoNut, com o nome fantasia EcoNut, como produto orgânico. Apresenta um protocolo de beneficiamento, o qual envolve a secagem e a embalagem, com validade de dois anos de prateleira.

Estado do Pará

Tomé-Açu

Em levantamento realizado em 2006 na Colônia Japonesa de Tomé-Açu, foram entrevistados 96 produtores nipo-brasileiros, de um universo de 122 cooperados da Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (Camta). Esse levantamento foi realizado sob a supervisão da Associação Cultural e Fomenta Agrícola de Tomé-Açu (Acta), da qual 29 cooperados declararam possuir castanheiras plantadas em suas propriedades. Foram contabilizadas 21.414 castanheiras plantadas em 548,82 ha em consórcios diversos, perfazendo uma média de 39 árvores/ha, densidade bastante elevada se comparada com a densidade de castanheiras em castanhais nativos no Sudeste Paraense, onde foram encontradas de 33 a 107 castanheiras adultas em parcelas amostrais de 50 ha (Kitamura; Müller, 1984; Barros et al., 2009) – Figura 4. Em Tomé-Açu, os plantios de castanheiras ficam distribuídos em áreas de diferentes idades, como fruto de evolução dos plantios anteriores de pimenta-do-reino (Tabela 1).

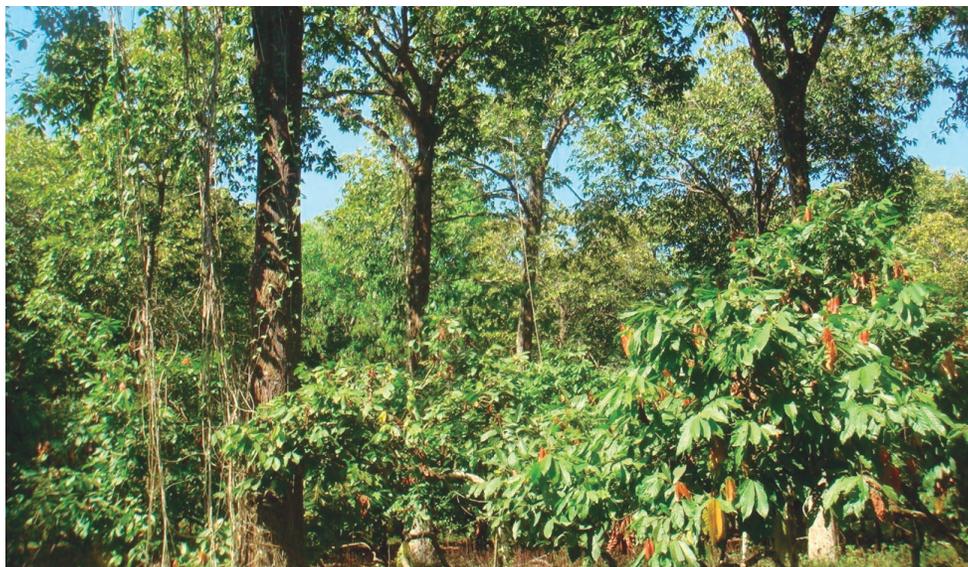


Foto: Roberval Lima

Figura 4. Plantio de castanheiras em SAFs efetuado pelos agricultores nipo-brasileiros de Tomé-Açu.

Tabela 1. Número de castanheiras plantadas nas parcelas das propriedades dos agricultores nipo-brasileiros de Tomé-Açu.

Número de castanheiras	Número de parcelas
0 a 100	44
101 a 200	12
201 a 500	13
501 a 1.000	7
1.001 a 3.188	4

Fonte: Barros et al. (2009).

O Sr. Seiya Takaki (1959-2014) foi o maior plantador de castanheiras na Colônia Japonesa de Tomé-Açu e, também, do estado do Pará. Atualmente, as propriedades de seus herdeiros possuem em torno de 10 mil castanheiras. A ideia de plantar castanheiras decorreu do fato de seu pai, ao adquirir o terreno do sr. Osamu Kondo, em 1974, ter se deparado com 490 castanheiras que foram plantadas em 1972, constituindo o lote de castanheiras mais antigo existente na sua propriedade (Takamatsu, 2006) – Figura 4.

Quando se tornou independente do pai, Seiya Takaki iniciou os plantios de castanheiras, em 1992, com 334 árvores, sendo que até 2003 ele tinha plantado 5,8 mil árvores. Inicialmente utilizava o espaçamento de 12 m x 12 m, com 69 árvores/ha, em SAF que englobava pimenteira-do-reino, mogno africano, nim, cupuaçuzeiro, cacauzeiro e açazeiro. O plantio das castanheiras foi feito junto com o da pimenteira; em seguida, após três anos, foi plantado o cacauzeiro. A castanheira aproveita o adubo e os tratamentos culturais das duas culturas consorciadas. Mais tarde mudou o espaçamento para 24 m x 24 m, perfazendo 17 árvores/ha.

A castanheira plantada pé-franco começou a produzir em torno de dez anos. A produtividade é de 3 kg de amêndoas/planta, sendo a coleta efetuada de 15 em 15 dias, realizada entre janeiro e março. Como as castanheiras estão plantadas na margem de uma estrada secundária, com grande trânsito de pessoas, há o desvio de grande quantidade de ouriços. Os ouriços pesam em média 870 g e o rendimento médio de amêndoas por ouriço é de 25%. No plantio do sr. Seiya Takaki, um ouriço produz em média 250 g de amêndoas. Cada ouriço contém, em média, 22 castanhas com casca. Um ouriço pequeno produz apenas 150 g de amêndoas. Na sua propriedade, uma pessoa consegue quebrar 150 kg de ouriços por dia de serviço.

O sr. Seiya Takaki desenvolveu processo singular de preparo de mudas a partir de ouriços inteiros deixados na sombra e com umidade apropriada e depois de um ano as mudas começam a surgir dos ouriços já semiapodrecidos. Essas pequenas mudas são retiradas e armazenadas em um saco plástico preto de 30 cm x 17 cm; após um ano, são levados para o plantio definitivo (Figura 5).



Fotos: Antônio Menezes

Figura 5. Evolução da germinação de sementes de castanheira a partir de ouriços intactos, mantidos à sombra e com umidade adequada, em Tomé-Açu.

Outro produtor dedicado à castanheira é o sr. Tomio Sasahara, que possui 128 árvores que produzem e 102 que não produzem, no espaçamento de 25 m x 25 m, como componente de SAFs que envolvem cupuaçuzeiro, cacauzeiro, açazeiro, entre outras espécies. A produtividade da castanheira apresenta grande heterogeneidade. A castanheira mais produtiva da sua propriedade produziu 290 ouriços, perfazendo 67 kg de castanha com casca em uma safra, sendo que a produção média é de 45 kg de castanha com casca por árvore, com idade estimada de 35 a 40 anos. A produtividade de amêndoas é de 8,82 kg amêndoas/planta e a coleta é realizada de 20 em 20 dias, entre os meses de janeiro e março (Homma et al., 2014). Nos SAFs nos quais a castanheira e/ou a andirobeira participam como estrato superior ao cacauzeiro e ao cupuaçuzeiro, foi observado que a produção das plantas sombreadas cai 50% depois de 10 anos. Em sua propriedade havia uma castanheira que foi tombada, com DAP (diâmetro à altura do peito) de 1,10 m e 15 m de fuste, que poderia ser utilizada como madeira, mas existem restrições legais quanto a esse uso. Esse produtor afirma que as primeiras castanheiras plantadas na Colônia Japonesa de Tomé-Açu, com mais de 80 anos, já não produzem, e muitas estão brocadas, confirmando a necessidade de uma política que vise ao seu aproveitamento madeireiro.

O Sr. Tomio Sasahara realiza também a produção de mudas a partir de ouriços e posterior replantio em sacos para mudas (Figura 5). Observa que as castanheiras levaram oito anos para iniciar a floração e somente com dez anos começaram a produzir, inicialmente com cerca de dez ouriços por árvore. Possui algumas castanheiras adultas que ainda não produziram nenhum fruto até o momento, por motivos desconhecidos.

Gastam-se cinco diárias para juntar as castanhas, com um carrinho de mão e com capacete de proteção. Não utiliza o sistema de empreita, pois, segundo o produtor, a coleta fica incompleta. A queda dos frutos é mais intensa no período de janeiro até fevereiro, equivalente a cerca de 80% da produção. Enquanto em um regime extrativista no Acre, para colher, quebrar e transportar 4,4 mil quilos de castanha, obtidos em 300 ha de floresta, gastam-se 60 dias/homem (Santos et al., 2002), com as castanheiras plantadas em SAFs, em Tomé-Açu, é possível obter essa mesma produção com 16 castanheiras/ha, em 6,11 ha, com gasto de 37,48 dias/homem.

O coletor retira castanha colocando o ouriço em um toco tipo pilão e efetua a quebra com uma machadinha de carpinteiro, obtendo um rendimento de 120 a 150 kg de castanha por dia de serviço. Cada ouriço tem entre 16 e 18 castanhas. Depois de

quebrada, ele efetua a lavagem e a secagem; em seguida, separa as castanhas miúdas em equipamento que adaptou a partir de uma debulhadeira para pimenta. Consegue limpar 20 sacos de castanha, pesando 60 kg por dia.

Belém

Em 1953, foi implantado um cultivo de castanheiras “pé-franco” na sede do Instituto Agrônomo do Norte (atual Embrapa Amazônia Oriental), tendo iniciado a produção aos 10 anos após o plantio. Em campo de prova, com castanheiras enxertadas em 1968, observou-se o início da produção, em algumas plantas, aos três anos e meio após a enxertia, tendo a produtividade aumentado a partir do sexto ano. Algumas plantas desse campo já apresentaram, aos onze anos após a enxertia, produção de 25 litros de castanha (Müller, 1981). Devido estar situado em área urbana, há intensa coleta por moradores locais, o que prejudica o controle da produção.

Cametá, Castanhal e Capitão Poço

No município de Cametá, na sede das instalações da Superintendência Federal de Agricultura, existe um castanhal remanescente de no máximo 2 ha que foi plantado há pelo menos 40 ou 50 anos, o qual escapou da derrubada pela expansão urbana.

No município de São Francisco do Pará, próximo a Jambu-Açu, no leito da antiga Estrada de Ferro Bragança, lado direito, sentido Igarapé-Açu, no final da década de 1980, foi realizado um plantio de 10 mil árvores de castanheiras enxertadas, em um espaçamento de 20 m x 20 m, em 400 ha, pela empresa Agrícola Pastoral Castanhal – Agrocasa Ltda., pertencente à Companhia Têxtil de Castanhal, com apoio da Sudam. Com idade aproximada de 10 a 12 anos, em 2003, essa área foi ocupada por posseiros e integrantes do Movimento dos Trabalhadores Rurais sem Terra (MST), ocorrendo a destruição total dos plantios.

Tanto no município de Capitão Poço, na área pertencente à Secretaria de Estado de Agricultura do Estado do Pará (Sagri), quanto no município de Altamira, no Campo Experimental da Embrapa, situado no Km 23 da rodovia Transamazônica, lado direito, sentido Medicilândia, existem plantios de 300 castanheiras enxertadas, em franca produção. Esses plantios foram efetuados pela Embrapa Amazônia Oriental no final da década de 1970, mas hoje se encontram ocupados pela vegetação secundária e são utilizados por coletores ilícitos.

Eldorado do Carajás

No município de Eldorado do Carajás-PA, na Fazenda Bamerindus, foi realizado plantio de 500 ha de castanheiras, em um total de 59 mil hectares de área da propriedade, pertencente ao extinto Banco Bamerindus, do banqueiro José Eduardo de Andrade Vieira (1938-2015), ex-ministro da Agricultura, Abastecimento e Reforma Agrária e ex-ministro da Indústria, do Comércio e do Turismo. Por não visualizarem lucro imediato com as castanheiras, a fazenda foi ocupada pelos posseiros e integrantes do MST em 1996, derrubando os plantios para roçados (Homma, 2012, 2014), culminando com a sua desapropriação pelo governo federal em 1998.

Estados de Rondônia, Acre e Minas Gerais

O Instituto Agrônomo do Norte iniciou as primeiras tentativas de enxertia da castanheira na década de 1950, com 90% de pegamento, tanto na sede em Belém como na Estação Experimental de Porto Velho, relatando a frutificação em 1959, com seis anos de idade (Pinheiro; Albuquerque, 1968). Em Machadinho d'Oeste, situado a 300 km de Porto Velho, na Fazenda Don Aro, do paranaense Giocondo Valle, existem 210 castanheiras pé-franco em produção, com 18 anos de idade e cinco anos em produção e 12 mil castanheiras com 12 anos de idade, plantadas em 2008.

A ocorrência de castanheiras plantadas pé-franco há mais de 30 anos também pode ser observada no distrito de Nova Califórnia, área pertencente ao município de Porto Velho-RO. Nessa localidade, agricultores do projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado (Reca) iniciaram plantios de consórcios agroflorestais em 1988/1989, com a castanheira consorciada com cupuaçuzeiro e pupunheira. De acordo com estudos de Silva (2018), a castanheira está entre as principais espécies plantadas em 67 SAFs estudados no ramal Baixa Verde, uma das estradas vicinais na região, na seguinte ordem de frequência: pupunheira (76,12%), cupuaçuzeiro (73,13%), andirobeira (44,78%), castanheira (41,79%) e açazeiro (38,81%).

Os modelos de consórcios são variados, porém, entre os mais representativos está aquele com o cupuaçuzeiro em linhas duplas, no espaçamento 4 m x 7 m x 14 m (240 plantas/ha), castanheira (12 m x 21 m – 40 plantas/ha); pupunheira para produção de sementes (duas plantas entre castanheiras, a cada 4 m – 80 plantas/

ha); e cultivos anuais nos dois anos iniciais do sistema (Oliveira et al., 2016). Existem esquemas de plantio com variações na quantidade de plantas por hectare dessas três espécies (Lunz; Melo, 1998; Sá et al., 2000).

Nesses SAFs se destaca a densidade de castanheiras em relação à floresta nativa. Oliveira et al. (2010) observaram que as espécies utilizadas na implantação dos sistemas foram: cafeeiro Conilon (espaçamento 3 m x 3 m – 793 plantas/ha); castanheira-da-amazônia (15 m x 15 m – 49 plantas/ha); e cupuaçuzeiro (6 m x 6 m – 247 plantas/ha). Supondo que, mesmo com sobrevivência de 50% das árvores ao longo dos anos, em 1 ha de sistema agroflorestal o número de castanheiras seria bastante superior ao encontrado em floresta natural. De acordo com Salomão (1991) e Wadt et al. (2005), a densidade da castanheira-da-amazônia (DAP \geq 10 cm) citada na literatura varia de 1,3 indivíduo.ha⁻¹ a 5,1 indivíduos.ha⁻¹ em diferentes regiões da Amazônia.

Em 1996, o Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras (Ufla), Minas Gerais, efetuou um plantio experimental de 90 castanheiras, com sementes provenientes do estado de Mato Grosso, sendo que em 2019 ocorreu a primeira produção de castanha desse plantio. Embora essa produção tenha demorado o dobro do tempo, em comparação a plantios na Amazônia, atesta a possibilidade de plantios fora da região de ocorrência natural da espécie no país, o que pode representar um avanço científico e tecnológico (Universidade Federal de Lavras, 2022).

Singapura, Malásia e Trinidad e Tobago

Almeida (2017), em sua exaustiva tese de doutorado, relata as tentativas, sem sucesso, de plantio de castanheiras em Trinidad e Tobago, Sri Lanka, Singapura e Malásia no início do século XX. Das árvores com reconhecida importância econômica da Amazônia, a castanheira não obteve o mesmo resultado em plantios em grande escala no exterior, tal como ocorreu com a cinchona, o cacauzeiro e a seringueira. Burkill (1935) afirma que, no Jardim Botânico em Singapura, a castanheira foi introduzida em 1881, e foram efetuadas outras introduções em anos posteriores. Comenta-se que a primeira frutificação tenha ocorrido em 1897, porém menciona em outra referência que foi em 1902. Esse autor afirma que em 1935 quatro castanheiras existentes no setor Economic Garden e outras duas nas proximidades frutificavam satisfatoriamente, e que outras duas castanheiras isoladas não frutificavam, chegando à conclusão de serem árvores estéreis. Relata

ainda que foram feitas tentativas de disseminar as sementes de castanheiras de Singapura para diversas partes da Malásia, mas que não obtiveram êxito.

Burkill (1935) também faz menção à presença de castanheiras em Sri Lanka, que frutificaram pela primeira vez em 1900, com a idade de oito anos. Em 1912, foi feita a introdução de castanheiras em Kuala Lumpur, tendo frutificado em 1921. É importante ressaltar que a castanheira não despertou o interesse dos colonizadores ingleses no Sudeste Asiático e na África, a despeito de as sementes serem exportadas desde a época colonial até a década de 1960, sem sofrer nenhum processo de beneficiamento, mantendo a integridade para a sua germinação.

Viabilidade da produção de frutos e madeira em plantios

Além da produção de frutos, a castanheira pode ser usada para produção de madeira, para restaurar áreas de preservação permanentes (APPs) e áreas de reserva legal (ARLs) e contribuir com o sequestro de carbono.

As características fisiológicas da castanheira relacionadas à produção, seja de madeira, seja de frutos, ainda precisam ser estudadas e compreendidas, para então ser possível viabilizar plantios eficientes em produção precoce e de alto desempenho de crescimento e de qualidade da madeira. Embora informações sobre os aspectos ecofisiológicos da castanheira-da-amazônia ainda sejam escassas, no que se refere à fisiologia da produção, pesquisas sobre as respostas ecofisiológicas da espécie em diferentes fases de crescimento, diferentes condições ambientais e/ou de cultivo e diferentes sistemas de plantios vêm sendo realizadas com maior frequência. Esses estudos sugerem que a espécie apresenta respostas bastante promissoras para a alta irradiância, a deficiência hídrica e as limitações nutricionais em condições controladas e em plantios no campo (Moraes et al., 2007; Ferreira et al., 2009, 2016; Lopes et al., 2019; Schimpl et al., 2019; Costa et al., 2020). Essas pesquisas apontam para a eficiência da castanheira no uso dos recursos primários, com foco na tolerância dos indivíduos de *Bertholletia excelsa* sob condições adversas. Essas pesquisas também apontam para a alta plasticidade funcional da espécie, aspecto que tem implicações práticas para o âmbito da silvicultura e do manejo de plantios, uma vez que essa flexibilidade funcional e essa adaptação a faixas mais amplas de disponibilidade de recursos permitem aumentar a confiança no sucesso dos plantios, mesmo em condições encontradas na restauração de áreas degradadas, por exemplo. A seguir são fornecidos alguns coeficientes adicionais para a produção de frutos e madeira.

Produção de frutos

Considerando a média de 2016 a 2018, o Brasil produziu o equivalente a 30.810 t de castanha com casca (Tabela 2). Tomando como base a produtividade média do plantio do sr. Tomio Sasahara, de 45 kg de castanha com casca/planta ou 4,5 mil quilos de castanha com casca/ha, seriam necessários 6.846 ha de plantio em monocultivo para igualar à produção extrativa. Trata-se, sem dúvida, de uma previsão otimista da produção, a despeito de que na propriedade do sr. Sasahara a castanheira mais produtiva produziu 290 ouriços, perfazendo 67 kg de castanha com casca em uma safra. É necessário considerar também que, devido ao longo tempo de maturação dos frutos, ocorre a alternância de safras em todo o castanhal, com aproximadamente 50% em produção e a outra metade em descanso. Adotando ainda a premissa de plantios em SAFs, com 40 ou 50 castanheiras por hectare e 50% em produção, esta produção anual seria o equivalente à metade do sistema em monocultivo.

Com esse revezamento na produção, considerando 50% de castanheiras produtivas para determinado ano e 50% em descanso, calcula-se que no máximo 20 mil hectares seriam suficientes para dobrar a atual produção de castanha no Brasil.

Tabela 2. Quantidade produzida na extração vegetal de castanha-da-amazônia com casca, em diferentes estados de ocorrência no Brasil (em t.).

Estado	1986	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Brasil	36.136	51.195	40.216	33.431	30.975	40.357	40.643	34.903	23.357	34.170	32.905	33.118
Rondônia	1.165	1.472	792	6.508	2.710	1.797	1.944	2.055	1.865	12.161	1.878	1.920
Acre	10.191	17.497	9.367	8.247	11.142	12.362	14.038	8.742	4.790	7.726	7.297	6.769
Amazonas	3.583	13.059	15.727	7.823	8.985	16.039	13.983	15.183	10.011	7.681	12.182	11.707
Roraima	926	7	--	34	91	106	155	161	322	2.230	1.940	1.982
Pará	17.297	16.235	12.215	8.935	6.814	8.128	7.967	6.866	4.186	2.179	6.977	8.643
Amapá	2.400	2.250	1.858	1.639	860	447	473	489	476	1.755	405	416
Mato Grosso	573	674	258	245	373	1.477	2.082	1.407	1.706	437	2.226	1.682

Fonte: IBGE (2021).

Dados de produção estão sendo coletados na Agropecuária Aruanã desde 2013, com participação dos clones Manoel Pedro, Aruanã, Santa Fé, 606 e 609, sendo os dois primeiros os mais produtivos (Passos, 2014). Essa informação é bastante relevante em termos de orientação para os futuros plantios no estado do Amazonas, para os quais se recomenda a escolha dos clones mencionados (Tabela 3). No entanto, é importante ressaltar que não se deve planejar plantios com um número reduzido de clones, sendo necessária a identificação de outros clones promissores para ampliar a base genética.

Tabela 3. Número médio de frutos (desvio-padrão) de dez árvores por clone, estimado nas safras de 2013, 2016, 2017 e 2020, nos plantios de castanheiras da Agropecuária Aruanã.

Clones	Safra 2013 (Passos, 2014)	Safra 2016	Safra 2017	Safra 2020	Produção Média (4 safras)
609	8,9 (8,8)	21,9 (18,2)	39,8 (46,7)	24,2 (21,0)	23,7 (12,7)
Aruanã	64,7 (58,8)	68,0 (59,2)	29,4 (28,8)	110,3 (81,0)	68,1 (33,1)
606	30,3 (54,6)	20,6 (20,9)	24,9 (45,4)	37,0 (36,8)	28,2 (7,1)
Manoel Pedro	80,0 (44,9)	94,4 (70,9)	17,0 (18,7)	125,2 (54,5)	79,2 (45,5)
Santa Fé	20,5 (21,3)	68,4 (30,5)	14,2 (10,7)	91,9 (61,8)	48,8 (37,6)

Considerando os seis clones citados, a média de produção em quatro anos de safra variou de 23 a 79 frutos/árvore. O clone Manoel Pedro, considerado o mais produtivo, variou de 17 a 125 frutos/árvore. Utilizando os coeficientes da Agropecuária Aruanã, de que mil ouriços produzem 138 kg de castanha com casca e 73,3 kg de castanha descascada, isso indicaria que, por hectare, em monocultivo, seria possível produzir entre 13,80 t de castanha com casca e 7,33 t de castanha sem casca, em uma densidade de 100 árvores por hectare. Outra variável que afeta a produção de castanha está relacionada com as secas anormais, como ocorreu em 2008/2009 e 2014/2015. Esta última afetou também a produção boliviana, tendo os exportadores desse país visitado o estado do Pará interessados na aquisição de castanha.

O resultado dos plantios não seria no curto prazo, pois são necessários de 15 a 20 anos para atingir a produtividade estabilizada. Para amortizar o investimento inicial, recomenda-se o plantio de castanheiras em SAFs, envolvendo outras culturas anuais iniciais (mandioca, milho, caupi); semiperenes, como maracujazeiro, mamoeiro e melão; e perenes, como pimenteira do reino, cacauzeiro, cupuaçuzeiro e açazeiro, de acordo com o potencial de mercados locais. Há risco de furtos, que seria minimizado com a expansão dos plantios, tornando disponível para os moradores das vizinhanças, contudo, evitando o plantio próximo de residências rurais ou ao longo de estradas.

Com a atualização em 2012 do Código Florestal (Brasil, 2012), com normativas referentes à recomposição de áreas de reserva legal (ARLs) e áreas de preservação permanente (APPs), o plantio de castanheira seria uma forma de aproveitar essas áreas destinadas à conservação, redundando no longo prazo em um *extrativismo domesticado*. Como a recomposição implica a redução da área agricultável da propriedade – de 35% até 80%, conforme o bioma e a existência ou não de plano de zoneamento econômico-ecológico (ZEE) – e custos para o plantio e a manutenção, dar um sentido econômico para essas áreas com cobertura florestal é uma alternativa interessante. Nesse sentido, torna-se necessário o plantio de castanheiras no âmbito de um programa de reflorestamento e a conservação dos castanhais nativos como reserva de material genético e garantia de renda para os produtores extrativistas.

Produção de madeira de castanheira via reflorestamento

A castanheira é uma espécie de uso múltiplo, que no passado, em função da qualidade de sua madeira, foi muito explorada. Com a promulgação do Decreto nº 5.975 (Brasil, 2006), o corte da castanheira é proibido em florestas naturais, primitivas e de regeneração natural, devido a grande importância das amêndoas para a economia extrativista da Amazônia e, também, para a conservação *in-situ* da espécie. Uma possível via de uso da madeira é por meio de projetos de reflorestamento, com iniciativas promissoras que indicam a viabilidade de plantios para este fim. Desbastes comerciais foram realizados aos 15 anos na Agropecuária Aruanã, com a madeira sendo comercializada para fabricação de tonéis para envelhecimento de bebidas (Figura 6).



Figura 6. Projeto de reposição florestal, com aproveitamento da madeira desbastada de castanheiras aos 15 anos de idade na Agropecuária Aruanã.

Resultados de crescimento da castanheira aos 10 e aos 15 anos de idade indicam que a madeira proveniente de plantios possui propriedades físicas e mecânicas semelhantes à da madeira de árvore nativa, conforme pesquisado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1989). Estudos das propriedades da madeira proveniente de plantios são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades físicas da madeira de reflorestamento de castanheira-da-amazônia obtida de desbaste em plantios na Agropecuária Aruanã, em Itacoatiara-AM. MOR = Módulo de ruptura, medido em mega Pascal (Mpa); MOE = Módulo de elasticidade.

Tipo	Idade (anos)	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	Teor Umidade (%)	Retração Tangencial (%)	Retração Radial (%)	Coef. Anisotropia	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Plantio	10	0,69	14,1	8,12	4,53	1,79	108,5	13474,9
Plantio	15	0,73	14,3	9,27	5,44	1,70	104,9	13226,8
Nativa (IPT,1989)	~40	0,75	15,0	8,40	4,30	1,95	116,0	12553

Fonte: Adaptado de Souza (2016).

De acordo com Moreschi (2010), a classe de qualidade da madeira pode ser definida segundo o fator de anisotropia, que é a relação entre a retratibilidade na direção tangencial dividida pela mesma propriedade na direção radial, a qual influi no comportamento durante o processo de secagem. As madeiras consideradas excelentes, com ocorrência reduzida de empenamento e rachaduras durante a secagem, têm fator de anisotropia de 1,2 a 1,5; as madeiras classificadas como normal, de 1,6 a 1,9; e as madeiras de baixa qualidade, >2,0. A madeira da castanheira plantada é, portanto, classificada dentro do padrão de normalidade quanto ao fator de anisotropia (Tabela 4).

Resultados obtidos por Lima (2011) indicam que 1 ha de castanheiras plantadas no Amazonas aos nove anos de idade pode reter em sua parte aérea 67,05 Mg de carbono (1 Mg = 1 t), com incremento médio anual de 7,45 Mg.ha⁻¹; e na sua estrutura radicular, 13,86 Mg.ha⁻¹ (Lima; Vinhote, 2011).

Na Tabela 5, apresentam-se dados de crescimento da espécie obtidos em plantios em vários estados na Amazônia e a respectiva estimativa do sequestro de carbono.

Tabela 5. Valores médios estimados do crescimento e sequestro de carbono da *Bertholletia excelsa* em plantios na Amazônia. $C=V.(D/2)$, em que C – carbono, V – volume, D – densidade da madeira (0,63 g.cm⁻³, quando não informado na fonte) e Mg – Mega grama, equivalente a 1 t. de carbono. Biomassa estimada por método destrutivo, carbono = biomassa*0,50.

Local	Idade (anos)	Espaço. arv ⁻¹ (m ²)	Altura total (m)	DAP (cm)	Volume (m ³ .ha.ano)	Carbono (Mg.ha.ano)	Fonte
Amazonas	9	7,5	15,9	17,4	32,5462	7,4500 ²	Araujo Filho (2008) e Lima (2011)
Amazonas	10	7,5	17,83	21,09	22,6933	7,8292	Souza (2016)
Amazonas	11	9,0	13,9	13,6	14,9454	4,7078	Souza et al. (2008)
Amazonas	15	7,5	20,89	27,53	29,0221	10,5931	Souza (2016)
Amazonas	27	9,0	-	21,9	8,7670	2,7616	Machado et al. (2017)
Pará	6,5	6,0	7,5	11,8	8,7046	2,7419	Yared et al. (1988)
Pará	17	6,25	17,9	20,0	22,8012	7,1824	Sudam (1979)
Rondônia	10	144,0	-	22,1	23,6960	8,29	Vieira et al. (1998)
Roraima	7	8,5	11,3	13,5	14,6429	4,6125	Tonini et al. (2005)

As experiências de plantio da castanheira-da-amazônia (Tabela 5) demonstram a viabilidade da espécie para projetos de reflorestamento. A qualidade da madeira da espécie a partir de reflorestamento indica seu potencial para uso comercial, tais como embalagens, *pallets* e pequenos objetos de madeira, e com algumas limitações para uso estrutural. Essa madeira pode ser obtida nos desbastes iniciais, aos 5, 10, 15 e 20 anos, deixando, a partir de 25 anos, as árvores remanescentes para a produção de frutos.

Considerações finais

Nas últimas nove décadas, ocorreram diversas experiências de plantio de castanheiras, sobretudo nos estados do Pará e Amazonas. São plantios realizados por médios e grandes produtores e instituições de pesquisa, mas existem também dezenas de pequenos produtores que efetuaram plantios isolados que estão espalhados em toda a Amazônia. No entanto, o longo tempo para o início da frutificação e o retorno do capital investido no plantio, a necessidade de tratamentos culturais até sua consolidação, a indisponibilidade de material genético selecionado, o risco de entrada de fogo acidental, a insegurança fundiária e a existência de outras alternativas econômicas mais competitivas são todos fatores que têm restringido a expansão dos plantios. O tempo exigido para o retorno do capital no plantio de castanheira em monocultivo pode ser superior a 20 anos.

Também são necessários estudos econômicos atuais quanto à economicidade do plantio de castanheiras pé-franco ou enxertadas em monocultivos, ou em SAFs. Depreende-se que os SAFs utilizados pelos colonos nipo-brasileiros em Tomé-Açu, Pará, podem ser uma opção apropriada para o plantio de castanheiras em pequenas e médias propriedades em comparação com a Agropecuária Aruanã, Itacoatiara-AM, que adotou o monocultivo. No entanto, esses plantios silviculturais, com o aporte de recursos adicionais, advindos da negociação de projetos no mercado de carbono, podem torná-los mais atraentes.

Com a redução da oferta extrativa, decorrente da derrubada de castanheiras, que começa a se refletir a partir da década de 1980, e da existência de um mercado nacional e externo em expansão, surgiram novas experiências de plantio, com maior inclusão das informações geradas pela pesquisa.

Os movimentos ambientais (nacionais e internacionais), os organismos de cooperação internacional, o Ministério do Meio Ambiente e as instituições de pesquisa (nacionais e estrangeiras) têm apoiado o extrativismo da castanha-da-amazônia e a padronização do seu nome comum. Nesse contexto, o extrativismo da castanha é visto como um instrumento ou uma estratégia para promover o desenvolvimento sustentável. Há mercado para dobrar a atual produção extrativa, que seria possível mediante o plantio mínimo de pelo menos 20 mil hectares em SAFs. Por ser árvore perene, poderia ser utilizada para recompor o passivo ambiental das APPs e ARLs, gerando alternativa de renda em médio e longo prazo. No entanto, quanto ao apoio para o plantio de castanheiras, este, em grande parte, decorre de recursos próprios ou de crédito associado para outros cultivos composito SAFs, não havendo políticas ou programas específicos para fomentar o plantio da castanheira.

A despeito da imagem extrativa e de não existirem estatísticas oficiais, estima-se que pelo menos 3 a 5% da produção de castanha-da-amazônia é proveniente de plantios. Espera-se, no longo prazo, o aumento da participação da castanha proveniente de plantios, tanto de pequenos como de médios e grandes produtores. Por ser uma planta totalmente dependente de polinização por insetos, a viabilidade de seus plantios vai depender da existência de reservas de vegetação secundária ou de floresta nas vizinhanças, para garantir a sobrevivência dos polinizadores durante o ano, e de efetuar plantios de pé-franco ou enxertia com clones diversificados. Dessa forma, mesmo a produção de castanha a partir de plantios pode fazer parte de uma estratégia de apoio a paisagens rurais mais sustentáveis, pois a produtividade desses plantios dependerá da conservação de áreas florestais próximas ou intercaladas.

Propostas singulares de pesquisa para avaliação de material genético de castanheiras deveriam privilegiar, em um primeiro momento, a observação de castanheiras *in-situ* e *on-farm*, para ganhar tempo, enquanto se avança na experimentação *ex-situ*, uma vez que estes resultados são bastante demorados. O acompanhamento dos atuais plantios existentes, testando os níveis de adubação de macro e micronutrientes, a medição dos níveis de selênio na castanha de diferentes locais da Amazônia e dos castanhais plantados para frutos, silvicultura e características ecofisiológicas são algumas prioridades para a pesquisa.

Referências

ALMEIDA, J. J. **A castanha do Pará na Amazônia: entre o extrativismo e a domesticação**. Jundiá: Paco Editorial, 2017. 396 p.

ARAÚJO FILHO, C. A. R. **Ajuste de equações hipsométricas e volumétricas em plantio homogêneo de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* K.) na Amazônia Central**. 2008. 46 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara.

ALVES, R. J. V.; WEKSLER, M.; OLIVEIRA, J.; BUCKUP, P. A.; POMBAL JUNHOR, J. P.; SANTANA, H. R. G.; PERACCHI, A. L.; KELLNER, A. W. A.; ALEIXO, A.; LANGGUTH, A.; ALMEIDA, A. M. P. de; ALBERNAZ, A. L.; RIBAS, C. C.; ZILBERG, C.; GRELLE, C. E. V.; ROCHA, C. de; LAMAS, C. J. E.; HADDAD, C. F. B.; BONVICINO, C. R.; PRADO, C. P. A.; LIMA, D. O. de; ROSSA-FERES; D. C.; SANTOS, F. R. dos; SALIMENA, F. R. G.; PERINI, F. A.; BOCMANN, F. A.; FRANCO, F. L.; GIUDICE, G. M. L.; COLLI, G. R.; VIEIRA, I. C. G. MARINHO-FILHO, J.; WERNECK, J. M. C. F.; SANTOS, J. A. dos; NASCIMENTO, J. L. do; NESSIMIAN, J. L.; CORDEIRO, J. L. P.; CLARO, K. del; SALLES, L. O.; CASSATA, L.; PY-DANIEL, L. H. R.; SILVEIRA, L. F.; TOLEDO, L. F.; OLIVEIRA, L. F. de; MALABARBA, L. R.; SILVA, M. D. da; COURI, M. S.; MARTINS, M.; TAVARES, M. D. S.; SBRAL, M. E. G.; VIEIRA, M. V.; OLIVEIRA, M. de L.; PINNA, de M.; KOPKINS, M. J. G.; SOLE, M.; MENEZES, N.; A.; PASSOS, P.; D'ANDREA, P. S.; PINTO, P. C. E. A.; VIANA, P. L.; TOLETO, P. M.; REIS, R. E.; VILELA, R.; BASTOS, R. P.; COLLEVATTI, R.; CERQUEIRA, R.; CASTROVIEJO-FISHER, S.; CARAMACHI, U. Brazilian legislation on genetic heritage harms Biodiversity Convention goals and threatens basic biology research and education. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1279-1284, abr./jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820180460>.

BARROS, A. V. L.; HOMMA, A. K. O.; TAKAMATSU, J. A.; TAKAMATSU, T.; KONAGANO, M. Evolução e percepção dos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores nipo-brasileiros do município de Tomé-açu, estado do Pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 5, n. 9, p. 7-37, jul./dez. 2009.

BOCKMANN, F. A.; RODRIGUES, M. T.; KOHSLDORF, T.; STRAKER, L. C.; GRANT, T.; PINNA, M. C. C. de; MANTELATTO, F. L. M.; DATOVO, A.; POMBAL JUNIOR, P. B.; MCNAMARA, J. C.; ALMEIDA, E. A. B. de; KLEIN, W.; HSIU, A. S.; GROppo, M.; CORRÊA, I. M. C.; AMORIM, D. de S. Brazil's government attacks biodiversity. **Science**, v. 360, n. 6391, p. 865, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat7540>.

BRASIL. Decreto nº 5.975 de 30 de novembro de 2006. Regulamenta os arts. 12, parte final, 15, 16, 19, 20 e 21 da Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965, o art. 4o, inciso III, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, o art. 2o da Lei no 10.650, de 16 de abril de 2003, altera e acrescenta dispositivos aos Decretos nos 3.179, de 21 de setembro de 1999, e 3.420, de 20 de abril de 2000, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 1 jan. 2006. Seção 1, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5975.htm. Acesso em: 20 jun. 2021.

BRASIL. Decreto nº 8.772 de 11 de maio de 2016. Regulamenta a Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015, que dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade. florestal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 12 maio 2016, Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/decreto/d8772.htm. Acesso em: 20 jun. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 28 maio 2012, Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 20 jun. 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 20 jun. 2021.

BRASIL. Lei nº 13123 de 20 de maio de 2015. Regulamenta o inciso II do § 1º e o § 4º do art. 225 da Constituição Federal, o Artigo 1, a alínea j do Artigo 8, a alínea c do Artigo 10, o Artigo 15 e os §§ 3º e 4º do Artigo 16 da Convenção sobre Diversidade Biológica, promulgada pelo Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998; dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade; revoga a Medida Provisória nº 2.186-16, de 23 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 21 maio 2015, Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13123.htm. Acesso em: 20 jun. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 1, de 5 de setembro de 1996. Dispõe sobre a reposição florestal obrigatória e sobre o plano integrado florestal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 6 set. 1996, Seção 1, p. 17696-17699. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/IN0001-050996.PDF>. Acesso em: 20 jun. 2021.

BURKILL, I. H. **A dictionary of the economic products of the Malay Peninsula**. London: Governments of the Straits Settlements: Federated Malay States, 1935. V. 2, 2402 p.

COSTA, K. C. P.; JAQUETTI, R.; GONCALVES, J. F. C. Special issue in honour of Prof. Reto J. Strasser Chlorophyll a fluorescence of *Bertholletia excelsa* Bonpl. plantations under thinning, liming, and phosphorus fertilization. **Photosynthetica**, v. 58, p. 138-145, 2020. DOI: <https://doi.org/10.32615/ps.2019.146a>.

FERREIRA FILHO, C. **Amazônia em novas dimensões**. Rio de Janeiro: Conquista, 1961. 271 p.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Photosynthetic parameters of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B.) plants subjected to fertilization in a degraded area in Central Amazonia. **Photosynthetica**, v. 47, p. 616-620, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-009-0088-2>.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. de C.; FERRAZ, J. B. S.; SANTOS JUNIOR, U. M. dos; RENNENBERG, H.; Clonal variation in photosynthesis, foliar nutrient concentrations, and photosynthetic nutrient use efficiency in a Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) plantation. **Forest Science**, v. 62, n. 3, p. 323-332, June. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5849/forsci.15-068>.

HOMMA, A. K. O. **A imigração japonesa na Amazônia**: sua contribuição ao desenvolvimento agrícola. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 217 p.

HOMMA, A. K. O. **Extrativismo vegetal na Amazônia**: história, ecologia, economia e domesticação. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 468 p.

HOMMA, A. K. O. Extrativismo vegetal ou plantio: qual a opção para a Amazônia? **Estudos Avançados**, v. 74, n. 26, p. 167-186, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100012>.

HOMMA, A. K. O.; FERREIRA, A. da S.; FREITAS, M. C. da S.; FRAXE, T. de J. P. (org.) **Imigração japonesa na Amazônia**: contribuição na agricultura e vínculo com o desenvolvimento regional. Manaus: Edua, 2011. 450 p.

HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. 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. 233-246, 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.526>.

HOMMA, A. K. O.; NAKANO, Y.; ISHIZUKA, Y. (ed.) **Imigração japonesa no estado do Amazonas (1927-1942)**. Belém, PA: Edição do Autor, 2021. 411 p.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**: tabela 289: Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo de produto extrativo. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289>. Acesso em: 20 jul. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 2. ed. São Paulo, 1989. 418 p.

KITAMURA, P. C.; MÜLLER, C. H. **Castanhais nativos de Marabá-PA**: fatores de deprecação e bases para a sua preservação. Belém: Embrapa-CPATU, 1984. 32 p. (Embrapa-CPATU. Documentos, 30). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/381689>. Acesso em: 20 jul. 2021.

LIMA, R. M. B. de. Estimativa da biomassa aérea de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.) em plantios homogêneos no estado do Amazonas. In: SEMINÁRIO PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA E BENEFÍCIOS SOCIOAMBIENTAIS DAS PESQUISAS DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 1., 2011, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2011. p. 57-61. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 88). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/907615>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LIMA, R. M. B. de; VINHOTE, E. G. Estimativa da biomassa subterrânea em plantios homogêneos de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonp.) na Amazônia Central. In: ESCOLA DE MODELOS DE REGRESSÃO, 12., 2011, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2011. p. 287. Pôster 352. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/913484>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LOPES, J. de S. COSTA, K. C. P. da; FERNANDES, V. S.; GONÇALVES, J. F. de C. Functional traits associated to photosynthetic plasticity of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) plants. **Flora**, v. 258, Article number 151446, Sept. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151446>.

LUNZ, A. M. P.; MELO, A. W. F. de. **Monitoramento e avaliação dos principais desenhos de sistemas agroflorestais multiestratos do projeto Reça**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1998. 4 p. (Embrapa Acre. Pesquisa em Andamento, andamento, 134). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/492881>. Acesso em: 21 jul. 2021.

MACHADO, M. R.; SOUZA, R. C.; SAMPAIO P. T. D.; FERRAZ, J. B. S. Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.). **Biota Amazônia**, v. 7, n. 3, p. 41-44, jan. 2017. DOI: 10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v7n3p41-44.

MORAIS, R. R.; GONÇALVES, J. F. de C.; SANTOS JÚNIOR, U. M. dos; DUNISCH, O.; SANTOS, A. L. W. dos. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll a fluorescence in Amazon tropical three species. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 959-966, Oct. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000500020>.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**: manual didático. 3. ed. Curitiba: Ed. da UFPR, 2010. 194 p.

MORITZ, A. **Estudos biológicos da floração e frutificação da castanha-do-brasil**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1984. 78 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/387228>. Acesso em: 20 jul. 2021.

MÜLLER, C. H. **Castanha-do-brasil: estudos agrônômicos**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1981. 25 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/379778>. Acesso em: 21 jul. 2021.

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. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/378091>. Acesso em: 21 jul. 2021.

NASCIMENTO, C.; HOMMA, A. **Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1984. 282 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/386339>. Acesso em: 21 jul. 2021.

OLIVEIRA, T. K. de; SÁ, C. P. de; OLIVEIRA, T. C. de; LUIZ, S. A. da. **Caracterização de dois modelos de consórcios agroflorestais, índices técnicos e indicadores de viabilidade financeira**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2010. 44 p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 45).

OLIVEIRA, T. K.; ARCO-VERDE, M. F.; SILVA, D. V. da; BARADALES, N. G. **Descrição e análise financeira de um consórcio agroflorestal com cupuaçu, pupunha e castanheira (Projeto Reca – Rondônia)**: BR SAF RO 01. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2016. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 195). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1062936>. Acesso em: 21 jul. 2021.

PASSOS, R. M. de O. **Características biométricas, edáficas, nutricionais e produção de frutos de castanha-da-amazônia em plantios clonais na Amazônia Central**. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

PINHEIRO, E.; ALBUQUERQUE, M. Castanha-do-pará. In: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Livro Anual da Agricultura**. Brasília, DF: Mapa, 1968. p. 224-233.

SÁ, C. P. de; SANTOS, J. C. dos; LUNZ, A. M. P.; FRANKE, I. L. **Análise financeira e institucional dos três principais sistemas agroflorestais adotados pelos produtores do Reca**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 12 p. (Embrapa Acre. Circular técnica, 33). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/503349>. Acesso em: 21 jul. 2021.

SALOMÃO, R. D. P. I. 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.

SANTOS, J. C. dos; VEIGA, S. A.; SÁ, C. P. de; WADT, L. H. de O.; NASCIMENTO, G. C. do; SILVA, M. R. da. **Estimativa de custo de coleta e rentabilidade para sistema extrativo de castanha-do-brasil no Acre, safra 2001/2002**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2002. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 156). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/497734>. Acesso em: 21 jul. 2021.

SCHIMPL, F. C.; FERREIRA, M. J.; JAQUETTO, R. K.; MARTINS, S. C. V.; GONÇALVES, J. F. de C. Physiological responses of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) plants to drought stress and subsequent rewatering. **Flora**, v. 252, p. 10-17, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.02.001>.

- SILVA, D. V. da. **Caracterização de consórcios, variabilidade de atributos do solo e desempenho produtivo do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais no Projeto Reca**. 2018. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC.
- SOUZA, C. R. de; LIMA, R. M. B. de; AZEVEDO, C. P. de; ROSSI, L. M. B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 7-14, mar. 2008. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176297/1/cap01.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- SOUZA, M. N. de. **Volumetria e qualidade da madeira de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em plantios na Amazônia Central**. 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.
- SUDAM. **Características silviculturais de espécies nativas e exóticas dos plantios do Centro de Tecnologia Madeireira**: – Estação Experimental de Curuá-Una. Belém, PA: Sudam, 1979. 351 p.
- TAKAMATSU, J. A. **Plantio de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* HBK) no município de Tomé-Açu**. In: WORKSHOP REGIONAL DA CASTANHA-DO-BRASIL: PESQUISA, PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.
- TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. de. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima: andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellaneda* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Acta Amazonica**, v. 35, n. 3, p. 356-362, set. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000300008>.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS –UFLA. Primeiro plantio de castanha-do-brasil fora de região amazônica, realizado na Ufla, foi destaque do Balanço no Campo. **Minuto do Câmpus**, 25 mar. 2019. Disponível em: <https://www.facebook.com/uflabr/videos/primeiro-plantio-de-castanha-do-brasil-fora-de-regi%C3%A3o-amaz%C3%B4nica-realizado-na-ufl/383130815853642/>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- VIEIRA, A. H.; LOCATELLI, M.; SOUZA, V. F. de. **Crescimento de castanha-do-brasil em dois sistemas de cultivo**. Porto Velho: EMBRAPA-CPAF Rondônia, 1998. (Embrapa Rondônia. Boletim de Pesquisa, 22). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/700021>. Acesso em: 21 jul. 2021.
- WADT, L. H. de 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. Domesticação e melhoramento de castanha. In: BORÉM, A.; LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (ed.). **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009. p. 297-317. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/511908>. Acesso em: 21 jul. 2021.
- YARED, J. A. G.; KANASHIRO, M.; CONCEIÇÃO, J. G. L. da. **Espécies florestais nativas e exóticas: comportamento silvicultural no planalto do Tapajós – Pará**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1988. 29 p. (Embrapa-CPATU. Documentos, 49). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/381194>. Acesso em: 21 jul. 2021.



Apoio



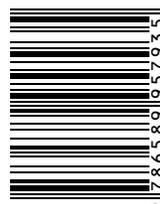
www.theGEF.org



Empoderando vidas.
Fortalecendo nações.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA



9 786589 195793 511

CGPE 018118