

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO
NÚCLEO REGIONAL NOROESTE

Cacau Amazônico: do solo à mesa

III Workshop de Cadeias de Produção
Agroflorestais Prioritárias da Amazônia

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Editor Técnico



Porto Velho, RO
— 2026 —

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO
NÚCLEO REGIONAL NOROESTE

Cacau Amazônico: do solo à mesa

III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da
Amazônia

Caminhos da Produção Agroflorestal

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Editor Técnico

Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Porto Velho, RO
2026

Créditos editoriais

Editor técnico e registro editorial

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Publicação institucional

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Noroeste

Porto Velho, RO, 2026

Capa

Elaborada com auxílio de inteligência artificial generativa — ChatGPT (OpenAI).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Noroeste

Cacau amazônico : do solo à mesa : III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia / Paulo Guilherme Salvador Wadt, editor técnico. – Porto Velho, RO : Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2026. PDF (175 p.) : il. color.

ISBN: 978-0-9895528-1-3

DOI: 10.5281/zenodo.22775230

Cacau – Amazônia. 2. Cacaucultura. 3. Sistemas agroflorestais. 4. Ciência do solo. 5. Agricultura sustentável. 6. Recursos genéticos vegetais. I. Wadt, Paulo Guilherme Salvador, editor técnico. II. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Noroeste. III. Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia (3. : 2025 : Cacoal, RO). IV. Título.

CDD (23. ed.) 633.74

Nota de responsabilidade editorial

Os capítulos são de responsabilidade de seus autores e não representam necessariamente a posição institucional da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, de seu Núcleo Regional Noroeste ou das instituições parceiras. O editor técnico responde pela organização, coordenação, padronização e supervisão editorial da obra, sem prejuízo da responsabilidade dos autores pelo conteúdo técnico-científico. Ferramentas de IA generativa, incluindo ChatGPT, foram usadas apenas como auxílio em revisão textual, tradução, padronização linguística e apoio editorial, sem substituir a análise técnica, científica ou editorial. A validação final do conteúdo cabe aos autores; ao editor técnico, a condução e supervisão do processo editorial..

Autores

Ana Karina Dias Salman

Zootecnista, doutora em Zootecnia, pesquisadora da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO.

Antonio Figueira

Engenheiro agrônomo, PhD em Genética Vegetal, professor titular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

Daniel Carlos Machado

Engenheiro ambiental e sanitaria, mestre em Agronomia – Sustentabilidade na Agricultura, doutorando em Agronomia – Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

Daniel Vidal Perez

Engenheiro agrônomo, doutor em Química, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Davi José Silva

Engenheiro agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador aposentado da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.

Elaine Coimbra de Souza

Zootecnista, doutora em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, RO.

Elmany Stefany Rodrigues Frisso

Engenheira florestal, bolsista da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO.

Emanuela Silva do Nascimento

Engenheira agrônoma, Pós-graduanda em Agriculturas Amazônicas, Programa de Pós-Graduação em Agriculturas Amazônicas, Universidade Federal do Pará, Belém, PA.

Erlangela Rocha Viga

Engenheira florestal, mestre em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC.

Fabício da Silva Vasconcelos

Engenheiro agrônomo, mestrando em Agronomia – Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

Gabriel Maurício Peruca de Melo

Zootecnista, doutor em Zootecnia, professor titular da Universidade Brasil, Programa de Pós-Graduação em Produção Animal, Descalvado, SP.

George Andrade Sodré

Engenheiro agrônomo, doutor em Produção Vegetal, professor titular do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA.

Gleriani Torres Carbone Ferreira

Administradora, doutora em Administração, professora da Faculdade FIA de Administração e Negócios, São Paulo, SP.

Gleycon Vellozo da Silva

Tecnólogo em Gestão Ambiental, mestre em Ciências Ambientais, doutorando em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM.

Henrique Nery Cipriani

Engenheiro florestal, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

Jairo Rafael Machado Dias

Engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia Tropical, professor associado do Departamento Acadêmico de Agronomia da Universidade Federal de Rondônia, Campus de Rolim de Moura, RO.

Jennyfer Tamara de Lima Barbosa

Bióloga, mestranda em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC.

Liandra Maria Abaker Bertipaglia

Zootecnista, doutora em Zootecnia, professora da Universidade Brasil e docente do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal, Descalvado, SP.

Luana Gonçalves Verteiro

Engenheira florestal, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.

Lúcia Helena de Oliveira Wadt

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

Márcia Motta Maués

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

Norma Giovanna da Silva Pereira Plese

Engenheira florestal, mestre em Gestão de Áreas Protegidas, professora do Instituto Federal do Acre e doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia pela Rede Bionorte, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC.

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO.

Rayane Sales Gomes

Bióloga, Mestre em Zoologia, vinculada à Coordenação de Zoologia do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA. Seu mestrado foi realizado no Programa de Pós-Graduação em Zoologia UFPA/MPEG e publicações recentes mantêm sua afiliação à Coordenação de Zoologia do MPEG.

Reginaldo Ribeiro dos Santos

Departamento de Produção Animal, Universidade Brasil, Descalvado, SP.

Rosinaira Gonzaga de Souza

Bióloga, mestre em Biodiversidade e Evolução, doutoranda em Biodiversidade e Evolução, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA.

Siu Mui Tsai

Engenheira agrônoma, doutora em Agronomia, professora titular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

Thierry Alexandre Pellegrinetti

Engenheiro ambiental e sanitarista, doutor em Ciências, pós-doutorando no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

Vanderley Borges dos Santos

Engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC.

Vanderley José Pereira

Engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, bolsista DCRB/FAPERO na Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO.

Wanderley José de Melo

Engenheiro agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, Descalvado, SP.

Wéllen Sângela Mendes Bezerra

Zootecnista, mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, RO.

AGRADECIMENTOS

A realização do III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia e a elaboração desta publicação foram possíveis graças à participação e ao apoio de instituições, profissionais, produtores e colaboradores que contribuíram para as diferentes etapas de organização, execução e sistematização das atividades.

Registramos, inicialmente, nosso reconhecimento ao Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), promotor do evento, pela articulação institucional e pela iniciativa de reunir pesquisadores, professores, estudantes, técnicos, extensionistas, produtores e representantes de diferentes segmentos em torno dos desafios e das oportunidades das cadeias agroflorestais amazônicas.

Agradecemos especialmente à Universidade Federal de Rondônia (UNIR) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), instituições que compartilharam a execução do evento e disponibilizaram infraestrutura, equipes e apoio técnico para a realização das atividades científicas, formativas e de integração. A programação foi desenvolvida predominantemente no Campus de Cacoal da UNIR, com atividades complementares no IFRO e em área rural destinada às atividades práticas.

À Embrapa Rondônia, expressamos nosso reconhecimento pela colaboração ativa na logística e na organização do Workshop, incluindo a articulação com palestrantes e instituições parceiras, o apoio técnico às atividades e a contribuição de sua equipe para o planejamento e a execução da programação.

Registramos agradecimento especial ao Serviço Nacional de Aprendizagem Rural de Rondônia (SENAR-RO), cuja atuação e experiência em capacitação profissional e assistência aos produtores foram importantes para a execução das atividades práticas e para a aproximação entre o conteúdo técnico-científico e as demandas dos sistemas produtivos. A participação do SENAR-RO também se insere em uma trajetória de cooperação regional voltada à capacitação, à validação de tecnologias e à aproximação da pesquisa com os produtores rurais.

Da mesma forma, agradecemos aos responsáveis pelo Viveiro Andurá, no Sítio Santo Antônio, pela disponibilização da propriedade, da infraestrutura e das áreas de cultivo utilizadas nas atividades de campo. Essa colaboração foi essencial para que os participantes pudessem acompanhar, em condições reais de produção, aspectos relacionados aos clones de cacaueiro, às técnicas de propagação, ao manejo das plantas e às práticas de pós-colheita. O apoio conjunto do SENAR-RO e dos responsáveis pela propriedade foi determinante para a realização dessa etapa prática do evento.

Agradecemos à Fundação Rondônia de Amparo ao Desenvolvimento das Ações Científicas e Tecnológicas (FAPERO) pelo apoio financeiro destinado à realização do III Workshop e às ações associadas à produção desta obra. Ressalta-se que os recursos aportados pela Fundação tiveram origem em emenda parlamentar do deputado estadual Cirone Deiró (Elcirone Moreira Deiró), cuja iniciativa contribuiu para

viabilizar a realização do evento e ampliar a difusão de conhecimentos relacionados à cacaucultura e às cadeias agroflorestais amazônicas.

Nosso reconhecimento estende-se às demais instituições de pesquisa, ensino, assistência técnica, desenvolvimento rural, fomento e representação do setor produtivo que participaram da programação e disponibilizaram profissionais, conhecimentos e experiências. O evento contou com a participação de ampla rede institucional, envolvendo organizações públicas e privadas vinculadas à pesquisa, à extensão, ao desenvolvimento rural e à cadeia produtiva do cacau.

Agradecemos, ainda, aos conferencistas, palestrantes, moderadores, debatedores, instrutores e demais colaboradores que contribuíram para a qualidade técnica das atividades, bem como aos autores e coautores que transformaram parte dos conteúdos discutidos no Workshop em capítulos desta publicação.

Por fim, registramos nosso agradecimento aos produtores rurais, estudantes, professores, técnicos, extensionistas e demais participantes que compartilharam experiências, apresentaram demandas e contribuíram para os debates. A participação desses diferentes públicos foi fundamental para aproximar a pesquisa das condições concretas de produção e conferir ao evento seu caráter de integração entre ciência, inovação e desenvolvimento regional.

Magno Batista Amorim

Coordenador do III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia

Charles Carminati de Lima

Vice-Coordenador

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Vice-Coordenador

APRESENTAÇÃO

A publicação *Cacau Amazônico: do solo à mesa* constitui mais uma iniciativa do Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo destinada a promover a circulação do conhecimento científico e técnico e a aproximar instituições de pesquisa, ensino, extensão, setor produtivo e poder público nos estados do Acre e de Rondônia.

A obra tem origem no III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia, realizado nos dias 4 e 5 de dezembro de 2025, em Cacoal, Rondônia. A programação reuniu dia de campo, minicurso, oficinas, conferências, palestras e mesas-redondas e possibilitou o intercâmbio entre pesquisadores, professores, estudantes, técnicos, produtores, gestores e representantes de diferentes segmentos ligados ao desenvolvimento regional.

Nesta edição, a cacauicultura amazônica ocupa posição central. Esse enfoque é oportuno diante das transformações em curso na cadeia produtiva do cacau, que exigem avanços simultâneos em produtividade, conservação dos recursos genéticos, manejo do solo e da nutrição, sanidade, propagação, polinização, qualidade das amêndoas, processamento, agregação de valor e organização institucional.

Os capítulos, entretanto, ampliam essa perspectiva. Ao lado dos temas diretamente relacionados ao cacauzeiro e ao gênero *Theobroma*, são apresentadas contribuições sobre sistemas silvipastoris, domesticação da castanheira-da-amazônia, matéria orgânica do solo, sistemas integrados de produção, qualidade de pastagens e diversidade da microbiota do solo. Essa composição reforça a concepção de que o desenvolvimento da agricultura amazônica depende de uma abordagem integrada entre solo, plantas, biodiversidade, tecnologia, produção e organização territorial.

A diversidade de instituições e autores presentes na obra também demonstra a relevância da cooperação. Os desafios associados à produção agroflorestal na Amazônia dificilmente podem ser enfrentados de maneira isolada. Pesquisa científica, assistência técnica, formação de recursos humanos, organizações de produtores, iniciativa privada, agências de fomento e poder público precisam atuar de forma complementar para que o conhecimento produzido se converta em soluções aplicáveis aos territórios.

Nesse contexto, merece reconhecimento o apoio das instituições que contribuíram para a realização do evento e para a produção desta publicação, particularmente a FAPERO, a Embrapa, a Universidade Federal de Rondônia, em especial, o Programa de Pós-Graduação em Gestão de Agronegócios e Sustentabilidade, o Instituto Federal de Rondônia e as demais organizações que disponibilizaram infraestrutura, equipes e competências técnicas. Essa articulação institucional é coerente com a própria missão do Núcleo Regional Noroeste de promover e difundir a Ciência do Solo e estimular a cooperação técnico-científica no Acre e em Rondônia.

Ao disponibilizar esta obra, o Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo procura não apenas registrar conhecimentos discutidos durante o III

Workshop, mas oferecer uma referência que possa ser utilizada em atividades de pesquisa, ensino, assistência técnica, extensão rural, planejamento e formulação de novas iniciativas de desenvolvimento.

Espera-se que os conteúdos aqui reunidos contribuam para ampliar o diálogo entre ciência e produção, estimular novas parcerias e apoiar a construção de sistemas agroflorestais produtivos, ambientalmente adequados e capazes de gerar oportunidades econômicas nos diferentes territórios amazônicos.

Henrique Nery Cipriani

Presidente do Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo



PREFÁCIO

Este livro nasceu do propósito de transformar os debates e contribuições técnico-científicas reunidos no III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia em um material de referência que pudesse permanecer útil após o encerramento do evento. Por essa razão, sua concepção editorial não se restringiu à reprodução de palestras ou ao registro da programação. Os textos foram organizados e desenvolvidos como capítulos destinados à consulta, ao ensino, à assistência técnica, à pesquisa e ao apoio à tomada de decisão.

O título *Cacau Amazônico: do solo à mesa* sintetiza a perspectiva adotada. O cacau é tratado como uma cadeia que começa nos recursos naturais e genéticos que sustentam a produção, passa pelo solo, pela planta e pelo manejo da lavoura e alcança a qualidade, a transformação, a diferenciação do produto, os mercados e a organização institucional. Essa abordagem procura evitar uma interpretação fragmentada da cadeia produtiva e evidenciar que ganhos consistentes de competitividade dependem da integração entre conhecimento biológico, manejo agrônomo, inovação tecnológica e agregação de valor.

Os primeiros capítulos examinam componentes fundamentais para o futuro da cacauicultura amazônica. A biodiversidade do gênero *Theobroma*, a conservação dos recursos genéticos, a polinização e as novas ferramentas biotecnológicas são discutidas como elementos diretamente relacionados à capacidade de gerar materiais adaptados, enfrentar ameaças fitossanitárias e ampliar a autonomia científica e tecnológica da região.

Na sequência, o livro aborda questões relacionadas à produtividade e ao manejo das lavouras. A adubação modular balanceada, a integração da diagnose foliar com a fertilidade do solo, a escolha de materiais genéticos, a propagação vegetativa, os arranjos espaciais, a condução da copa e a polinização são apresentados sob uma perspectiva de modernização dos sistemas produtivos. Em comum, essas contribuições destacam que o aumento sustentável da produtividade depende da integração de tecnologias e da capacidade de ajustar as recomendações às condições ambientais e produtivas de cada sistema.

A obra também incorpora a dimensão econômica e territorial. A discussão sobre indicações geográficas, agregação de valor e aproveitamento integral do fruto evidencia que a competitividade da cacauicultura não depende apenas do aumento da produção. É igualmente necessário ampliar a capacidade dos territórios produtores de processar sua matéria-prima, diferenciar seus produtos, organizar mercados e reter parcela maior da riqueza gerada pela biodiversidade amazônica.

A experiência de cooperação institucional também recebe atenção. O capítulo dedicado aos primeiros cinco anos da Unidade Mista de Pesquisa e Inovação em Cacau em Rondônia apresenta resultados e limitações de um arranjo estabelecido entre Embrapa e CEPLAC e mostra como a integração entre instituições pode ampliar a

produção técnico-científica, a formação de redes, a captação de recursos e a estruturação de novas agendas de pesquisa e inovação.

Embora o cacau constitua o eixo temático predominante, a publicação preserva a abordagem mais ampla que caracteriza os Workshops de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia. Por isso, foram incluídos estudos sobre *Samanea tubulosa* em sistemas silvipastoris, domesticação da castanheira-da-amazônia, matéria orgânica do solo, produtividade e qualidade de pastagens e diversidade da microbiota. Esses trabalhos ampliam o alcance do livro e evidenciam a centralidade da Ciência do Solo na integração entre produção agropecuária, conservação ambiental e uso sustentável dos recursos naturais.

A heterogeneidade dos capítulos é também reflexo da natureza do próprio evento. Reúnem-se textos de caráter conceitual, revisões, sistematizações de experiências, ferramentas de apoio à decisão e resultados de pesquisa. Essa diversidade foi mantida deliberadamente, pois permite atender públicos distintos e registrar diferentes formas de produção e aplicação do conhecimento.

O livro é dirigido a pesquisadores, professores, estudantes, profissionais da assistência técnica e da extensão rural, produtores, gestores públicos e demais agentes envolvidos com a cacauicultura e com as cadeias agroflorestais amazônicas. Espera-se que possa ser utilizado tanto como referência para consulta quanto como ponto de partida para novos experimentos, projetos, ações de transferência de tecnologia e debates sobre políticas de desenvolvimento.

Mais do que documentar um evento, esta publicação pretende contribuir para uma agenda de continuidade. Os desafios da produção agroflorestal amazônica exigem pesquisa de longo prazo, instituições capazes de cooperar e mecanismos que permitam transformar conhecimento em inovação efetivamente utilizada no campo e nos demais elos das cadeias produtivas. É nesse espaço, entre o conhecimento científico e sua aplicação nos territórios, que este livro procura se inserir.

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Editor Técnico

Sumário

BIODIVERSIDADE DO GÊNERO *THEOBROMA*, SOBERANIA GENÉTICA E FRONTEIRAS

BIOTECNOLÓGICAS NA AMAZÔNIA	18
RESUMO	18
ABSTRACT	19
GEOPOLÍTICA E ARQUEOLOGIA DA ORIGEM DE <i>THEOBROMA CACAO</i>	19
DIVERSIDADE E POTENCIAIS DO GÊNERO <i>THEOBROMA</i>	22
VULNERABILIDADE, EROÇÃO GENÉTICA E O IMPERATIVO DA CONSERVAÇÃO	24
ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO DO GÊNERO <i>THEOBROMA</i>	26
CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	27

A BARREIRA INVISÍVEL DA PRODUTIVIDADE: A POLINIZAÇÃO COMO PILAR FUNDAMENTAL DA CACAUCULTURA AMAZÔNICA

RESUMO	28
ABSTRACT	29
CONTEXTUALIZAÇÃO: POR QUE SE PREOCUPAR COM A POLINIZAÇÃO?	30
O REPOSICIONAMENTO ESTRATÉGICO DA CADEIA.....	30
A BIOLOGIA FLORAL E A BARREIRA QUANTITATIVA DO CACAUEIRO	31
PROJETO POLINIZA CACAU: A DINÂMICA MULTIESPÉCIE E A ARQUITETURA DO SISTEMA	33
DIRETRIZES DE MANEJO: FOCO NO POLINIZADOR	34
CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36

TÉCNICAS BIOTECNOLÓGICAS NO MELHORAMENTO DO CACAUEIRO: UMA ABORDAGEM CIENTÍFICA PARA A SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO

RESUMO	38
ABSTRACT	39
A CACAUCULTURA AMAZÔNICA: LIMITES TECNOLÓGICOS E PERSPECTIVAS BIOTECNOLÓGICAS	39
MICROPROPAGAÇÃO E LIMPEZA VIRAL: A PADRONIZAÇÃO DE MATERIAIS DE ELITE	41
A REVOLUÇÃO CRISPR: EDIÇÃO GÊNICA E ACEITABILIDADE DE MERCADO	42
SUPERAÇÃO DAS RESTRIÇÕES ASSOCIADAS À TRANSGENIA	43
ALVOS BIOLÓGICOS PRIORITÁRIOS: MONILÍASE E VASSOURA-DE-BRUXA	44
NANOBIOTECNOLOGIA EM CAMPO: A SUBSTITUIÇÃO DE DEFENSIVOS CONVENCIONAIS	45
A SOBERANIA TECNOLÓGICA DA AMAZÔNIA	46
CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	48

FERTILIZA CACAU: SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE NUTRICIONAL E ADUBAÇÃO MODULAR BALANCEADA PARA LAVOURAS CACAUEIRAS

RESUMO	50
ABSTRACT	51
INTRODUÇÃO	52
ESTRUTURA DA PLANILHA	54
OBTENÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DOS DADOS FOLIARES	55
FECHAMENTO COMPOSICIONAL, TRANSFORMAÇÃO CLR E CÁLCULO DOS ÍNDICES CND	56
CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL	58
INTERPRETAÇÃO DO SOLO E RECOMENDAÇÃO MODULAR	59
DEMONSTRAÇÃO DA FERRAMENTA.....	60
FLUXO DE PROCESSAMENTO E RASTREABILIDADE	61

DIAGNOSE DO EXEMPLO	62
LIMITAÇÕES E ATUALIZAÇÃO DAS NORMAS CND.....	63
RECOMENDAÇÃO MODULAR GERADA NO EXEMPLO	64
APLICAÇÕES, LIMITAÇÕES E NECESSIDADES DE VALIDAÇÃO E APRIMORAMENTO	66
CONCLUSÕES.....	68
AGRADECIMENTOS	69
REFERÊNCIAS.....	69
CACAUCULTURA EM RONDÔNIA: ESTADO DA ARTE E PARADIGMAS DA PRODUTIVIDADE.....	71
RESUMO	71
ABSTRACT.....	72
O PARADIGMA DA PRODUTIVIDADE PARA A SUSTENTABILIDADE DA CADEIA PRODUTIVA DO CACAU EM RONDÔNIA	72
A MODERNIZAÇÃO DA CACAUCULTURA NO ESTADO DE RONDÔNIA	74
<i>Inovações na propagação vegetativa e tipos de mudas de cacauero</i>	76
<i>Arranjos espaciais e adensamento em cacaueros</i>	78
Considerações sobre o cultivo do cacauero no sistema candelabro	81
Tutoramento	81
Podas	82
Produção de frutos no experimento do sistema candelabro	84
<i>Polinização do cacauero</i>	85
<i>Polinização mecânica</i>	86
<i>Polinização manual</i>	86
CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS.....	87
A SOBERANIA DA ABUNDÂNCIA: INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS, AGREGAÇÃO DE VALOR E NOVO POSICIONAMENTO DA CACAUCULTURA AMAZÔNICA	91
RESUMO	91
ABSTRACT.....	92
A ECONOMIA CIRCULAR E O REFERENCIAL DO PIRARUCU	92
CONTEXTO E SOBERANIA COMERCIAL: A GEOPOLÍTICA DA ABUNDÂNCIA AMAZÔNICA.....	93
O MODELO DO PIRARUCU PARA O CACAU: BIOECONOMIA CIRCULAR E VERTICALIZAÇÃO	94
FRAMEWORK DE INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS: MUITO ALÉM DO MARKETING	96
CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS.....	99
SISTEMA INTEGRADO DRIS-CND-PRA PARA DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL E AJUSTE DA ADUBAÇÃO EM MANGUEIRA 'TOMMY ATKINS'	100
RESUMO	100
ABSTRACT.....	101
INTRODUÇÃO	101
ABORDAGEM METODOLÓGICA	102
DIAGNOSE NUTRICIONAL	103
POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO	106
IMPACTOS NA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO	107
CONCLUSÕES.....	108
REFERÊNCIAS.....	108
CINCO ANOS DA UMIPI CACAU EM RONDÔNIA: RESULTADOS DA COOPERAÇÃO EMBRAPA–CEPLAC PARA PESQUISA, INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA CADEIA CACAUEIRA.....	110
RESUMO	110
ABSTRACT.....	111
CONCEPÇÃO INSTITUCIONAL DA UMIPI CACAU	112

EVOLUÇÃO DA UMIPI CACAU EM RONDÔNIA	113
ATIVOS E RESULTADOS ESTRUTURANTES DA COOPERAÇÃO EM RONDÔNIA	114
<i>Conservação, organização e uso do germoplasma</i>	114
<i>Manejo nutricional e produtos tecnológicos</i>	115
<i>Sistemas produtivos e validação regional</i>	115
<i>Recursos humanos, redes e capacidade operacional</i>	116
PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA ASSOCIADA À UMIPI CACAU EM RONDÔNIA E À AGENDA REGIONAL DE PESQUISA EM CACAU	116
CAPTAÇÃO DE RECURSOS EXTERNOS E CONSOLIDAÇÃO DA CARTEIRA DE PD&I EM CACAU.....	119
ARTICULAÇÃO INSTITUCIONAL, DIFUSÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA E VISIBILIDADE PÚBLICA.....	121
<i>Repercussão na mídia institucional</i>	122
ARTICULAÇÃO INSTITUCIONAL E GOVERNANÇA TERRITORIAL DA CACAUCULTURA	122
CONSOLIDAÇÃO INSTITUCIONAL E PERSPECTIVAS PARA O NOVO CICLO DA UMIPI CACAU	123
CONCLUSÃO	124
REFERÊNCIAS	125
ECOLOGICAL POTENTIAL AND KNOWLEDGE GAPS OF SAMANEA TUBULOSA (BORDÃO-DE-VELHO) FOR SILVOPASTORAL SYSTEM IN THE AMAZON BIOME	129
RESUMO	129
ABSTRACT	130
INTRODUCTION	131
METHODOLOGY	132
SILVICULTURAL CHARACTERISTICS AND ECOLOGICAL INTERACTIONS	133
SOIL IMPROVEMENT AND NITROGEN DYNAMICS	134
FORAGE PRODUCTION AND TREE–LIVESTOCK INTERACTIONS	135
POTENTIAL TOXICOLOGICAL RISKS.....	136
IMPLICATIONS FOR SYSTEM MANAGEMENT AND FUTURE RESEARCH PRIORITIES	137
CONCLUSIONS.....	139
DESAFIOS AGRONÔMICOS NA DOMESTICAÇÃO DA CASTANHEIRA-DA-AMAZÔNIA (BERTHOLLETIA EXCELSA BONPL.)	145
RESUMO	145
ABSTRACT	146
INTRODUÇÃO	146
BIOLOGIA REPRODUTIVA: INCOMPATIBILIDADE GENÉTICA E BAIXA EFICIÊNCIA	147
<i>Polinizadores: condição necessária, mas não suficiente</i>	148
<i>Desenho de pomares e melhoramento genético</i>	149
3. PERÍODO JUVENIL E ANTECIPAÇÃO DA PRODUÇÃO.....	149
PROPAGAÇÃO, PRODUÇÃO DE MUDAS E MELHORAMENTO GENÉTICO	149
ECOFISIOLOGIA, NUTRIÇÃO E SISTEMAS DE CULTIVO	151
FITOSSANIDADE.....	151
PRIORIDADES DE PESQUISA E INOVAÇÃO	153
CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
REFERÊNCIAS	154
IMPACTO DE DIFERENTES USOS DA TERRA NO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM CAMPO NOVO DE RONDÔNIA, RO	157
RESUMO	157
INTRODUÇÃO	159
OBJETIVOS	159
MÉTODO	159
RESULTADOS E DISCUSSÃO	160
CONCLUSÕES	160

REFERÊNCIAS.....	160
CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E BROMATOLÓGICAS DE PASTAGENS EM DIFERENTES	
SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO NO ESTADO DE RONDÔNIA	162
RESUMO	162
DIVERSIDADE FILOGENÉTICA DA MICROBIOTA DO SOLO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS DA	
AMAZÔNIA OCIDENTAL	164
RESUMO	164
SOBRE A SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO E O NÚCLEO REGIONAL NOROESTE ..	166
SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO.....	166
DIRETORIAS E QUADRO SOCIAL DO NÚCLEO REGIONAL NOROESTE	167
GESTÃO DE 2015 A 2017 — CONSTITUIÇÃO E ORGANIZAÇÃO INICIAL	168
GESTÃO DE 2017 A 2019 — PRIMEIRA SUCESSÃO DIRETIVA	168
GESTÃO DE 2019 A 2021 — CONTINUIDADE ADMINISTRATIVA E REPRESENTAÇÃO REGIONAL	168
REORGANIZAÇÃO INSTITUCIONAL DE 2020 A 2021	169
GESTÃO DE 2022 A 2025 — MODERNIZAÇÃO E AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE INSTITUCIONAL.....	169
GESTÃO DE 2026 A 2029 — DIRETORIA ATUAL.....	170
QUADRO SOCIAL ATUAL.....	171
III WORKSHOP DE CADEIAS DE PRODUÇÃO AGROFLORESTAIS PRIORITÁRIAS DA AMAZÔNIA	172
4 DE DEZEMBRO DE 2025.....	172
<i>Conferência Principal</i>	173
5 DE DEZEMBRO DE 2025.....	173
<i>Workshop: Tecnologias para Alta Produtividade do Cacaueiro Amazônico</i>	173
<i>Workshop: Inovação para o Agronegócio na Amazônia</i>	174
<i>Comissão Organizadora do III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia</i>	174



Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo
Núcleo Regional Noroeste

BIODIVERSIDADE DO GÊNERO *THEOBROMA*, SOBERANIA GENÉTICA E FRONTEIRAS BIOTECNOLÓGICAS NA AMAZÔNIA

BIODIVERSITY OF THE GENUS *THEOBROMA*, GENETIC SOVEREIGNTY, AND BIOTECHNOLOGICAL FRONTIERS IN THE AMAZON

Antonio Figueira.

Destaque: A diversidade do gênero Theobroma posiciona a Amazônia como território estratégico para conservação genética, inovação biotecnológica e construção de soberania científica e bioeconômica na cadeia do cacau.

Highlight: The diversity of the genus Theobroma positions the Amazon as a strategic territory for genetic conservation, biotechnological innovation, and scientific and bioeconomic sovereignty in the cacao value chain.

Resumo

Este capítulo analisa a biodiversidade do gênero *Theobroma* e sua importância estratégica para a Amazônia, articulando evidências biogeográficas, arqueológicas, taxonômicas, econômicas e conservacionistas. Parte-se do reconhecimento do Alto Amazonas como centro de origem e diversidade do cacauzeiro (*Theobroma cacao*), condição que confere à região relevância singular para a conservação de recursos genéticos, a segurança fitossanitária e a soberania biológica associada à cadeia do

cacau. O texto discute a necessidade de ampliar o enfoque para além de *T. cacao*, incorporando espécies silvestres e cultivadas do gênero como fontes de atributos químicos, fisiológicos, sensoriais e tecnológicos de interesse para a alimentação, a indústria cosmética, produtos funcionais e novos ingredientes da bioeconomia amazônica. Também são examinados os riscos de erosão genética, a vulnerabilidade das coleções vivas mantidas em campo, as limitações impostas pela recalcitrância das sementes e a necessidade de sistemas redundantes, descentralizados e integrados de conservação. Defende-se que a articulação entre conservação in situ e ex situ, monitoramento territorial, caracterização da diversidade e valorização econômica da biodiversidade constitui base essencial para fortalecer a posição da Amazônia na governança futura do cacau e de seus recursos genéticos.

Palavras-chave: Alto Amazonas; Recursos genéticos; Gênero *Theobroma*; Conservação in situ; Bioeconomia amazônica.

Abstract

This chapter examines the biodiversity of the genus *Theobroma* in the Amazon as a strategic asset for genetic conservation, bioeconomic development, and territorial sovereignty. It draws on biogeographic, archaeological, taxonomic, and conservation perspectives to highlight the Upper Amazon as a major center of origin and diversity for cacao (*Theobroma cacao*). This recognition has implications that extend beyond crop history, placing Amazonian countries, particularly Brazil, in a central position in the stewardship of cacao genetic resources. The chapter also broadens the discussion beyond cultivated cacao by addressing wild and cultivated *Theobroma* species with potential value for food systems, functional products, cosmetics, specialty ingredients, and future breeding efforts. Special attention is given to the vulnerability of field-based germplasm collections, the risk of genetic erosion, the biological constraints associated with recalcitrant seeds, and the need for decentralized and complementary conservation strategies. By integrating in situ and ex situ conservation, territorial monitoring, systematic characterization, and sustainable use of biodiversity, the chapter argues that Amazonian cacao should be understood not only as an agricultural commodity, but as part of a broader strategy for genetic sovereignty, scientific autonomy, and value-added bioeconomy.

Keywords: Upper Amazon; Genetic resources; *Theobroma* genus; In situ conservation; Amazonian bioeconomy.

Geopolítica e arqueologia da origem de *Theobroma cacao*

A compreensão do cacauzeiro (*Theobroma cacao*) apenas como commodity agrícola é insuficiente para abarcar sua relevância biológica, cultural, histórica e estratégica. A espécie deve ser considerada também como recurso genético de elevada importância

para a segurança alimentar, a conservação da biodiversidade e a soberania nacional, especialmente no contexto amazônico, onde se concentra uma parcela significativa de sua variabilidade natural.

Nessa perspectiva, evidências arqueológicas recentes têm contribuído para reexaminar a interpretação histórica sobre a origem e a domesticação do cacau. A identificação de vestígios químicos de teobromina em artefatos cerâmicos associados à cultura Mayo-Chinchipe-Marañón, datados de aproximadamente 5.500 anos atrás, fortalece a hipótese de que o centro de origem e de diversidade, e a domesticação inicial da espécie se localiza na bacia do Alto Amazonas, e não exclusivamente na Mesoamérica, como tradicionalmente sustentado em parte da historiografia. Essa região abrange porções territoriais do Brasil, Peru, Equador e Colômbia, configurando um espaço biogeográfico central para a evolução e a dispersão inicial do cacau.

Domesticação de *T. cacao*

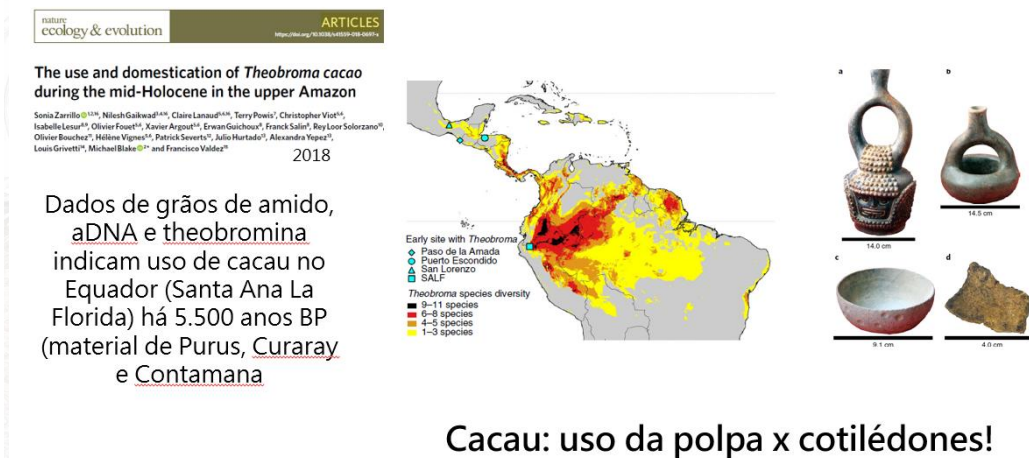


Figura 1. Vestígios químicos de teobromina em artefatos cerâmicos associados à cultura Mayo-Chinchipe-Marañón, datados de aproximadamente 5.500 anos, sugerem a domesticação e o uso do cacau no Equador. (Zarrillo et al., 2018)

A redefinição desse marco de origem ultrapassa o plano acadêmico e assume implicações geopolíticas relevantes. O reconhecimento da Amazônia como centro primário de diversidade do cacau reforça a posição estratégica dos países amazônicos, em especial do Brasil, na governança de recursos genéticos associados à espécie. A manutenção desse patrimônio biológico confere ao país uma base singular para ações de conservação, pesquisa, melhoramento e adaptação da cultura frente a mudanças climáticas e novas pressões fitossanitárias.

Origem de *T. cacao*

Biodiversity and Conservation (2024) 33:1009–1025
https://doi.org/10.1007/s10531-023-02777-7

ORIGINAL RESEARCH

Human influence on the distribution of cacao: insights from remote sensing and biogeography

Matheus Colli-Silva^{1,2} · James Edward Richardson^{3,4,5,6} · Antonio Figueira⁷
José Rubens Pirani¹

Emprega sensoriamento e uso da terra para investigar atividades antrópicas e distribuição de cacau

Regiões mais próximas à distribuição nativa exibem menor impacto humano

Sérias implicações em políticas de conservação, jurisdição e acesso aos recursos

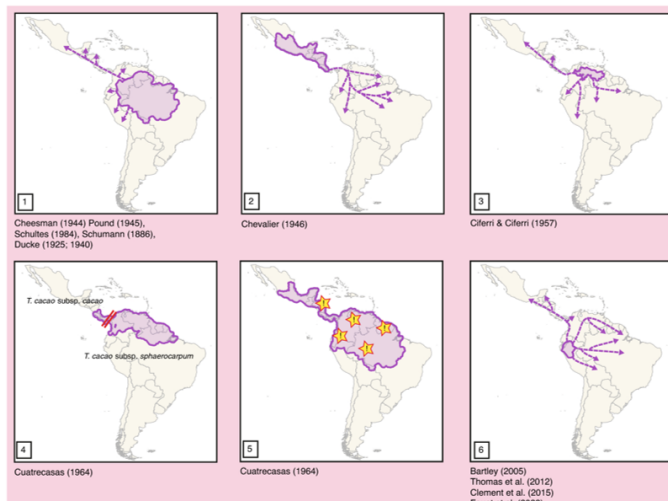


Figura 2. Hipóteses de distribuição original e expansão de *Theobroma cacao* baseadas em sensoriamento remoto e dados de herbários. (Colli-Silva et al., 2024).

Nesse contexto, a emergência de ameaças sanitárias como a monilíase, causada por *Moniliophthora roreri*, adquire significado ainda mais crítico. A proximidade de focos da doença em áreas fronteiriças da Amazônia ocidental impõe risco concreto à cacaucultura brasileira, especialmente diante da relativa concentração da produção comercial em um conjunto restrito de materiais clonais de elite. A limitada exposição prévia desses materiais à pressão desse patógeno, em condições brasileiras, amplia a incerteza quanto ao seu comportamento sanitário e reforça a necessidade de ampliar a base genética disponível, fortalecer estratégias preventivas e integrar conservação de recursos genéticos com segurança fitossanitária. Da mesma forma, a diversidade natural possui grande potencial, ainda não explorado, como fonte de resistência a outros patógenos e às ameaças associadas a estresses abióticos ligados às mudanças climáticas.

A análise da inovação biotecnológica na cadeia do cacau requer ampliar o enfoque para além de *T. cacao*, incorporando a diversidade do gênero *Theobroma* como fonte de atributos químicos, fisiológicos e tecnológicos com potencial de aplicação agrônoma e industrial. Nessa perspectiva, o conjunto de espécies do gênero pode ser compreendido como um repositório de variação genética e de compostos bioativos que amplia as possibilidades de uso econômico da biodiversidade amazônica, tanto para o desenvolvimento de novos produtos quanto para a identificação de características úteis ao melhoramento do cacaueiro.

Status da Diversidade de *T. cacao*

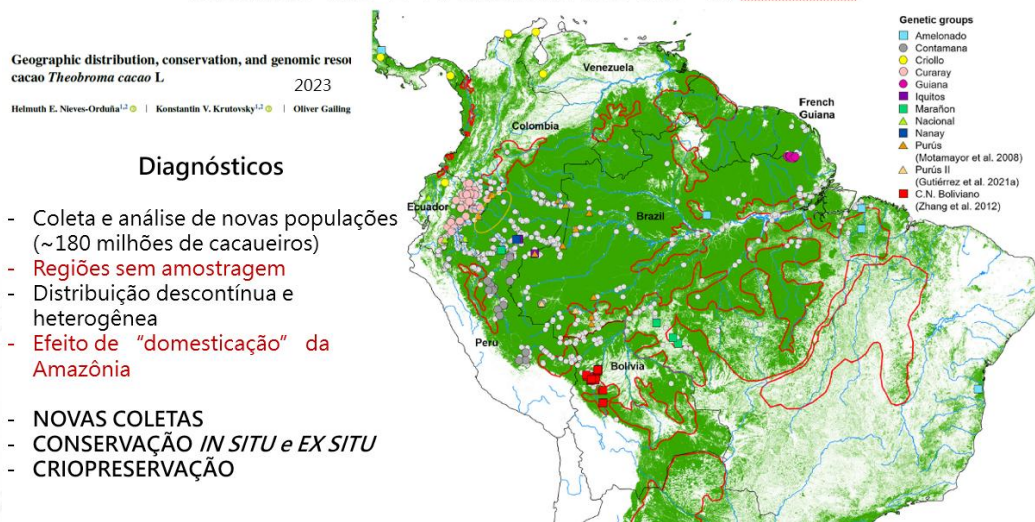


Figura 3. Status da diversidade genética reconhecida e desafios locais da conservação in situ e ex situ. (Nieves-Orduña et al., 2023)

Diversidade e potenciais do gênero *Theobroma*

Nesse contexto, destaca-se a atualização taxonômica que passou a incorporar espécies anteriormente classificadas no gênero *Herrania* ao gênero *Theobroma*, ampliando o conjunto de espécies reconhecidas e, consequentemente, o universo de recursos genéticos passíveis de investigação. Essa ampliação tem implicações diretas para a bioeconomia, ao reforçar a necessidade de caracterização sistemática de espécies silvestres e cultivadas, com foco em propriedades funcionais, perfil químico, potencial de processamento e possibilidades de geração de valor agregado.

Entre as espécies de maior relevância, *T. cacao* permanece como referência central, em razão de seu papel na indústria global do chocolate, doces e cosméticos. Sua manteiga apresenta propriedades físico-químicas decisivas para aplicações alimentares, especialmente pela relação entre composição lipídica e comportamento térmico, que confere características sensoriais específicas ao chocolate. Além disso, a espécie apresenta composição típica de alcaloides, como teobromina e cafeína, que contribuem para propriedades organolépticas e funcionais.

Filogenia de *Theobroma*

A phylogenetic framework to study desirable traits in the wild relatives of *Theobroma cacao* (Malvaceae)

Ana M. Bossa-Castro^{1,2}, Mathias Collado^{1,2}, José R. Pineda¹, Barbara A. Whitlock³, Laura T. Morales-Morales¹, Natalia Contreras-Ovati^{1,2}, Martha L. Cepeda-Hernández^{1,2}, Federico Di Palma^{1,2}, Martha Viveri¹, and James E. Richardson^{1,2,4}

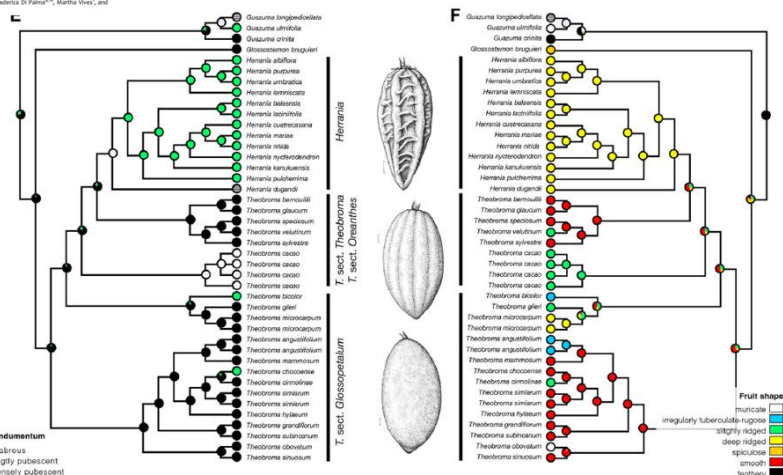


Figura 4. Revisão da filogenia de *Theobroma* e *Herrania*. (Bossa-Castro et al., 2024)

Theobroma grandiflorum (cupuaçu) destaca-se pelo elevado rendimento de polpa e por seu uso já consolidado na alimentação, além de aplicações potenciais em produtos funcionais e na indústria cosmética. Em contrapartida, suas sementes tendem a apresentar limitações quanto ao processamento industrial, aspecto que condiciona melhorias no seu aproveitamento, incluindo o desenvolvimento de sistemas fermentativos específicos, e direciona o foco para outros componentes do fruto.

Theobroma bicolor (mocambo) apresenta características de interesse para formulações alimentares diferenciadas, especialmente pela coloração clara das sementes e pelo potencial de uso em produtos com maior teor de fibras e perfis sensoriais específicos. Essa espécie pode ampliar alternativas para novos ingredientes e misturas, sobretudo em segmentos que demandam produtos com atributos nutricionais e funcionais.

Theobroma sylvestre é frequentemente associada à maior rusticidade e tolerância a estresses ambientais, característica relevante para programas de conservação e para prospecção de genes de adaptação. No plano químico, ressalta-se a presença de alcaloides alternativos, como a teacrina, com potencial de aplicação em produtos de maior valor agregado. Adicionalmente, a gordura de espécies silvestres do gênero pode apresentar perfis físico-químicos de interesse para aplicações cosméticas e para o desenvolvimento de ingredientes premium, a depender de suas propriedades de fusão e estabilidade.

Por fim, *Theobroma subincanum* (cupu) apresenta frutos menores, porém com perfil aromático marcante, o que amplia possibilidades de uso em segmentos especializados, incluindo alimentos e bebidas de maior valor, bem como aplicações em fragrâncias e

aromas. A caracterização química e sensorial dessas espécies, integrada a ferramentas moleculares e a estratégias de conservação, amplia o repertório de alternativas tecnológicas disponíveis para a Amazônia, tanto para inovação industrial quanto para o fortalecimento da base genética do cacaueteiro.

Espécies de *Theobroma* de ocorrência no Brasil

T. grandiflorum

T. subincanum

T. obovatum

T. microcarpum

T. bicolor

T. cacao

T. mariae

T. speciosum



Figura 5. Espécies de *Theobroma* de ocorrência silvestre no Brasil. (Fonte: C.R. Souza Silva)

Vulnerabilidade, erosão genética e o imperativo da conservação

A ampla diversidade genética do gênero *Theobroma* somente adquire valor estratégico efetivo quando acompanhada de estruturas robustas de conservação e caracterização dos atributos disponíveis. Sem esse suporte, o patrimônio genético associado ao cacaueteiro e às espécies relacionadas permanece sujeito a processos de erosão genética, perda de variabilidade e comprometimento irreversível de recursos essenciais para o melhoramento, a adaptação climática e a defesa fitossanitária da cadeia produtiva.

Nesse contexto, a manutenção de coleções vivas em campo, embora indispensável para caracterização morfológica, avaliação agrônômica e uso direto dos acessos, apresenta elevada vulnerabilidade. Bancos de germoplasma estabelecidos ex situ estão permanentemente expostos a eventos sanitários, climáticos e operacionais que podem comprometer, em curto intervalo de tempo, conjuntos inteiros de materiais genéticos. Episódios recentes envolvendo surtos de doenças em coleções estratégicas reforçam que a concentração do patrimônio genético em poucos polos de conservação

representa risco estrutural significativo.

Diante dessa limitação, torna-se necessário fortalecer sistemas de redundância e descentralização, especialmente na própria Amazônia, onde se encontra parcela central da variabilidade do gênero. Coleções associadas ao Cacao Amazônico Brasileiro, distribuídas em diferentes localidades, assumem importância estratégica nesse arranjo, tanto por abrigarem materiais historicamente coletados em áreas de elevada diversidade quanto por constituírem base para ações futuras de caracterização, conservação e uso biotecnológico.

Um desafio adicional decorre da própria fisiologia das sementes do cacaueiro, classificadas como recalcitrantes. Essas sementes não toleram dessecação intensa nem armazenamento sob congelamento convencional, o que inviabiliza sua conservação por métodos tradicionalmente utilizados em bancos de sementes ortodoxas. Como consequência, a manutenção do germoplasma exige estruturas vivas, renovação constante e custos elevados de manejo, ampliando a complexidade logística e financeira da conservação de longo prazo.

Novas coletas de *Theobroma* em áreas prioritárias e delimitação taxonômica das espécies face as pressões ambientais

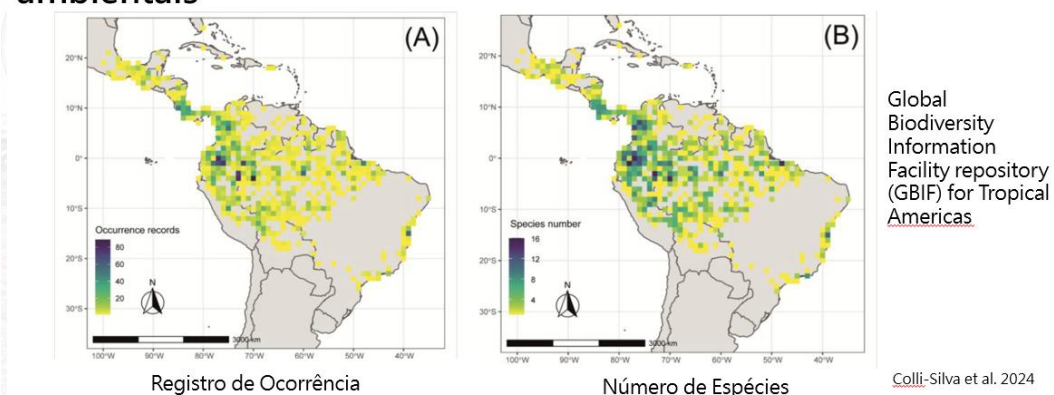


Figura 6. Uso de informações de sensoriamento remoto e registros de ocorrência, aliado a visitas de campo, para direcionar o estabelecimento de áreas prioritárias de amostragem e conservação in situ. (Colli-Silva et al., 2023)

Por essa razão, a conservação de recursos genéticos do cacao e de espécies afins requer abordagem integrada, combinando estratégias ex situ e in situ. A proteção de populações naturais em seus próprios ambientes de ocorrência permite preservar não apenas os genótipos atualmente existentes, mas também os processos evolutivos que continuam operando sobre eles, incluindo adaptação a novas condições ambientais e a pressões bióticas emergentes. Nessa perspectiva, ferramentas de sensoriamento remoto, georreferenciamento e monitoramento por satélites e drones podem ampliar a capacidade de localizar, delimitar e acompanhar áreas prioritárias para conservação, fortalecendo a Amazônia como espaço estratégico para manutenção dinâmica da

diversidade genética do gênero *Theobroma*.

Estratégias de conservação do gênero Theobroma

A análise desenvolvida neste capítulo evidencia que a cacauicultura amazônica não pode ser compreendida apenas como atividade agrícola orientada à produção de matéria-prima, mas como sistema estratégico ancorado em biodiversidade, recursos genéticos e capacidade de inovação. O reconhecimento do Alto Amazonas como centro de origem e diversidade do cacauete reforça a centralidade geopolítica da Amazônia na governança global da espécie e atribui ao Brasil responsabilidade singular na conservação, no uso sustentável e na valorização desse patrimônio biológico.

Nesse contexto, a diversidade do gênero *Theobroma* amplia substancialmente o horizonte de possibilidades para a bioeconomia amazônica. Espécies silvestres e cultivadas reúnem atributos químicos, fisiológicos e tecnológicos que extrapolam o uso tradicional do cacau e podem sustentar novas aplicações alimentares, funcionais, cosméticas e industriais. A caracterização sistemática dessa diversidade, integrada a abordagens moleculares e sensoriais, constitui etapa essencial tanto para a ampliação da base econômica regional quanto para o fortalecimento do melhoramento genético do cacauete.

Entretanto, o valor estratégico dessa diversidade depende da existência de políticas e estruturas efetivas de conservação. A vulnerabilidade das coleções ex situ, a recalcitrância das sementes e o risco crescente de erosão genética demonstram que a manutenção de recursos genéticos não pode permanecer baseada em arranjos centralizados e frágeis. Torna-se necessário estruturar sistemas redundantes e descentralizados de conservação, com forte base amazônica, articulando coleções vivas, monitoramento territorial e proteção de populações naturais em seus ambientes de ocorrência.

A integração entre conservação in situ e ex situ emerge, assim, como requisito para assegurar não apenas a preservação dos genótipos atualmente disponíveis, mas também a continuidade dos processos evolutivos que sustentam adaptação e resiliência frente a mudanças climáticas e ameaças fitossanitárias. Nesse cenário, a monilíase representa um alerta concreto de que a segurança da cadeia produtiva depende diretamente da amplitude da base genética disponível e da capacidade de antecipar respostas tecnológicas.

Considerações finais

Soberania genética, conservação da biodiversidade e biotecnologia constituem dimensões inseparáveis de uma estratégia amazônica para o futuro do cacau. O fortalecimento dessa agenda requer investimento continuado em pesquisa,

conservação e desenvolvimento tecnológico, de modo que a Amazônia deixe de ser apenas repositório de diversidade e passe a ocupar posição ativa na geração de conhecimento, na proteção de seus recursos genéticos e na construção de uma bioeconomia fundada em autonomia científica e valor agregado territorial.

Referências

Bossa-Castro, A. M., Colli-Silva, M., Pirani, J. R., Whitlock, B. A., Morales Mancera, L. T., Contreras-Ortiz, N., Cepeda-Hernández, M. L., Palma, F. D., Vives, M., & Richardson, J. E. (2024). A phylogenetic framework to study desirable traits in the wild relatives of *Theobroma cacao* (Malvaceae). *Journal of Systematics and Evolution*, 62, 963-978. <https://doi.org/10.1111/jse.13045>

Colli-Silva, M., Richardson, J. E., & Pirani, J. R. (2023). A taxonomic dataset of preserved specimen occurrences of *Theobroma* and *Herrania* (Malvaceae, Byttnerioideae) stored in 2020. *Biodiversity Data Journal*, 11, e99646. <https://doi.org/10.3897/BDJ.11.e99646>

Colli-Silva, M., Richardson, J.E., Figueira, A., Pirani, J.R. (2024). Human influence on the distribution of cacao: insights from remote sensing and biogeography. *Biodiversity Conservation* 33, 1009–1025 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02777-7>

Nieves-Orduña, H. E., Krutovsky, K. V., & Gailing, O. (2023). Geographic distribution, conservation, and genomic resources of cacao *Theobroma cacao* L. *Crop Science*, 63, 1750-1778. <https://doi.org/10.1002/csc2.20959>

Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., Fouet, O., Argout, X., Guichoux, E., Salin, F., Solorzano, R. L., Bouchez, O., Vignes, H., Severts, P., Hurtado, J., Yepez, A., Grivetti, L., Blake, M., & Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*, 2, 1879-1888. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x>.

A BARREIRA INVISÍVEL DA PRODUTIVIDADE: A POLINIZAÇÃO COMO PILAR FUNDAMENTAL DA CACAUICULTURA AMAZÔNICA

THE INVISIBLE BARRIER TO PRODUCTIVITY: POLLINATION AS A FUNDAMENTAL PILLAR OF AMAZONIAN CACAO PRODUCTION

Márcia Motta Maués – Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA; Rosinaira Gonzaga de Souza – Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA; Emanuela Silva do Nascimento – Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-graduação em Agricultras Amazônicas, Belém, PA; Gleycon Vellozo da Silva, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Manaus, AM e Rayane Sales Gomes, Museu Paraense Emílio Goeldi, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Evolução, Belém, PA

Destaque: A produtividade do cacauzeiro depende da eficiência da polinização, que deve ser incorporada ao manejo agrônomo como componente essencial para elevar o pegamento de frutos, a estabilidade produtiva e a sustentabilidade da cacauicultura amazônica.

Highlight: Cacao productivity depends on pollination efficiency, which must be incorporated into agronomic management as a key component for increasing fruit set, productive stability, and the sustainability of Amazonian cacao production..

Resumo

A produtividade do cacauzeiro na Amazônia depende fortemente da polinização, porém sua relevância ainda é insuficientemente reconhecida. Este capítulo analisa a polinização como um dos principais fatores determinantes da produtividade do cacauzeiro na Amazônia, destacando seu papel como componente biológico frequentemente subestimado nos sistemas de produção. A partir da biologia floral de *Theobroma cacao* L. e dos registros da literatura especializada, discute-se como o arranjo dos sistemas de cultivo influencia a composição e a funcionalidade da entomofauna

polinizadora, destacando-se os principais grupos taxonômicos: as famílias Ceratopogonidae e Cecidomyiidae (micromoscas e maruins), as ordens Thysanoptera (tripes), Heteroptera (pulgões) e Hymenoptera (formigas e vespas). Argumenta-se que a eficiência reprodutiva do cacauero depende não apenas da presença de flores e do potencial genético da lavoura, mas também da manutenção de condições ecológicas e manejo agrônomo favoráveis à presença e atividade dos polinizadores. Nesse contexto, práticas que podem afetar positiva ou negativamente os diminutos polinizadores do cacau, como o controle da sombra, o manejo da serrapilheira, da biomassa em decomposição e do microclima do sistema produtivo, assim como o uso criterioso de insumos químicos (fertilizantes e agrotóxicos), passam a integrar o conjunto de práticas indispensáveis à intensificação sustentável da cacauicultura. Sustenta-se, por fim, que o avanço produtivo da cultura requer a incorporação da polinização ao núcleo do manejo agrônomo, como requisito para elevar a formação de frutos e viabilizar o sucesso reprodutivo e a alta performance das lavouras cacauíferas..

Palavras-chave: Polinizadores; *Theobroma cacao*; Ceratopogonidae; Biologia Floral; Projeto PolinizaCacau.

Abstract

Cacao productivity in the Amazon depends strongly on pollination, yet its importance remains insufficiently recognized. This chapter examines pollination as one of the main determinants of cacao productivity in the Amazon, emphasizing its role as a biological component that is frequently underestimated in production systems. Based on the floral biology of *Theobroma cacao* L. and evidence reported in the specialized literature, the chapter discusses how cropping-system design influences the composition and functional role of the pollinating entomofauna, with emphasis on the main taxonomic groups: the families Ceratopogonidae and Cecidomyiidae (midges and minute flies), and the orders Thysanoptera (thrips), Heteroptera (aphids), and Hymenoptera (ants and wasps). It is argued that the reproductive efficiency of cacao depends not only on flower availability and the genetic potential of the crop, but also on maintaining ecological conditions and agronomic practices that favor the presence and activity of pollinators. In this context, practices that may positively or negatively affect the minute pollinators of cacao, such as shade management, litter management, decomposing biomass, and regulation of the production-system microclimate, as well as the judicious use of chemical inputs, including fertilizers and pesticides, become integral components of the practices required for the sustainable intensification of cacao production. Finally, it is argued that further gains in cacao productivity require the incorporation of pollination into the core of agronomic management as a prerequisite for increasing fruit set and supporting reproductive success and high performance in cacao plantations.

Keywords: Pollination; *Theobroma cacao*; Pollinators; Ceratopogonidae; Agroecological management; Amazonian cacao production.

Contextualização: por que se preocupar com a polinização?

A polinização é um serviço ecossistêmico essencial para a agricultura, pois 75% dos cultivos agroalimentares, dependem em diferentes níveis, de animais polinizadores e fundamental para a produtividade do cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) na Amazônia, uma vez que o sucesso reprodutivo da cultura tem elevada dependência da transferência de pólen realizada principalmente por pequenos dípteros da família Ceratopogonidae e outros diminutos insetos visitantes florais (Torquato et al. 2025). Apesar de sua relevância para o sucesso da polinização, fertilização e formação de frutos, sementes e da estabilidade da produção, os serviços de polinização ainda permanecem subvalorizados nos sistemas produtivos de cacau, especialmente em contextos de intensificação agrícola e simplificação da paisagem (Klein et al., 2007; Toledo-Hernández et al., 2017). O Projeto PolinizaCacau (CNPq 401502/2022-8) está produzindo indicadores técnicos quanto às limitações para o aumento da produtividade do cacau na região amazônica, onde a manutenção da biodiversidade é decisiva para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

O reposicionamento estratégico da cadeia

A cacaucultura amazônica atravessa um processo de reestruturação técnica e conceitual, impulsionado pela necessidade de ampliar a eficiência produtiva, a resiliência dos agroecossistemas e a sustentabilidade da produção em bases cientificamente orientadas. Historicamente marcada por sistemas de baixa intensidade tecnológica e elevada dependência de processos ecológicos pouco manejados, a produção de cacau na Amazônia passa a demandar modelos de manejo mais integrados, fundamentados na articulação entre inovação agronômica, pesquisa aplicada e compreensão funcional dos serviços ecossistêmicos que sustentam a produtividade da cultura (Schroth & Ruf, 2014; Wanger et al., 2022).

Nesse contexto, o cultivo do cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) deixa de ser conduzido sob uma lógica predominantemente extrativista ou de baixa intervenção e passa a incorporar estratégias associadas à intensificação sustentável da produção, incluindo melhoramento genético, manejo nutricional, controle fitossanitário, regulação microclimática e conservação da biodiversidade funcional (Tschardt et al., 2011; Niether et al., 2020). Apesar dos avanços expressivos alcançados nas últimas décadas nessas áreas, um dos componentes biológicos centrais da produtividade do cacaueiro permaneceu relativamente marginal nas estratégias de manejo agrônomo: a polinização.

A polinização constitui um serviço ecossistêmico indispensável para a fecundação

floral, formação de frutos e expressão do potencial produtivo do cacaueiro, especialmente em materiais genéticos autoincompatíveis, cuja produção depende diretamente da transferência eficiente de pólen entre indivíduos compatíveis (Young, 1982; Toledo-Hernández et al., 2017). Entretanto, em muitos sistemas produtivos, os processos reprodutivos mediados por polinizadores continuam sendo tratados como mecanismos espontaneamente estáveis no ambiente de cultivo, desconsiderando a forte influência exercida pelas condições microclimáticas, estrutura da paisagem, disponibilidade de habitats e manutenção da biodiversidade de insetos polinizadores (Groeneveld et al., 2010; Forbes & Northfield, 2017).

Essa dissociação entre o avanço tecnológico dos demais componentes do sistema produtivo e a limitada incorporação da polinização ao manejo agrônomico configura um importante entrave ao aumento da produtividade da cultura. Sob essa perspectiva, a polinização deixa de ser compreendida apenas como um fenômeno ecológico associado à biologia floral do cacaueiro e passa a ser reconhecida como um dos principais fatores limitantes da produção agrícola. Sua baixa inserção nas recomendações técnicas contrasta com seu papel decisivo na conversão do potencial floral em frutificação efetiva, consolidando-se como um gargalo central para a obtenção de sistemas de alta performance e maior estabilidade produtiva na cacaucultura amazônica.

A biologia floral e a barreira quantitativa do cacaueiro

A flor do cacaueiro apresenta morfologia especializada que condiciona a reprodução à polinização por agentes bióticos (entomofilia), tornando a contribuição do vento irrelevante. Essa dependência decorre, sobretudo, de uma arquitetura floral que restringe a transferência de pólen sem a presença de um vetor e reduz a ocorrência de autopolinização espontânea.

Entre os principais elementos morfofuncionais (Figura 1), destacam-se: (a) sépalas que recobrem todo botão floral e permanecem após a abertura da flor; (b) as cógulas (pétalas modificadas), que alojam (c) os estames com anteras protegidas por uma estrutura do tipo capuz, limitando o acesso ao pólen; (d) os estaminoides, que circundam o (e) estigma em disposição vertical, formando uma “coroa” que atua como barreira física ao contato direto entre pólen e superfície estigmática (Jaramillo et al., 2024). Nessas condições, a polinização efetiva requer a atuação de insetos de dimensões milimétricas, capazes de penetrar nas cógulas, aderir ao pólen e, em seguida, transpor o anel de estaminoides para depositá-lo no estigma.

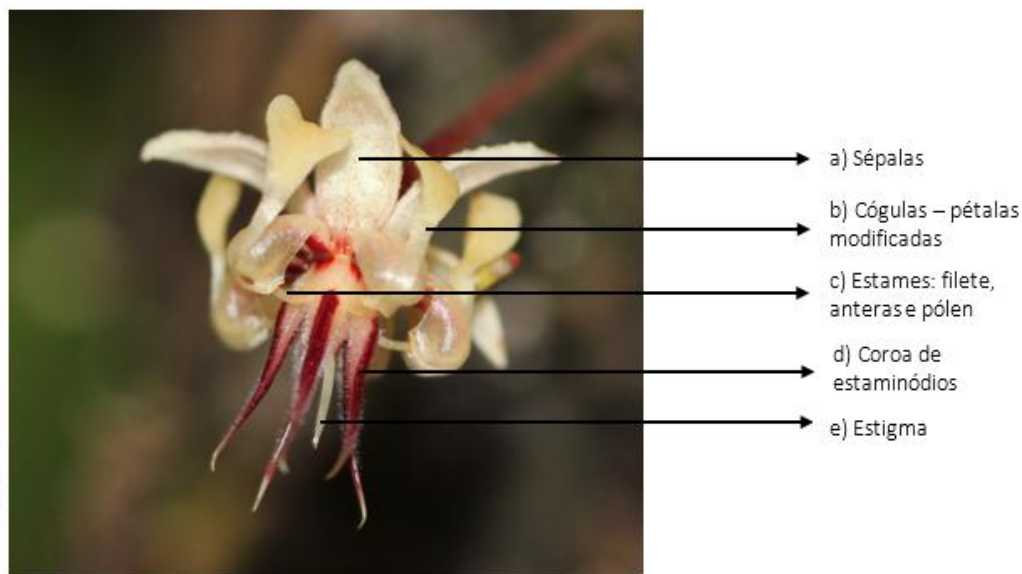


Figura 1. Flor do cacaueiro com seus elementos morfofuncionais. Foto: Márcia Maués

O cacaueiro, como muitas espécies arbóreas tropicais, tem elevada intensidade de floração, podendo produzir dezenas de milhares de flores anualmente em plantas adultas, frequentemente estimadas em até 100.000 flores por indivíduo ao longo de um ciclo produtivo. Contudo, apenas uma fração extremamente reduzida dessas flores origina frutos maduros, sendo comum a ocorrência de taxas naturais de conversão flor/fruto (fruit set) inferiores a 1%, frequentemente próximas de 0,1% (Young, 1982; Falque et al., 1995). Esse padrão evidencia que a elevada produção floral não se traduz automaticamente em sucesso reprodutivo, uma vez que a frutificação depende de limitações fisiológicas, genéticas e ecológicas associadas, sobretudo, à eficiência da polinização e ao desenvolvimento inicial dos frutos (Lander et al., 2025).

A fecundação do cacaueiro é fortemente condicionada pela quantidade de pólen depositada no estigma, de modo que o sucesso do desenvolvimento do fruto depende não apenas da ocorrência da polinização, mas também da intensidade da deposição polínica. Estudos clássicos demonstram que baixos níveis de deposição de grãos de pólen estão associados ao aumento da taxa de abortamento fisiológico dos frutos jovens, enquanto deposições de, no mínimo, 40 grãos de pólen viáveis e compatíveis são necessários para assegurar o desenvolvimento inicial do fruto (Falque et al., 1995). Em contrapartida, deposições mais elevadas, próximas de algumas centenas de grãos de pólen — aproximadamente 200 a 300 grãos — tendem a maximizar o número de óvulos fecundados e, conseqüentemente, o número de sementes por fruto, embora incrementos superiores não resultem necessariamente em aumentos proporcionais da produtividade, podendo representar maior custo fisiológico para a planta, devido à intensificação da competição entre os tubos polínicos emitidos na germinação do

pólen para conduzir as células germinativas até os óvulos (Falque et al., 1995).

Além da quantidade de pólen e sua compatibilidade (o pólen precisa vir de outra planta, em função da autoincompatibilidade), a fecundação do cacau também é condicionada por uma janela temporal relativamente restrita de receptividade estigmática. Estudos de biologia floral indicam que o estigma apresenta maior receptividade durante o período matutino, especialmente entre as primeiras horas da manhã e aproximadamente 10h00, intervalo no qual são observadas maior hidratação dos tecidos estigmáticos, maior produção de exsudatos e condições mais favoráveis à adesão, germinação e crescimento do tubo polínico (Soria, 1981; Young, 1986; Jaramillo et al. 2024). Esse sincronismo temporal entre antese floral, receptividade estigmática e atividade dos insetos polinizadores constitui um componente crítico para o sucesso reprodutivo da cultura. Dessa forma, práticas de manejo capazes de alterar o microclima, a disponibilidade de polinizadores ou a dinâmica de visitação floral devem considerar esse período crítico, uma vez que interferências nesse intervalo podem comprometer significativamente a eficiência da polinização e, consequentemente, o pegamento de frutos.

Projeto Poliniza Cacau: a dinâmica multiespécie e a arquitetura do sistema

O projeto Poliniza Cacau (Investigando o papel dos polinizadores nativos e de diferentes práticas de manejo sobre a produção de cacau na Amazônia CNPq 401502/2022-8) está investigando a composição da entomofauna associada à polinização do cacau em diferentes tipos de cultivo e em áreas de extrativismo e agrofloresta. Busca-se saber se o estabelecimento da lavoura não define apenas o arranjo das plantas, mas também o conjunto de condições ecológicas que favorecem ou restringem determinados grupos de insetos polinizadores. Em termos práticos, o projeto pretende responder se a implantação do sistema de produção do cacau em seus diferentes arranjos, corresponde, também, à construção de um habitat capaz de selecionar quais organismos irão ocupar a área e atuar no processo de polinização.

Com base nessa abordagem, foram distinguidos arranjos de cultivo e/ou coleta extrativista, a saber: monocultivo (pleno sol), consórcio com açaí (*Euterpe oleracea*), sistema agroflorestal (SAF) biodiverso (com três plantas além do cacau), e ainda as áreas de floresta com cacau nativo e/ou enriquecidas com cacau (agrofloresta).

Resultados iniciais indicam que as áreas de cacau nativo extrativista, representado por um estudo de caso de Manicoré (AM), tem entomofauna fortemente dominada por insetos da família Cecidomyiidae. A manutenção de ambiente florestal mais sombreado, úmido e pouco alterado favorece a ocorrência desses microdípteros e sustenta condições microclimáticas compatíveis com sua atividade (Gleycon Veloso, informação pessoal).

No Sistema Agroflorestal (SAF) biodiverso, exemplificado pelo caso de Tomé-

Açu (PA), o principal atributo é a elevada resiliência ecológica decorrente da diversificação de espécies e estratos vegetais. O consórcio com culturas como açaí, pimenta-do-reino e espécies madeireiras amplia a heterogeneidade ambiental e favorece a coexistência de diferentes grupos de insetos associados à polinização. Nesse contexto, observa-se a ocorrência conjunta de representantes de Ceratopogonidae, tradicionalmente reconhecidos como importantes polinizadores do cacauero (figura 2), além de Thysanoptera, Formicidae, Aphididae e Cecidomyiidae (Nascimento, 2026). Essa diversidade funcional poderia conferir maior estabilidade ao serviço de polinização, uma vez que a redução a um grupo, pode ser parcialmente compensada pela atuação de outros.



Figura 2. Visitantes florais (Ceratopogonidae e Cecidomyiidae) na flor do cacauero. Foto: César Favacho

Diretrizes de manejo: foco no polinizador

A incorporação da polinização ao manejo agrônômico do cacauero implica reconhecer o sistema de cultivo não apenas como unidade de produção agrícola, mas também como ambiente funcional para a manutenção da entomofauna polinizadora. Os principais agentes polinizadores do cacauero pertencem à família Ceratopogonidae (Diptera), especialmente espécies do gênero *Forcipomyia*, além de outros microdípteros associados a ambientes úmidos e ricos em matéria orgânica em decomposição (Young, 1982; Groeneveld et al., 2010). A ecologia desses insetos está diretamente relacionada à disponibilidade de substratos orgânicos, elevada umidade relativa e condições microclimáticas proporcionadas pelo sombreamento, fatores que condicionam o desenvolvimento das fases imaturas e a persistência das populações de polinizadores no agroecossistema (Toledo-Hernández et al., 2017; Forbes & Northfield., 2017).

Nesse contexto, o manejo do solo e da biomassa assume papel central na sustentação dos serviços de polinização. A manutenção da serrapilheira constitui uma

das principais estratégias para conservação de habitats larvais, uma vez que folhas em decomposição, cascas de frutos e demais resíduos orgânicos favorecem a retenção de umidade e a formação de microambientes adequados ao desenvolvimento de larvas de microdípteros polinizadores (Groeneveld et al., 2010). A remoção sistemática dessa camada orgânica pode reduzir significativamente a disponibilidade de sítios reprodutivos, comprometendo a abundância local de polinizadores e, consequentemente, a eficiência da fecundação floral. Além disso, a serrapilheira exerce funções ecossistêmicas complementares, como regulação térmica do solo, ciclagem de nutrientes e manutenção da atividade microbiológica, elementos essenciais para a estabilidade ecológica dos sistemas agroflorestais de cacau (T'scharntke et al., 2011; Nieder et al. 2020).

Outra prática de relevância agrônômica é o manejo estratégico da biomassa vegetal, particularmente por meio da utilização de pseudocaules de bananeira dispostos sobre o solo. Estudos demonstram que tecidos vegetais em decomposição lenta podem funcionar como substratos favoráveis à oviposição e ao desenvolvimento larval de Ceratopogonidae, especialmente em períodos de menor disponibilidade hídrica (Young, 1986; Forbes & Northfield, 2017). A decomposição gradual desse material promove a formação de ambientes úmidos e sombreados, capazes de atuar como criadouros temporários para populações de polinizadores, contribuindo para a manutenção da atividade de visitação floral durante a estação seca, quando as limitações microclimáticas tendem a reduzir a abundância desses insetos.

Paralelamente, a conservação da entomofauna polinizadora requer elevado rigor no manejo fitossanitário da lavoura. O uso indiscriminado de inseticidas de amplo espectro é reconhecido como um dos principais fatores de impacto negativo sobre polinizadores em sistemas agrícolas tropicais, podendo reduzir drasticamente populações de microdípteros e outros visitantes florais associados ao cacauero (Klein et al., 2007; Toledo-Hernández et al., 2017). Esses efeitos tornam-se particularmente críticos durante o período de floração, quando o sucesso reprodutivo da cultura depende diretamente da atividade dos polinizadores. Em razão disso, a literatura especializada recomenda a adoção de estratégias de manejo integrado de pragas baseadas em controle biológico, bioinsumos e moléculas de maior seletividade ecológica, capazes de compatibilizar a proteção fitossanitária com a conservação da biodiversidade funcional (Nicholls & Altieri, 2013). A sincronização das práticas de manejo com os períodos de maior atividade floral e de visitação dos polinizadores constitui, portanto, um componente essencial para a manutenção da eficiência reprodutiva e da sustentabilidade produtiva da cacaucultura amazônica.

Conclusões

A produtividade do cacauero é condicionada por limites biológicos que não podem ser superados exclusivamente pelo incremento de insumos ou pela intensificação

convencional do manejo agrônomo. Ainda que práticas como adubação, irrigação e melhoramento genético ampliem o potencial produtivo das plantas, sua efetiva conversão em frutos depende diretamente da eficiência da polinização.

A fecundação floral do cacaueiro requer sincronismo entre receptividade estigmática, deposição adequada de pólen viável e atividade da entomofauna polinizadora. Assim, a manutenção de populações funcionalmente ativas de micromoscas e outros insetos associados torna-se condição indispensável para elevar o pegamento de frutos e aumentar a estabilidade produtiva da lavoura.

Nesse contexto, a cacauicultura amazônica de alto sucesso reprodutivo depende da integração entre intensificação tecnológica e conservação dos processos ecológicos que sustentam a reprodução da cultura. A polinização deixa, portanto, de ocupar posição periférica no sistema produtivo e passa a constituir elemento central da sustentabilidade e da produtividade da cadeia do cacau.

Referências

Falque, M.; Vincent, A.; Vaissière, B. E.; Eskes, A. B. 1995. Effect of pollination intensity on fruit and seed set in cacao (*Theobroma cacao* L.). Sexual Plant Reproduction, 8: 354–360.

Forbes, S. J. & Northfield, T. D. 2017. Increased pollinator habitat enhances cacao fruit set and predator conservation. Ecological Applications, 27(3):887–899.

Groeneveld, J. H.; Tschardtke, T.; Moser, G.; Clough, Y. Experimental evidence for stronger cacao yield limitation by pollination than by plant resources. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 12(3):183–191

Jaramillo, M. A., Reyes-Palencia, J., and Jimenez, P. (2024). Floral biology and flower visitors of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the upper Magdalena Valley, Colombia. Flora 313, 152480. doi: 10.1016/j.flora.2024.152480

Klein, A. M.; Vaissière, B. E.; Cane, J. H.; Steffan-Dewenter, I.; Cunningham, S. A.; Kremen, C.; Tschardtke, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B, 274: 303–313.

Lander, T. A., Atta-Boateng, A., Toledo-Hernández, M. et al. 2025. Global chocolate supply is limited by low pollination and high temperatures. Communications, Earth & Environment, 6, 97.

Nascimento, E. S. 2026. Quem cultiva e quem poliniza o cacaueiro? Caracterização sócio demográfica dos agricultores e diversidade de visitantes florais nos Sistemas Agroflorestais de Tomé-Açu/PA. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Agriculturas Amazônicas, UFPA. Belém.

Nicholls, C. I. & Altieri, M. A. 2013. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. Agronomy for Sustainable Development, 33: 257–274.

Niether, W.; Jacobi, J.; Blaser, W. J.; Andres, C. & Armengot, L. 2020. Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15: 104085.

Projeto PolinizaCacau. 2021. Investigando o papel dos polinizadores nativos e de diferentes práticas de manejo sobre a produção de cacau na Amazônia. CNPq 401502/2022-8

Schroth, G. & Ruf, F. 2014. Farmer strategies for tree crop diversification in the humid tropics: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34: 139–154.

Soria, S. J.; Chapman, R. K. & Knok, J. 1981. The floral biology of cacao, 1. Attractants and food substances for adult midges. *Revista Theobroma* 11 (1): 47 - 52

Toledo-Hernández, M.; Wanger, T. C. & Tscharntke, T. 2017. Neglected pollinators: Can enhanced pollination services improve cocoa yields? A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247: 137–148.

Torquato, I.H.S., de Souza, R.G., Maués, M.M. and Castro, C.C. 2025. Flies and Cocoa: The Key to Global Chocolate Production. *Journal of Applied Entomology*, 149: 1513-1519.

Tscharntke, T.; Clough, Y.; Bhagwat, S. A.; Buchori, D.; Faust, H.; Hertel, D.; Hölscher, D.; Jührbandt, J.; Kessler, M.; Perfecto, I.; Scherber, C.; Schroth, G.; Veldkamp, E. & Wanger, T.C. 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. *Journal of Applied Ecology*, 48: 619-629.

Young, A. M. 1982. Population biology of tropical insects. Plenum Press. 511p.

Young, A. M. 1986. The chocolate tree: a natural history of cacao. Smithsonian Institution Press. 240p.



Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo
Núcleo Regional Noroeste

TÉCNICAS BIOTECNOLÓGICAS NO MELHORAMENTO DO CACAUEIRO: UMA ABORDAGEM CIENTÍFICA PARA A SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO

BIOTECHNOLOGICAL TECHNIQUES IN CACAO BREEDING: A SCIENTIFIC APPROACH TO PRODUCTION SUSTAINABILITY

Vanderley Borges dos Santos – Universidade Federal do Acre (UFAC), Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Rio Branco, AC; Norma Giovanna da Silva Pereira Plese – Universidade Federal do Acre (UFAC), Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede Bionorte, Rio Branco, AC; Erlangela Rocha Viga – Universidade Federal do Acre (UFAC), Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Rio Branco, AC e Jennyfer Tamara de Lima Barbosa – Universidade Federal do Acre (UFAC), Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, AC

Destaque: As técnicas biotecnológicas ampliam a capacidade de conservação, caracterização, propagação e melhoramento do cacaueiro, contribuindo para acelerar a seleção de materiais superiores e fortalecer a sustentabilidade da produção.

Highlight: Biotechnological techniques expand the capacity for conservation, characterization, propagation, and breeding of cacao, helping accelerate the selection of superior plant materials and strengthen production sustainability.

Resumo

O trabalho aborda o uso de técnicas biotecnológicas como ferramentas estratégicas para a modernização da cacauicultura amazônica, destacando a necessidade de acelerar o melhoramento genético do cacaueiro frente aos desafios fitossanitários e produtivos da região. São discutidas três principais abordagens: micropropagação in vitro, edição gênica por CRISPR/Cas9 e nanobiotecnologia. A micropropagação e a embriogênese somática são apresentadas como alternativas para a produção em larga escala de mudas clonais com elevada qualidade fitossanitária. A tecnologia

CRISPR/Cas9 é descrita como uma ferramenta promissora para o desenvolvimento de plantas resistentes a doenças como vassoura-de-bruxa e monilíase, com maior aceitabilidade comercial em comparação à transgenia convencional. Já a nanobiotecnologia é discutida como estratégia inovadora para o controle fitossanitário, utilizando nanopartículas metálicas para aumentar a eficiência do manejo e reduzir impactos ambientais. O estudo também enfatiza a importância da soberania tecnológica da Amazônia, defendendo investimentos em infraestrutura científica, formação de recursos humanos e fortalecimento de centros regionais de pesquisa para garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva do cacau.

Palavras-chave: Biotecnologia vegetal; Embriogênese somática; CRISPR/Cas9; Nanobiotecnologia agrícola; *Theobroma cacao*.

Abstract

This study discusses the use of biotechnological techniques as strategic tools for the modernization of Amazonian cocoa production, highlighting the need to accelerate cocoa breeding in response to phytosanitary and productive challenges. Three main approaches are explored: in vitro micropropagation, CRISPR/Cas9 gene editing, and nanobiotecnology. Micropropagation and somatic embryogenesis are presented as effective alternatives for the large-scale production of clonal seedlings with high phytosanitary quality. CRISPR/Cas9 technology is described as a promising tool for developing cocoa plants resistant to diseases such as witches' broom and frosty pod rot, with greater commercial acceptance compared to conventional transgenics. Nanobiotecnology is discussed as an innovative strategy for phytosanitary management through the use of metallic nanoparticles to improve disease control efficiency and reduce environmental impacts. The study also emphasizes the importance of technological sovereignty in the Amazon region, advocating investments in scientific infrastructure, human resource training, and the strengthening of regional research centers to ensure the long-term sustainability of cocoa production.

Keywords: Plant biotechnology; Somatic embryogenesis; CRISPR/Cas9; Agricultural nanobiotecnology; *Theobroma cacao*.

A Cacaucultura Amazônica: Limites Tecnológicos e Perspectivas Biotecnológicas

Diversas transformações tecnológicas têm modificado o panorama da agricultura desde a Segunda Guerra Mundial, a atividade agrícola tem passado por diversas transformações tecnológicas significativas. Inicialmente, essas mudanças envolveram a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas para o controle de pragas e doenças.

Posteriormente, a Revolução Verde impulsionou o melhoramento genético tradicional, promovendo incrementos importantes na produtividade. A partir das décadas de 1990 e 2000, a biotecnologia passou a integrar o arsenal de ferramentas aplicáveis ao setor agrícola, consolidando-se como um elemento-chave no desenvolvimento de cultivares mais eficientes e resilientes.

A modernização da cacauicultura exige o reconhecimento de uma defasagem tecnológica histórica em relação a outras cadeias agrícolas de elevada intensidade inovativa, como soja, milho e algodão. Nessas culturas, o avanço da engenharia genética, da biotecnologia molecular e das plataformas de inovação tem permitido respostas relativamente rápidas a desafios relacionados à resistência a pragas, tolerância a herbicidas e adaptação a diferentes condições de cultivo. Em contraste, o cacauero ainda apresenta forte dependência de estratégias convencionais de melhoramento, o que impõe limitações importantes à velocidade de geração e incorporação de novas soluções tecnológicas.

Parte dessa condição decorre da própria natureza biológica da cultura. Por se tratar de espécie perene, de ciclo longo e com elevado intervalo entre gerações, o melhoramento genético clássico do cacauero demanda períodos prolongados para obtenção, avaliação e estabilização de novos materiais. Em termos práticos, o desenvolvimento de uma nova variedade por métodos convencionais pode requerer de 15 a 20 anos, intervalo incompatível com a rapidez com que ameaças fitossanitárias podem emergir, se disseminar e comprometer a sustentabilidade da produção.

No contexto amazônico, essa limitação assume particular relevância. A presença de doenças de elevado impacto, aliada à necessidade de ampliar produtividade, qualidade e resiliência dos sistemas de cultivo, torna insuficiente a dependência exclusiva de processos convencionais de inovação. Nesse cenário, a biotecnologia passa a constituir instrumento estratégico para acelerar o melhoramento, reduzir riscos sanitários e ampliar a capacidade de resposta da cadeia produtiva diante de desafios contemporâneos. Mais do que uma fronteira acadêmica, sua incorporação torna-se condição para a sobrevivência técnica e para a competitividade da cacauicultura em escala regional e internacional.

Entre as técnicas biotecnológicas mais relevantes para a produção vegetal moderna destacam-se a cultura de tecidos, a transgenia, a nanobiotecnologia e, mais recentemente, a edição gênica por CRISPR-Cas9. Essas abordagens oferecem suporte contínuo ao melhoramento tradicional do cacauero, permitindo acelerar a obtenção de variedades superiores, aumentar a uniformidade genética e reduzir vulnerabilidades a estresses bióticos e abióticos, configurando-se como instrumentos essenciais para a competitividade e sustentabilidade da cadeia produtiva na Amazônia.

Tabela 1: Principais técnicas biotecnológicas aplicada a cacauicultura

Técnica	Princípio básico	Aplicação no cacauero	Vantagens principais
Cultura de tecidos	Micropropagação <i>in vitro</i>	Multiplicação de clones resistentes e produtivos	Produção em larga escala e preservação genética

Técnica	Princípio básico	Aplicação no cacauero	Vantagens principais
Transgenia	Inserção de genes exógenos	Resistência a doenças e pragas	Introdução de novas características
Nanobiotecnologia	Uso de nanopartículas e nanomateriais	Liberação controlada de insumos e monitoramento	Redução de agroquímicos e maior sustentabilidade
CRISPR/Cas9	Edição precisa do genoma sem genes exógenos	Resistência a doenças e estresses abióticos	Maior precisão, rapidez e menor custo

Fonte: Elaborado pelos autores

Micropropagação e Limpeza Viral: A Padronização de Materiais de Elite

A cultura de tecidos, também conhecida como micropropagação, é a técnica que é utilizada para produção de milhares de plantas idênticas (clones) a partir de um pequeno pedaço de tecido vegetal, como de uma folha ou gema.

No cacau, essa abordagem é valiosa para multiplicar rapidamente variedades de alto rendimento ou resistentes a doenças, preservando suas características genéticas e também como limpeza clonal. Em laboratório, o explante é colocado em um meio de cultura, em ambiente controlado, com nutrientes e hormônios necessários para a formação de novas plântulas que, posteriormente, serão aclimatizadas e transferidas para o campo. Isso assegura a disponibilidade de mudas de alta qualidade em larga escala.

O princípio básico da cultura de tecidos é a aplicação da totipotência celular, isto é, regenerar plantas a partir de células isoladas não diferenciadas, ou a partir de órgãos e tecidos vegetais. As aplicações da cultura de tecidos são: Limpeza Viral, Cultura de Meristema, Multiplicação Clonal, Cultura de Gemas ou Segmentos Nodais, Manutenção de Germoplasma Cultivo em Meio Mínimo, Obtenção de Haplóides, Cultura de Anteras e Óvulos, Obtenção de Híbridos Interspecíficos, Cultura de Embriões, Seleção *in vitro*, Variação Somaclonal e Obtenção de híbridos somáticos. Algumas dessas técnicas foram aplicadas a *Theobroma cacao* L. em pesquisas desenvolvidas no Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agrônômica para o Desenvolvimento - CIRAD.

Tabela 2: Processo de micropropagação

Etapas	Descrição resumida
Seleção dos explantes	Escolha de fragmentos vegetais para cultivo
Cultura <i>in vitro</i>	Cultivo em meio nutritivo com reguladores de crescimento
Formação de plântulas	Indução do desenvolvimento de novas plantas
Aclimatização	Adaptação das mudas ao ambiente externo

Fonte: Elaborado pelos autores



Figura 1. Etapas da Embriogênese Somática em Cacaueiro Fonte: Elaborado pelos autores.

A micropropagação in vitro, com ênfase na embriogênese somática e na cultura de tecidos, apresenta-se como alternativa tecnológica para a produção de mudas padronizadas e sanitárias qualificadas. A embriogênese somática baseia-se na indução, em condições controladas de laboratório, de células somáticas provenientes, por exemplo, de tecidos foliares e florais à formação de embriões somáticos. Esse processo permite a regeneração de plantas completas, geneticamente idênticas ao material matriz selecionado, viabilizando a multiplicação clonal em grande escala com elevada uniformidade.

A aplicação dessa estratégia adquire relevância particular quando direcionada à multiplicação de materiais de elite já validados agronomicamente e com alta demanda produtiva. Nesse grupo, incluem-se clones como o CCN 51, amplamente reconhecido por elevado desempenho produtivo e autocompatibilidade, e o PS 1316, material com histórico de produtividade e resistência, amplamente utilizado como referência em programas de seleção.

Além da multiplicação clonal, a cultura de tecidos oferece um benefício sanitário fundamental: a produção de mudas com elevada qualidade fitossanitária. A condução do processo em ambiente asséptico, associada a protocolos de seleção e regeneração, reduz a probabilidade de manutenção e disseminação de patógenos associados ao material propagativo. Como consequência, o estabelecimento inicial do plantio tende a ocorrer com maior vigor e uniformidade, favorecendo a rápida formação do pomar e contribuindo para antecipar a entrada em produção. Dessa forma, a micropropagação não apenas amplia a escala de oferta de materiais superiores, mas também fortalece a segurança sanitária como requisito para a intensificação sustentável da cacauicultura amazônica.

A Revolução CRISPR: Edição Gênica e Aceitabilidade de Mercado

A tecnologia CRISPR-Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats Conjunto de Repetições Palindrômicas Curtas Regularmente Espaçadas)

surgiu nos anos 2012 sendo uma técnica rápida, fácil de ser utilizada e menos custosa que as técnicas anteriores. O recente desenvolvimento biotecnológico do sistema 9 (Cas9) permite um método mais simples e preciso de edição de genes, que agora é preferido em comparação com as nucleases de dedo de zinco (ZFNs) e as nucleases efetoras semelhantes ao ativador de transcrição (TALENs). A partir de então, passou-se a utilizar a técnica como ferramenta ao melhoramento vegetal.

O sistema CRISPR/Cas9 tem passado por constantes aprimoramentos, e recentemente foram desenvolvidas duas variantes, conhecidas como CRISPRa e CRISPRi. Esses métodos permitem regular a expressão gênica sem a necessidade de cortar diretamente a sequência-alvo do DNA (Vioto, 2023).

A CRISPR- Cas9 em vegetais pode ser utilizada a partir, por exemplo, das vias de sinalização de hormônios de plantas. Pesquisas são bem conhecidas (ALMEIDA, 2016) indicando a atuação na resposta de defesa a patógenos e estresses abióticos, como as vias de Ácido Salicílico (AS), Ácido Jasmônico (AJ) e Etileno (ET).

A incorporação da tecnologia CRISPR-Cas9 à cultura do cacau representa uma das frentes mais estratégicas da biotecnologia aplicada ao melhoramento da espécie, tanto do ponto de vista fitossanitário quanto sob a perspectiva da inserção comercial em mercados de alta exigência. O uso dessa ferramenta amplia a possibilidade de intervenção precisa sobre o genoma do cacaueteiro, com potencial para acelerar a obtenção de materiais mais resilientes e compatíveis com os atuais requisitos regulatórios e mercadológicos. Andrew Fister, da Universidade Estadual da Pensilvânia, e colegas apresentam a primeira aplicação da tecnologia de edição do genoma CRISPR-Cas9 em folhas de cacau e células de cotilédones para resistência a podridão parda em cacaueteiro causado por *Phytophthora*.

Superação das Restrições Associadas à Transgenia

Um dos principais entraves à adoção de biotecnologias avançadas na cadeia do cacau reside na resistência de mercados consumidores, especialmente da União Europeia, à utilização de organismos geneticamente modificados obtidos por inserção de DNA exógeno. Em cadeias voltadas à produção de cacau de qualidade, essa restrição assume relevância estratégica, pois condiciona a aceitabilidade comercial de novos materiais genéticos.

Nesse contexto, a edição gênica por CRISPR-Cas9 apresenta uma diferença conceitual importante em relação à transgenia convencional. Em vez de introduzir genes oriundos de outras espécies, essa tecnologia atua diretamente sobre o genoma nativo da planta, permitindo realizar modificações específicas em sequências já existentes. Com isso, torna-se possível, por exemplo, silenciar genes associados à suscetibilidade a patógenos ou ativar rotas endógenas de defesa previamente pouco expressas. Como o produto final não incorpora DNA exógeno, a planta editada tende a apresentar maior aceitabilidade regulatória e comercial, especialmente em mercados

mais restritivos à transgenia clássica.

A seguir apresentamos um quadro comparativo entre a técnica de transgenia e a tecnologia de edição gênica CRISPR-Cas9.

Tabela 3: Comparação entre transgenia e CRISPR - Cas9

Aspecto	Transgenia	CRISPR/Cas9
Origem do gene	Uso de genes de outra espécie	Pode editar genes do próprio organismo
Precisão	Menor precisão	Alta precisão
Alteração genética	Inserção de DNA exógeno	Corte e edição direcionada do DNA
Custo	Geralmente mais elevado	Tendência de menor custo
Exemplo agrícola	Milho Bt resistente a insetos	Cacau editado para resistência a doenças
Regulamentação	Mais rigorosa	Em alguns casos mais flexível

Fonte: Elaborado pelos autores

Alvos Biológicos Prioritários: Monilíase e Vassoura-de-Bruxa

A aplicação do CRISPR ao cacaueiro tem sido direcionada, em escala internacional, ao fortalecimento da resistência da cultura frente a enfermidades de elevada relevância econômica. Entre os principais alvos biológicos para a Amazônia destacam-se a vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa*) e a monilíase (*Moniliophthora roreri*).

A vassoura-de-bruxa permanece como uma das doenças mais emblemáticas da cacauicultura brasileira, em razão de seus impactos históricos sobre a produção e sobre a estrutura econômica do setor. A monilíase, por sua vez, constitui ameaça sanitária ainda mais severa em função de sua elevada capacidade de comprometer diretamente os frutos, com forte potencial de expansão nas regiões produtoras da Amazônia. A detecção recente de focos em áreas da fronteira Norte do Brasil reforça a urgência de estratégias preventivas e de resposta rápida.

Nesse cenário, a edição gênica passa a ser considerada uma ferramenta promissora para o fortalecimento de mecanismos de defesa do cacaueiro e para a construção de uma linha de proteção mais eficaz frente ao risco de colapso fitossanitário. Ao permitir intervenções mais rápidas e precisas sobre genes associados à suscetibilidade ou à resposta imune da planta, o CRISPR amplia a capacidade de antecipação tecnológica da cadeia produtiva diante de doenças emergentes ou reemergentes.

Nanobiotecnologia em Campo: A Substituição de Defensivos Convencionais

Além das inovações voltadas ao melhoramento genético, a modernização da cacauicultura também envolve o desenvolvimento de tecnologias aplicadas diretamente ao manejo fitossanitário em campo. Nesse contexto, a nanotecnologia tem sido apresentada como alternativa promissora para ampliar a eficiência da proteção de plantas e reduzir limitações associadas ao uso convencional de defensivos.

A nanobiotecnologia representa a interseção entre a nanotecnologia e a biotecnologia. Na agricultura, essa abordagem tem potencial para transformar práticas convencionais, promovendo maior eficiência no uso de insumos, controle biológico de pragas, melhoramento genético e monitoramento ambiental em tempo real. Pode-se dividi-la assim:

- Nanotecnologia: Manipulação de materiais em escala nanométrica (1–100 nm, sendo 1,0 nano o mesmo que 10^{-9}), com propriedades físico-químicas únicas;
- Biotecnologia: Uso de organismos vivos ou seus componentes para desenvolver produtos e processos úteis;
- Nanobiotecnologia: Integração dessas áreas para criar sistemas bioativos nanoestruturados, como nanopartículas funcionais, biossensores e vetores genéticos.

Os nanomateriais encontram aplicações na proteção de plantas, nutrição e gerenciamento de práticas agrícolas. Há ampla gama de materiais que podem ser usados para fazer nanopartículas como óxidos metálicos, cerâmicas, materiais magnéticos, semicondutores, pontos quânticos, lipídios, polímeros (sintéticos ou naturais), dendrímeros e emulsões. O uso agrícola pode ser com Nanoformulações Biológicas como:

- Nanopesticidas biológicos: Encapsulamento de extratos naturais (ex.: neem, citronela) para liberação controlada e maior eficácia contra pragas.
- Nanofertilizantes bioativos: Compostos com microrganismos benéficos ou enzimas que promovem crescimento vegetal e saúde do solo.

No manejo tradicional das doenças do cacauieiro, o controle fúngico frequentemente depende da aplicação de caldas cúpricas ou de fungicidas sistêmicos, estratégias que apresentam restrições importantes em ambientes tropicais úmidos como a Amazônia. A elevada intensidade das chuvas favorece a remoção dos produtos aplicados, reduz a persistência do controle e aumenta a necessidade de reaplicações, com repercussões sobre o custo operacional. Além disso, o uso contínuo de compostos à base de cobre pode resultar em acúmulo do elemento no solo, com potenciais efeitos adversos sobre o ambiente e sobre a sustentabilidade do sistema produtivo.

A nanobiotecnologia propõe, nesse cenário, a utilização de nanopartículas formuladas a partir de minerais ou elementos com reconhecida ação antimicrobiana, entre os quais se destacam a prata (Ag) e o cobre (Cu). Em escala nanométrica, essas partículas apresentam elevada área superficial relativa, característica que pode ampliar sua reatividade e favorecer interações mais eficientes com tecidos vegetais ou com estruturas celulares de microrganismos fitopatogênicos.

Do ponto de vista agrônomo, essa tecnologia apresenta potencial para elevar a eficácia do controle de enfermidades, incluindo aquelas associadas a *Moniliophthora perniciosa*, ao mesmo tempo em que possibilita a redução da dose de ingrediente ativo necessária para obtenção do efeito desejado. A diminuição das quantidades aplicadas tende a reduzir custos, minimizar perdas por lavagem e mitigar impactos ecotoxicológicos em comparação com o manejo convencional. Assim, a nanobiotecnologia aplicada ao cacaueteiro configura-se como uma alternativa relevante para o aperfeiçoamento do controle fitossanitário, combinando maior eficiência de uso dos princípios ativos com perspectivas de maior sustentabilidade ambiental no contexto amazônico.

Em cacaueteiros, a pesquisa de Raquel Villamizar-Gallardo da Universidad de Pamplona, Colombia verificaram o efeito fungicida de nanopartículas de prata (AgNPs) em *Aspergillus flavus* e *Fusarium solani* em cacaueteiro. Também a pesquisa de Anjos, Rejane Mendes dos Anjos e Paulo Estevão de Souza, que verificaram efeitos das nanopartículas de ZnO, CuO, MnO₂, B, Si e Ag na inibição das diferentes fases da vassoura de bruxa do cacaueteiro (*M. perniciosa*) in vitro e in vivo.

A Soberania Tecnológica da Amazônia

A incorporação de biotecnologias à cacauicultura amazônica evidencia que o avanço técnico não se sustenta apenas pela disponibilidade de ferramentas como micropropagação, edição gênica e nanobiotecnologia, mas depende de condições estruturais que assegurem sua continuidade e sua adaptação às realidades regionais. Nesse sentido, a consolidação da inovação no Norte do Brasil requer o fortalecimento da soberania tecnológica, entendida como a capacidade de desenvolver, validar e aplicar soluções próprias no território, reduzindo a dependência de pacotes externos e ampliando a autonomia da cadeia produtiva.



Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo
Núcleo Regional Noroeste

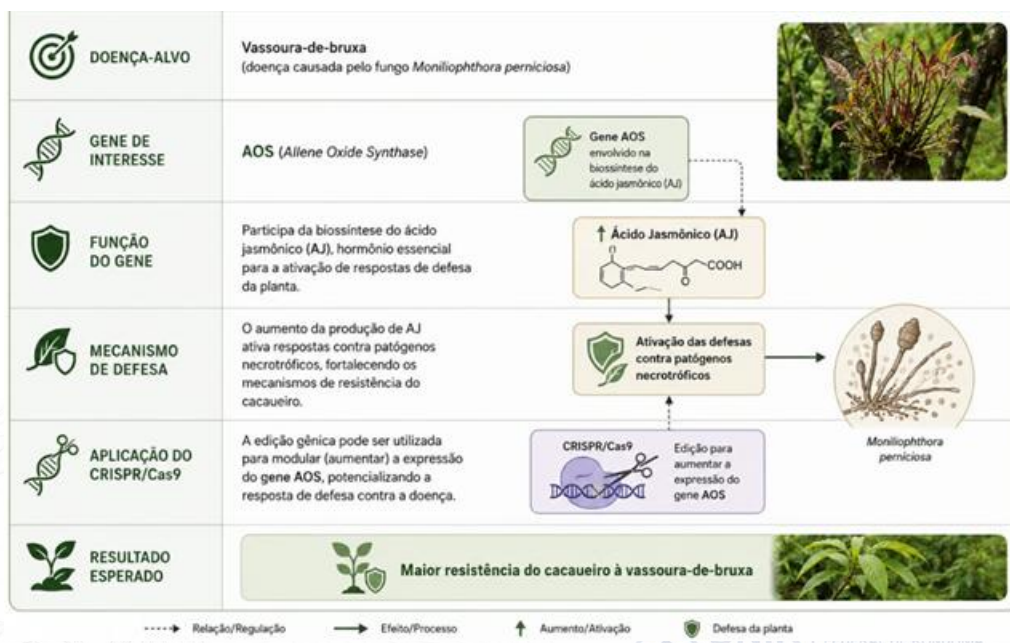


Figura 2. Imagem gerada por Inteligência Artificial representando o potencial do CRISPR/Cas9 na resistência do cacaueiro à vassoura de bruxa. Fonte: Gerado pelo GEMINI.

Um dos principais entraves para essa soberania reside na persistência de fluxos de saída de capital humano qualificado. A formação de pesquisadores e profissionais especializados em áreas como biologia molecular, cultura de tecidos e nanotecnologia tende a ser seguida, com frequência, de migração para centros consolidados de pesquisa fora da região, em grande parte devido à insuficiência de infraestrutura laboratorial, oportunidades de carreira e ambientes de inovação localmente estruturados. Esse fenômeno compromete a massa crítica necessária para sustentar programas de pesquisa aplicada e para internalizar, de forma permanente, competências tecnológicas estratégicas.

Diante desse quadro, a dependência de soluções importadas, provenientes de outras regiões do país ou do exterior, apresenta limitações para a sustentabilidade de longo prazo. O fortalecimento da cacauicultura amazônica exige investimento público e privado na instalação e operação de laboratórios avançados voltados à cultura de tecidos, diagnóstico sanitário, sequenciamento e análise genômica, bem como em plataformas de desenvolvimento e validação de insumos inovadores. Estruturas desse tipo, associadas a instituições regionais, ampliam a capacidade de formação e retenção de especialistas e criam condições para que tecnologias de edição gênica e produtos nanotecnológicos sejam desenvolvidos e ajustados às particularidades do microclima amazônico e às demandas fitossanitárias locais.

Conclusão

A modernização biotecnológica da cacauicultura amazônica requer uma abordagem integrada que combine infraestrutura tecnológica avançada, formação contínua de recursos humanos e fortalecimento institucional. A consolidação de técnicas como micropropagação, edição gênica por CRISPR-Cas9 e nanobiotecnologia depende não apenas da disponibilidade das ferramentas, mas também da capacidade de internalizar competências tecnológicas no território e de manter profissionais altamente qualificados na região.

A retenção de capital humano especializado e a criação de ambientes de inovação estruturados são fundamentais para reduzir a dependência de soluções externas e garantir a sustentabilidade de longo prazo da cadeia produtiva. Investimentos públicos e privados em laboratórios de cultura de tecidos, diagnósticos sanitários, sequenciamento genômico e desenvolvimento de insumos inovadores são essenciais para consolidar a soberania tecnológica regional. Dessa forma, a integração de infraestrutura, conhecimento e inovação cria condições para que a cacauicultura amazônica avance de maneira resiliente, competitiva e ambientalmente sustentável, assegurando a produção de cultivares mais eficientes e adaptadas às especificidades do microclima e às exigências fitossanitárias da região.

Referências

ALMEIDA, D. S. M. Estudos funcionais de fatores de transcrição envolvidos na interação *Theobroma cacao* - *Moniliophthora perniciosa*. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2016. Disponível em: UESC - NBCGIB. Acesso em: 26 ago. 2026.

ANA CAROLINA ROCHA VIOTTO. A utilização da técnica CRISPR no melhoramento do cacau: revisão bibliográfica. 2023. 60 p. Disponível em: Repositório Butantan. Acesso em: 26 ago. 2026.

ANOVA AGRICULTURA. A nanotecnologia na agricultura – fertilizantes. Disponível em: Anova Agricultura. Acesso em: 26 ago. 2026.

ANJOS, Rejane Mendes dos; SOUZA, Paulo Estevão de. Nanopartículas no controle da vassoura-de-bruxa do cacaueiro. Disponível em: Repositório UFLA. Acesso em: 26 ago. 2026.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. Melhoramento de plantas. Viçosa: UFV, 2009. 529 p.

FISTER, A.; LANDHERR, L.; MAXIMOVA, S. N.; GULTINAN, M. J. Transient expression of CRISPR/Cas9 machinery targeting *TcNPR3* enhances defense response in *Theobroma cacao*. *Frontiers in Plant Science*, 2018. Disponível em: *Frontiers in Plant Science*. Acesso em: 26 ago. 2026.

NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES INGLIS, M. C. (eds.). Recursos genéticos e melhoramento – plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. 1183 p.

SOUZA, G. do N.; ALBUQUERQUE, H. N. de; NOGUEIRA, I. da C.; SANTOS, V. B. dos; PEREIRA, J. A. da S. Crescimento de progênies de meio-irmãos de cacau de populações nativas. In: WADT, P. G. S.; DELARME LINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (ed.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 161-168.



FERTILIZA CACAU: SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE NUTRICIONAL E ADUBAÇÃO MODULAR BALANCEADA PARA LAVOURAS CACAUEIRAS

FERTILIZACACAU: AN INTEGRATED SYSTEM FOR NUTRITIONAL DIAGNOSIS AND BALANCED MODULAR FERTILIZATION OF CACAO PLANTATIONS

Paulo Guilherme Salvador Wadt, Embrapa Rondônia, Porto Velho - RO. E-mail: paulo.wadt@embrapa.br; Daniel Vidal Perez, Embrapa Solos, Rio de Janeiro – RJ, E-mail: daniel.perez@embrapa.br

Destaque: A planilha FertilizaCacau integra análise foliar, fertilidade do solo e produtividade para gerar recomendações modulares, rastreáveis e ajustáveis de calagem, gessagem e adubação em lavouras cacaueiras.

Highlight: FertilizaCacau integrates leaf analysis, soil fertility, and yield targets to generate modular, traceable, and adjustable recommendations for liming, gypsum use, and fertilization in cacao crops.

Resumo

O manejo da adubação do cacaueiro requer a integração de informações sobre produtividade, fertilidade do solo e estado nutricional das plantas. Este trabalho apresenta a estrutura e demonstra o funcionamento da planilha “Fertiliza Cacau”, desenvolvida em formato XLSX como ferramenta de apoio à diagnose nutricional e à recomendação modular de corretivos e fertilizantes para lavouras cacaueiras. A ferramenta organiza dados cadastrais e resultados de análises foliares e de solo, calcula índices nutricionais pelo método da Diagnose da Composição Nutricional (CND), classifica os nutrientes segundo o critério do potencial de resposta à adubação e ajusta as doses básicas de nutrientes em função da produtividade, da fertilidade do solo e do balanço nutricional da lavoura. Os teores foliares são tratados como dados composicionais, mediante fechamento composicional, transformação log-razão

centrada (clr) e interpretação do balanço nutricional com base em normas CND preliminares incorporadas à planilha. A recomendação é estruturada a partir de doses básicas e módulos incrementais, complementados por critérios específicos para calagem, gessagem, parcelamento das aplicações e definição de formulações de fertilizantes. Na demonstração realizada com o conjunto de dados incorporado à planilha, a diagnose indicou alta insuficiência de N, alto excesso de P, excesso de B e equilíbrio para os demais nutrientes avaliados. As doses calculadas foram de 129 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ de K₂O, 0,66 t ha⁻¹ de calcário com PRNT de 60%, 1 kg ha⁻¹ de B e 2 kg ha⁻¹ de Zn. A planilha explicita as etapas de cálculo e gera relatório técnico, favorecendo a rastreabilidade das recomendações e a atualização dos parâmetros utilizados. Como sistema de apoio à decisão, a Fertiliza Cacao permite ajustar as recomendações a diferentes condições de fertilidade, estado nutricional, produtividade e tecnologias de cultivo, devendo sua aplicação ser associada à interpretação técnica por profissional habilitado e à contínua calibração das normas e dos módulos de recomendação.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*; Diagnose da Composição Nutricional; adubação modular; fertilidade do solo; diagnose foliar; sistema de apoio à decisão.

Abstract

Fertilization management in cacao requires the integration of information on crop productivity, soil fertility, and plant nutritional status. This study presents the structure and demonstrates the operation of the “Fertiliza Cacao” spreadsheet, developed in XLSX format as a decision-support tool for nutritional diagnosis and the modular recommendation of soil amendments and fertilizers for cacao plantations. The tool organizes farm identification data and results from leaf and soil analyses, calculates nutrient indices using the Compositional Nutrient Diagnosis (CND) method, classifies nutrients according to the potential response to fertilization criterion, and adjusts basic nutrient rates according to crop productivity, soil fertility, and the nutritional balance of the plantation. Leaf nutrient concentrations are treated as compositional data through compositional closure, centered log-ratio (clr) transformation, and interpretation of nutritional balance based on preliminary CND norms incorporated into the spreadsheet. Recommendations are structured from basic nutrient rates and incremental modules, complemented by specific criteria for liming, gypsum application, fertilizer splitting, and fertilizer formulation. In the demonstration performed with the dataset incorporated into the spreadsheet, the diagnosis indicated high N insufficiency, high P excess, B excess, and nutritional balance for the other evaluated nutrients. The calculated rates were 129 kg ha⁻¹ of N, 90 kg ha⁻¹ of P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ of K₂O, 0.66 t ha⁻¹ of limestone with 60% relative total neutralizing value, 1 kg ha⁻¹ of B, and 2 kg ha⁻¹ of Zn. The spreadsheet makes the calculation steps explicit and generates a technical report, thereby improving the traceability of recommendations and facilitating the updating of the parameters used.

As a decision-support system, Fertiliza Cacau allows fertilizer recommendations to be adjusted to different conditions of soil fertility, plant nutritional status, productivity, and cultivation technologies, while its application should be associated with technical interpretation by a qualified professional and with continuous calibration of the diagnostic norms and recommendation modules.

Keywords: *Theobroma cacao*; Compositional Nutrient Diagnosis; modular fertilization; soil fertility; leaf diagnosis; decision support system.

Introdução

A produtividade das lavouras cacaueiras resulta da interação entre condições ambientais, material genético, manejo fitotécnico, disponibilidade hídrica e suprimento mineral. A adoção de clones com maior potencial produtivo, associada à irrigação ou a sistemas de cultivo com maior disponibilidade de radiação, pode aumentar o acúmulo de biomassa e a produção de frutos, mas também eleva a demanda por nutrientes. Nessas condições, recomendações de adubação dimensionadas para patamares produtivos inferiores podem resultar em desequilíbrios nutricionais, menor eficiência no uso dos fertilizantes e redução da capacidade da lavoura de sustentar a produção ao longo dos ciclos produtivos.

As recomendações fundamentadas na análise de solo constituem referência essencial para o manejo da fertilidade, porém, quando utilizadas isoladamente, não expressam integralmente a resposta da planta à interação entre os diferentes fatores de produção (Figura 1). A análise foliar complementa essa avaliação por representar o resultado integrado da disponibilidade, absorção, transporte e distribuição dos nutrientes na planta. Métodos baseados no balanço nutricional, como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e a Diagnose da Composição Nutricional (CND), ampliam essa abordagem ao considerar as relações entre nutrientes e permitir a identificação de condições de insuficiência, equilíbrio ou excesso nutricional (JONES, 1981; PARENT; DAFIR, 1992; WADT, 2011).

No método CND, os teores dos nutrientes são tratados como componentes de uma composição sujeita ao fechamento. A transformação log-razão centrada (clr) reduz os efeitos da dependência matemática entre os componentes e permite a obtenção de índices nutricionais padronizados para cada nutriente (AITCHISON, 1986; PARENT; DAFIR, 1992). Esses índices podem ser interpretados pelo critério do potencial de resposta à adubação, no qual sua magnitude é avaliada em relação ao índice de balanço nutricional médio (IBNm), permitindo classificar o estado nutricional dos nutrientes. Essa interpretação não determina diretamente a quantidade de nutriente a ser aplicada, mas fornece informação para ajustar a recomendação básica de adubação às condições nutricionais da lavoura (WADT, 1996; WADT, 2011).

O projeto Fertiliza Cacau, conduzido no período de 2020 a 2025 com apoio do

CNPq, da Embrapa Rondônia e do Senar Rondônia, adotou a integração entre produtividade, fertilidade do solo e estado nutricional como fundamento para uma estratégia de adubação modular balanceada. Nessa abordagem, são estabelecidas doses básicas de nutrientes associadas a determinado patamar de produção, às quais podem ser adicionados módulos de adubação em função da produtividade, da disponibilidade do nutriente no solo e do balanço nutricional da lavoura. Dessa forma, a recomendação incorpora, de maneira integrada, informações referentes ao sistema de produção, à fertilidade do solo e à resposta nutricional das plantas.

Essa abordagem foi operacionalizada na planilha Fertiliza Cacau (Wadt, 2026), integra dados cadastrais e produtivos, resultados de análises de solo e folhas, normas CND e critérios de interpretação do estado nutricional e da fertilidade do solo para apoiar a recomendação de corretivos e fertilizantes. A ferramenta utiliza fórmulas e tabelas auxiliares para executar os cálculos, gerar recomendações e produzir relatórios e representações gráficas.

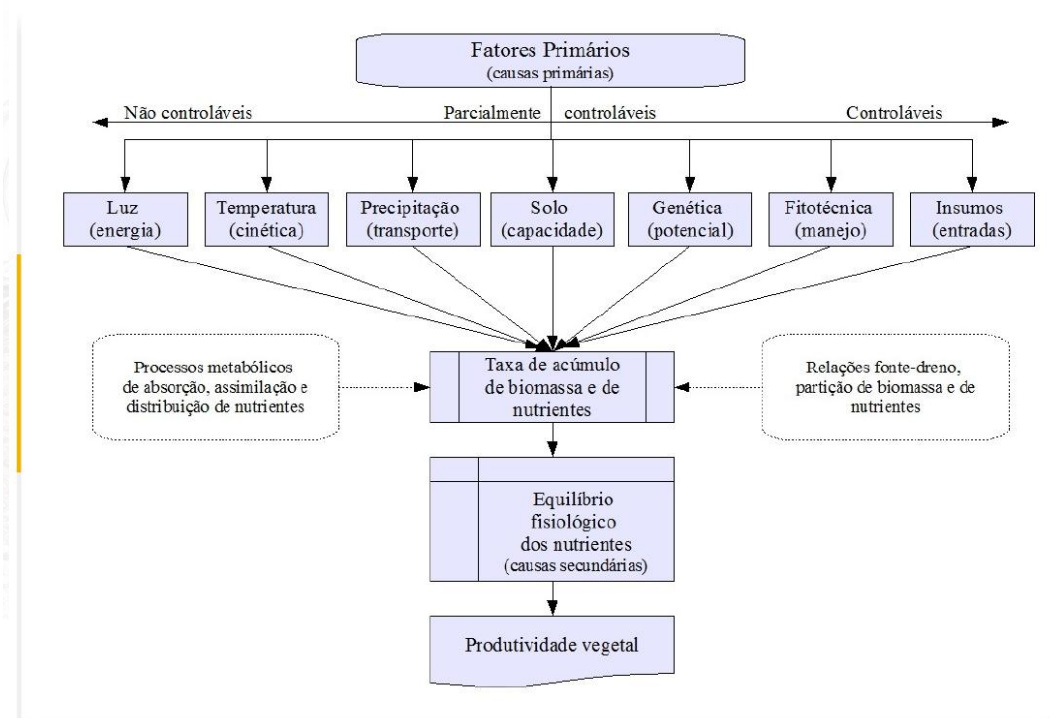


Figura 1. Relação conceitual entre fatores primários de produção, acúmulo de biomassa e nutrientes, equilíbrio fisiológico e produtividade vegetal. Fonte: adaptado da apresentação “Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação”.

O objetivo deste trabalho é apresentar a arquitetura, os procedimentos de cálculo e as principais saídas da versão da planilha Fertiliza Cacau disponibilizada no repositório Zenodo (Wadt, 2026), bem como demonstrar sua aplicação utilizando o

conjunto de dados incorporado à própria ferramenta.

Estrutura da planilha

A planilha Fertiliza Cacau foi desenvolvida no Microsoft Excel e disponibilizada em formato XLSX. Na versão disponibilizada no repositório Zenodo (WADT, 2026), sua estrutura está organizada em cinco abas, das quais três são visíveis ao usuário e duas permanecem ocultas por reunirem parâmetros auxiliares utilizados nos cálculos. A entrada de informações é concentrada na aba DadosBásicos, enquanto as abas DiagnoseFoliar e Recomendacao processam, respectivamente, a diagnose do estado nutricional e a recomendação de corretivos e fertilizantes. As abas Lista e TabelaModular, mantidas ocultas, armazenam classes de interpretação, parâmetros de cálculo, doses básicas, módulos incrementais e demais informações utilizadas pelo sistema.

Os cálculos são realizados por meio de fórmulas incorporadas à própria planilha e de parâmetros armazenados nas abas auxiliares. Essa organização separa a entrada de dados, a diagnose nutricional, a recomendação e os parâmetros internos de cálculo, facilitando o uso da ferramenta e reduzindo a necessidade de intervenção do usuário nos procedimentos computacionais. A organização funcional da planilha é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Organização funcional da planilha Fertiliza Cacau disponibilizada no repositório Zenodo (WADT, 2026).

Planilha	Função	Conteúdo principal
DadosBásicos	Entrada de dados	Identificação do responsável e da propriedade; características da lavoura; produtividade; resultados de análises foliares e de solo.
DiagnoseFoliar	Diagnose nutricional e relatório	Fechamento composicional; transformação log-razão centrada (clr); cálculo dos índices CND e do índice de balanço nutricional médio (IBNm); classificação do estado nutricional; apresentação de resultados e gráficos.
Recomendacao	Recomendação e relatório	Interpretação da fertilidade do solo; cálculo das doses por hectare e por planta; calagem; gessagem; parcelamento das aplicações; seleção de fontes simples ou formulações compostas de fertilizantes.
Lista	Parâmetros auxiliares	Classes de interpretação; opções de parcelamento; características e teores de nutrientes das fontes de fertilizantes cadastradas.
TabelaModular	Parâmetros e cálculos da adubação modular	Doses básicas; módulos incrementais; fatores relacionados à produtividade, à fertilidade do solo e ao estado nutricional; parâmetros utilizados na definição das doses e das formulações N-P-K.

Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação para Cacaueiros

Téc. Responsável:	NOME DO RESPONSÁVEL TÉCNICO				
Inscr. Profissional:	YYYYXXXX-Y/D	Orgão:	CREA RJ	CPF:	XXX.XXX.XXX-XX
Propriedade rural:	Chácara Japones			Cidade/UF	Ouro Preto do Oeste/RO
Responsável Legal:	JXXX AXXXXX DXXXXXXX				
Lavoura Cacau	Seminal	Total de plantas:	851	Área (ha):	0,8
Tipo Propagação	Clones	Safra:	2023/2024	Irrigação:	Irrigada
Produtividade (kg/ha)	835	Idade da lavoura (em anos):	5		
Laboratório Foliar:	Proj Fertiliza Cacau		Dt Amostra Folhas:	fev/23	
Cod Amostra Foliar:	490.4260				
Laboratório F Solos	Embrapa Rondônia		Dt Amostra Solos:	mar/23	
Cód Amostra Solos	FS 5488/23				

Usar análise foliar na recomendação?	Sim, usar balanço nutricional
--------------------------------------	-------------------------------

Teores nutricionais de amostras do limbo foliar com peciolo										
N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
g /kg										
14,0	2,10	9,00	13,75	5,50	0,98	75	50	110	355	10

Resultados da análise de fertilidade dos solos										
pH H ₂ O	C-org	Ca trocável	Mg trocável	Al trocável	K disponível	H + Al	CTC	P disponível	P rem	V%
adimensiona	dag L ⁻¹				cmol (+) L ⁻¹			mg L ⁻¹		%
5,80	0,74	2,80	0,60	0,00	0,34	3,48	7,22	14,00	36,00	51,80

Versão 20240223 - Autoria: WADT, P.G.S. (2023)

Umipi Cacau (Embrapa/Ceplac)

CNPq - 07808/2020-3

Figura 2. Tela de entrada de dados cadastrais, características da lavoura, produtividade e resultados das análises foliares e de solo na aba DadosBásicos da planilha Fertiliza Cacau. Fonte: Wadt (2026).

Obtenção e controle de qualidade dos dados foliares

Os procedimentos analíticos utilizados para a obtenção dos dados foliares foram realizados no Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Embrapa Solos. Para a determinação dos elementos, exceto N, foram utilizadas alíquotas de 0,2500 g de material vegetal, submetidas à digestão em forno de micro-ondas Anton Paar Multiwave PRO, com adição de 5,0 mL de HNO₃ e 2,0 mL de H₂O₂. O programa de aquecimento consistiu em rampa de 15 min até 180 °C, seguida de permanência nessa temperatura por 30 min. Após o resfriamento, os digeridos foram transferidos para recipientes apropriados e o volume final foi ajustado para 30 mL com água Milli-Q.

As concentrações de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, P, B e S foram determinadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), em equipamento PerkinElmer Optima 8300, operado em visão axial. Foram utilizados fluxo de argônio de 12 L min⁻¹ no plasma, 0,5 L min⁻¹ no gás auxiliar e 0,75 L min⁻¹ no nebulizador, com vazão de amostra de 2,0 mL min⁻¹. Os comprimentos de onda utilizados foram 317,925 nm para Ca; 279,077 nm para Mg; 324,755 nm para Cu; 238,201 nm para Fe; 257,607 nm para Mn; 206,200 nm para Zn; 213,618 e 214,909 nm para P; 249,674 nm para B; e 181,974 nm para S.

O K foi determinado por fotometria de chama, em equipamento Digimed DM63.

O N foi determinado pelo método Kjeldahl, utilizando-se 0,20 g de amostra vegetal, digestão com 15 mL de H₂SO₄ concentrado, destilação a vapor em equipamento Foss Kjeltec 8100 e titulação ácido-base, conforme Carmo et al. (2000).

A exatidão dos procedimentos analíticos foi avaliada por meio das taxas de recuperação, e a precisão, pelos coeficientes de variação obtidos em quatro replicatas analíticas do material de referência certificado NIST 1515, Apple Leaves. As taxas de recuperação variaram de 80% a 110%, enquanto os coeficientes de variação variaram de 2% a 10% (Tabela 2). Esses resultados foram considerados aceitáveis para as finalidades analíticas deste trabalho, de acordo com os critérios de controle de qualidade adotados para as determinações realizadas (AOAC, 2016; NIST, 2022).

Tabela 2. Taxas de recuperação (TR) e coeficientes de variação (CV) obtidos em quatro replicatas analíticas do material de referência certificado NIST 1515, Apple Leaves..

Indicador	K	N	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	P	B	S
TR (%)	97	100	88	85	110	81	83	80	99	93	80
CV (%)	10	3	4	3	5	9	4	8	2	9	10

Fechamento composicional, transformação clr e cálculo dos índices CND

A diagnose nutricional considera os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S expressos em g kg⁻¹ e os teores de B, Zn, Fe, Mn e Cu expressos em mg kg⁻¹. Antes do tratamento composicional, os teores dos micronutrientes são convertidos para g kg⁻¹, de modo que todos os componentes sejam expressos na mesma unidade.

Para os $p = 11$ nutrientes considerados, adiciona-se o componente residual R , correspondente à fração da matéria seca não representada pelos nutrientes analisados:

$$R = 1000 - \sum_{i=1}^p X_i$$

em que X_i representa o teor do i -ésimo nutriente, expresso em g kg⁻¹. A composição resultante apresenta, portanto, $D = p + 1 = 12$ componentes e soma constante de 1000 g kg⁻¹. O componente R integra o fechamento composicional e é necessário para a transformação dos dados, mas não representa um nutriente e não recebe interpretação agrônômica.

Para cada amostra, calcula-se a média geométrica dos D componentes da composição:

$$G(\mathbf{x}) = \left(\prod_{j=1}^D x_j \right)^{1/D}$$

em que x_j corresponde ao teor de cada nutriente ou ao componente residual R . Em seguida, cada componente é transformado pela razão logarítmica centrada (*centered log-ratio* — *clr*):

$$clr_j = \ln \left(\frac{x_j}{G(\mathbf{x})} \right)$$

ou, de forma equivalente,

$$clr_j = \ln(x_j) - \frac{1}{D} \sum_{m=1}^D \ln(x_m)$$

sendo empregado o logaritmo natural. A transformação *clr* expressa cada componente em relação à média geométrica da composição e, por definição, a soma das coordenadas *clr* de cada amostra é igual a zero (AITCHISON, 1986; PARENT; DAFIR, 1992).

As normas CND utilizadas pela planilha são constituídas pela média μ_k e pelo desvio-padrão s_k das coordenadas *clr* de cada componente na população de referência. Para cada nutriente k , o índice CND é obtido pela padronização da respectiva coordenada *clr*:

$$I_k = \frac{clr_k - \mu_k}{s_k}$$

em que I_k é o índice CND do nutriente k , clr_k é a coordenada *clr* da amostra, μ_k é a média da norma CND e s_k é o respectivo desvio-padrão.

Valores negativos de I_k indicam que o nutriente se encontra relativamente abaixo do padrão da população de referência, enquanto valores positivos indicam posição relativa acima desse padrão. Entretanto, o sinal e a magnitude do índice, isoladamente, não definem insuficiência ou excesso agrônomico; essa interpretação é realizada posteriormente pelo critério do potencial de resposta à adubação.

O índice de balanço nutricional médio (IBNm) corresponde à média aritmética dos

valores absolutos dos índices CND dos 11 nutrientes avaliados:

$$IBNm = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p |I_k|$$

com $p = 11$. O componente residual R participa do cálculo da média geométrica e das coordenadas clr, mas não é incluído no cálculo do IBNm nem na classificação agrônômica dos nutrientes. As médias e os desvios-padrão das coordenadas clr incorporados à planilha Fertiliza Cacau são apresentados na Tabela 3 (WADT, 2026).

Tabela 3. Normas CND preliminares das coordenadas clr incorporadas à planilha Fertiliza Cacau, obtidas a partir de 105 observações da população de referência.

Componente	Média clr	Desvio-padrão
N	1.1507	0.0734
P	-0.0064	0.0996
K	0.9404	0.1168
Ca	0.9118	0.1243
Mg	0.5775	0.0689
S	0.0868	0.1926
B	-1.5617	0.1021
Zn	-1.2398	0.2350
Fe	-1.1866	0.1401
Mn	-0.3573	0.1912
Cu	-2.1908	0.2732
R	2.8754	0.0516

Classificação do estado nutricional

A classificação do estado nutricional é realizada a partir da comparação entre o valor absoluto do índice CND de cada nutriente, $|I_k|$, e o índice de balanço nutricional médio (IBNm), calculado somente com os 11 nutrientes avaliados.

Quando $|I_k| < IBNm$, o nutriente é classificado como **equilibrado**. Para índices negativos, quando $I_k < 0$ e $|I_k| \geq IBNm$, o nutriente é classificado em **insuficiência**. Entre os nutrientes nessa condição, aquele que apresenta o menor valor do índice CND recebe a classificação de **alta insuficiência**.

Para índices positivos, quando $I_k > 0$ e $|I_k| \geq IBNm$, o nutriente é classificado em condição de excesso. Entre os nutrientes nessa condição, aquele que apresenta o maior valor do índice CND recebe a classificação de **alto excesso**. Os demais nutrientes com índices CND positivos e módulo igual ou superior ao IBNm, mas que

não apresentam o maior valor entre os índices positivos, são classificados como **excesso**. Assim, a classe **alto excesso** identifica o nutriente com maior desequilíbrio relativo no sentido positivo, desde que $|I_k| \geq IBNm$, enquanto a classe **excesso** se aplica aos demais nutrientes com índices positivos que também superam esse limite de referência.

Interpretação do solo e recomendação modular

A aba **Recomendacao** interpreta os principais atributos de fertilidade do solo utilizados pelo sistema, incluindo pH em água, carbono orgânico, Ca + Mg, Al trocável, K disponível e P disponível. Para o P, a interpretação considera a capacidade tampão do solo, utilizando classes de disponibilidade do P extraído por Mehlich-1 condicionadas pelo fósforo remanescente (P-rem). A planilha também calcula a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases. As unidades de entrada são indicadas na própria interface e devem ser compatíveis com os métodos analíticos utilizados pelo laboratório.

A recomendação de adubação é estruturada a partir de doses básicas e módulos de ajuste. A produtividade mínima de referência é de 750 kg ha^{-1} , e cada módulo de produtividade corresponde a 150 kg ha^{-1} . Para produtividades iguais ou inferiores a esse patamar, o fator de produtividade é igual a zero. Acima da produtividade de referência, o fator corresponde ao número de módulos de produtividade calculados pela planilha, limitado ao máximo de 20.

Para N, P_2O_5 e K_2O , a dose recomendada é calculada pela expressão:

$$D = \max [0, D_0 + (F_{prod} + F_{solo} + F_{nut}) \times M]$$

em que D é a dose recomendada; D_0 é a dose básica; M é a quantidade de nutriente correspondente a cada módulo; F_{prod} é o fator associado à produtividade; F_{solo} é o fator definido a partir da classe de fertilidade do solo; e F_{nut} é o fator associado à classe nutricional estabelecida a partir dos índices CND e do IBNm.

Os fatores de ajuste podem assumir valores positivos, nulos ou negativos. Dessa forma, condições de maior demanda produtiva, baixa disponibilidade do nutriente no solo ou insuficiência nutricional podem elevar a dose em relação ao valor básico, enquanto condições de elevada disponibilidade no solo ou de excesso e alto excesso nutricional podem reduzi-la. A função $\max[0, \dots]$ aplicada à dose final impede apenas a geração de recomendações negativas, permitindo que a dose calculada seja inferior à dose básica e, quando o conjunto dos fatores justificar, igual a zero.

As doses básicas e os módulos utilizados são, respectivamente, 75 e 18 kg ha^{-1} para N; 90 e 30 kg ha^{-1} para P_2O_5 ; e 60 e 18 kg ha^{-1} para K_2O . Para B e Zn, as doses básicas são de 1 e 2 kg ha^{-1} , respectivamente, e os módulos correspondem a $1,0 \text{ kg}$

ha^{-1} de B e $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn. Esses parâmetros integram a estrutura de adubação modular da versão da planilha **Fertiliza Cacau** disponibilizada no repositório Zenodo (WADT, 2026).

A recomendação de calagem considera a CTC, a saturação por bases observada e os valores-alvo definidos nos parâmetros internos da planilha. A quantidade calculada é ajustada de acordo com o poder relativo de neutralização total (PRNT) do calcário informado pelo usuário. A recomendação de gessagem é calculada quando não é acionada a regra de recomendação de calagem, considerando a classe de Ca + Mg e o P-rem.

As doses recomendadas podem ser parceladas em uma, duas ou três aplicações, conforme as opções previstas na ferramenta. Para B e Zn, a planilha também contempla aplicações foliares em intervalos bimestrais ou trimestrais. Quando o usuário seleciona a opção de fertilizante composto, o sistema gera até três formulações N-P-K e calcula as respectivas quantidades necessárias para atender às doses recomendadas. Na opção por fontes simples, as quantidades dos fertilizantes são calculadas a partir dos teores de nutrientes cadastrados para ureia, sulfato de amônio, superfosfatos e cloreto de potássio.

Demonstração da ferramenta

A demonstração utiliza o conjunto de dados incorporado à versão da planilha Fertiliza Cacau disponibilizada no repositório Zenodo (WADT, 2026). O exemplo corresponde a uma lavoura irrigada, com cinco anos de idade, composta por 851 plantas distribuídas em uma área de $0,79 \text{ ha}$ e produtividade informada de 835 kg ha^{-1} .

Os teores foliares utilizados na diagnose foram de $14,0 \text{ g kg}^{-1}$ de N; $2,10 \text{ g kg}^{-1}$ de P; $9,00 \text{ g kg}^{-1}$ de K; $13,75 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca; $5,50 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg; e $0,98 \text{ g kg}^{-1}$ de S. Para os micronutrientes, os teores foram de 75 mg kg^{-1} de B; 50 mg kg^{-1} de Zn; 110 mg kg^{-1} de Fe; 355 mg kg^{-1} de Mn; e 10 mg kg^{-1} de Cu.

Os dados de fertilidade do solo informados à planilha foram: pH em água de 5,80; carbono orgânico de $0,74 \text{ dag L}^{-1}$; Ca de $2,80 \text{ cmolc L}^{-1}$; Mg de $0,60 \text{ cmolc L}^{-1}$; Al de $0,00 \text{ cmolc L}^{-1}$; K de $0,34 \text{ cmolc L}^{-1}$; H + Al de $3,48 \text{ cmolc L}^{-1}$; e CTC de $7,22 \text{ cmolc L}^{-1}$. O teor de P disponível foi de 14 mg L^{-1} , o P-rem de 36 mg L^{-1} e a saturação por bases de 51,80%.

Esse conjunto de informações é processado de forma integrada pela planilha. Os dados foliares são submetidos ao fechamento composicional, à transformação clr e ao cálculo dos índices CND, enquanto os atributos do solo são classificados segundo os critérios de fertilidade incorporados à ferramenta. Em seguida, os fatores relacionados à produtividade, à fertilidade do solo e ao estado nutricional são combinados no cálculo modular das doses de nutrientes, permitindo tanto incrementos quanto reduções em relação às doses básicas, respeitado o limite mínimo

de zero.

Fluxo de processamento e rastreabilidade

A arquitetura da planilha Fertiliza Cacau organiza o fluxo de processamento em cinco abas, separando a entrada de dados, a diagnose nutricional, a recomendação, os parâmetros auxiliares e os cálculos da adubação modular. Essa estrutura reduz a necessidade de intervenção direta do usuário nas fórmulas e permite acompanhar as informações e os parâmetros empregados na geração de cada recomendação.

Os dados cadastrais, produtivos e analíticos inseridos na aba DadosBásicos são utilizados pelas abas DiagnoseFoliar e Recomendacao para o cálculo dos índices CND, interpretação do estado nutricional, classificação da fertilidade do solo e definição das doses de corretivos e fertilizantes. As abas auxiliares Lista e TabelaModular armazenam classes de interpretação, doses básicas, módulos de ajuste, características das fontes de nutrientes e demais parâmetros utilizados pelo sistema. Dessa forma, a recomendação final pode ser relacionada aos dados de entrada e aos critérios empregados em seu cálculo.

O relatório gerado pela ferramenta reúne a identificação da propriedade e da lavoura, os resultados das análises foliares e de solo, as respectivas classes de interpretação, as doses recomendadas, o parcelamento das aplicações e, quando selecionadas, as fontes simples ou formulações compostas de fertilizantes. Essa organização favorece a documentação das decisões técnicas e a rastreabilidade da recomendação.

A versão da planilha disponibilizada no repositório Zenodo (WADT, 2026) não utiliza macros para a execução dos cálculos. As operações são realizadas por fórmulas e parâmetros incorporados ao próprio arquivo, o que permite verificar os procedimentos de cálculo por meio da inspeção das fórmulas, das células de processamento e das tabelas auxiliares. Essa característica facilita a conferência das recomendações e a atualização dos parâmetros à medida que novas normas ou critérios de interpretação sejam incorporados à ferramenta.

A Fertiliza Cacau também permite gerar recomendações quando a análise foliar não está disponível. Nessa condição, a diagnose nutricional não participa do ajuste modular e o fator nutricional (F_{nut}) é assumido como igual a zero. As doses passam, portanto, a ser definidas a partir da dose básica e dos fatores associados à produtividade (F_{prod}) e à fertilidade do solo (F_{solo}).

Essa possibilidade amplia a aplicabilidade da ferramenta em situações nas quais não há resultados de análise foliar. Entretanto, a ausência dessa informação reduz a capacidade do sistema de incorporar o balanço nutricional da planta à recomendação e, consequentemente, de ajustar as doses em função de condições de insuficiência, equilíbrio, excesso ou alto excesso identificadas pelos índices CND. Por essa razão, sempre que disponível e representativa da lavoura, a análise foliar deve ser utilizada

em conjunto com a análise de solo e as informações de produtividade.

Diagnose do exemplo

No conjunto de dados utilizado na demonstração, o componente residual R foi de $954,07 \text{ g kg}^{-1}$, e a média geométrica dos 12 componentes da composição foi de $1,3177 \text{ g kg}^{-1}$. Após a transformação clr e a padronização pelas normas da população de referência, os índices CND variaram de $-1,69$ para N a $3,10$ para B. O IBNm, calculado exclusivamente a partir dos valores absolutos dos índices CND dos 11 nutrientes, foi de $1,21$.

A Figura 4 apresenta os índices CND dos nutrientes e os limites correspondentes a $+IBNm$ e $-IBNm$, utilizados na classificação do estado nutricional. O N apresentou o menor valor entre os índices CND e módulo superior ao IBNm, sendo classificado como alta insuficiência. Entre os nutrientes com índices positivos e módulo igual ou superior ao IBNm, o B apresentou o maior valor do índice CND e, portanto, foi classificado como alto excesso. O P também apresentou índice positivo com módulo igual ou superior ao IBNm, mas inferior ao observado para B, sendo classificado como excesso.

Os nutrientes K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn e Cu foram classificados como equilibrados, pois apresentaram índices CND com valores absolutos inferiores ao IBNm. Embora K, S, Zn e Mn tenham apresentado índices negativos, a magnitude desses índices permaneceu abaixo do limite definido pelo IBNm e, portanto, esses nutrientes não foram classificados em condição de insuficiência.

Essa classificação exemplifica a lógica do critério adotado pela Fertiliza Cacao: o sinal do índice CND indica a direção do desequilíbrio em relação à população de referência, enquanto sua magnitude em relação ao IBNm determina se o nutriente permanece em equilíbrio ou passa a ser classificado em condição de insuficiência ou excesso. Entre os nutrientes que ultrapassam o IBNm, os menores e maiores valores dos índices CND identificam, respectivamente, as classes de alta insuficiência e alto excesso.

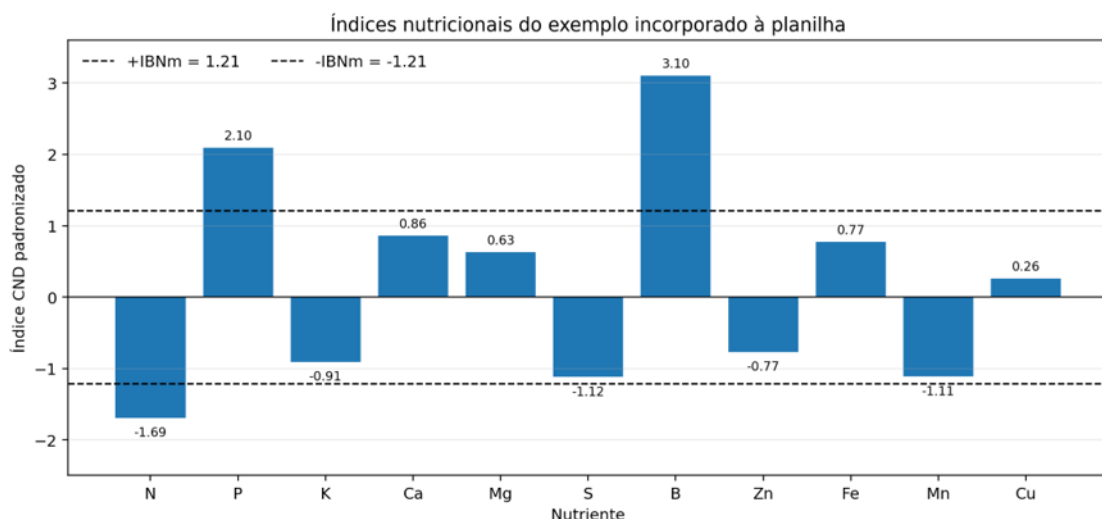


Figura 4. Índices CND e limites definidos pelo índice de balanço nutricional médio (IBNm) para o conjunto de dados de demonstração.

Tabela 4. Teores foliares, índices e classes nutricionais obtidos na demonstração.

Nutriente	Teor foliar	Índice CND	Classe
N	14,00 g kg ⁻¹	-1,69	Alta insuficiência
P	2,10 g kg ⁻¹	2,10	Alto excesso
K	9,00 g kg ⁻¹	-0,91	Equilíbrio
Ca	13,75 g kg ⁻¹	0,86	Equilíbrio
Mg	5,50 g kg ⁻¹	0,63	Equilíbrio
S	0,98 g kg ⁻¹	-1,12	Equilíbrio
B	75 mg kg ⁻¹	3,10	Excesso
Zn	50 mg kg ⁻¹	-0,77	Equilíbrio
Fe	110 mg kg ⁻¹	0,77	Equilíbrio
Mn	355 mg kg ⁻¹	-1,11	Equilíbrio
Cu	10 mg kg ⁻¹	0,26	Equilíbrio

Limitações e atualização das normas CND

A interpretação da diagnose nutricional deve considerar que as normas CND incorporadas à planilha são preliminares e foram obtidas a partir de 105 observações da população de referência. A robustez dos índices CND e, conseqüentemente, da classificação do estado nutricional depende da representatividade dessa população em

relação às condições das lavouras avaliadas, incluindo material genético, idade das plantas, nível de sombreamento, disponibilidade hídrica, época de amostragem e condições edafoclimáticas.

A aplicação das normas a lavouras com características distintas daquelas representadas na população de referência pode alterar os valores dos índices CND, o IBNm e, consequentemente, a classificação e o ordenamento relativo dos nutrientes quanto às condições de insuficiência, equilíbrio ou excesso. Por essa razão, as normas devem ser submetidas a processo contínuo de avaliação e recalibração à medida que sejam incorporados novos dados de lavouras comerciais e resultados de ensaios de resposta à adubação.

A estrutura da planilha Fertiliza Cacau permite essa atualização progressiva, possibilitando que o sistema de diagnose e recomendação seja aperfeiçoado conforme se amplie a base de dados utilizada para representar diferentes materiais genéticos, sistemas de cultivo e ambientes de produção do cacauzeiro.

Recomendação modular gerada no exemplo

Para a produtividade de 835 kg ha^{-1} , o fator de produtividade (F_{prod}) foi igual a 1. Para N, a classe de carbono orgânico do solo não alterou o fator de fertilidade ($F_{solo} = 0$), enquanto a condição de alta insuficiência nutricional acrescentou dois módulos ($F_{nut} = 2$). Considerando também o fator de produtividade, o ajuste total correspondeu a três módulos. Com dose básica de 75 kg ha^{-1} de N e módulo de 18 kg ha^{-1} , a dose recomendada foi de 129 kg ha^{-1} de N (Tabela 5).

Para P_2O_5 , a classe de P disponível no solo não alterou o número de módulos ($F_{solo} = 0$). A classificação nutricional de P como excesso resultou na redução de um módulo ($F_{nut} = -1$), enquanto a produtividade acrescentou um módulo ($F_{prod} = 1$). Os dois fatores se compensaram, resultando em ajuste modular igual a zero e, consequentemente, na recomendação de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , correspondente à dose básica (Tabela 5).

Para K_2O , a classe alta de disponibilidade de K no solo reduziu a recomendação em um módulo ($F_{solo} = -1$), enquanto o equilíbrio nutricional não produziu ajuste ($F_{nut} = 0$) e a produtividade acrescentou um módulo ($F_{prod} = 1$). Novamente, os fatores se compensaram, mantendo-se a dose de 60 kg ha^{-1} de K_2O , correspondente à dose básica (Tabela 5).

A necessidade de calcário, expressa inicialmente para um corretivo com 100% de poder de neutralização, foi de 394 kg ha^{-1} . Após o ajuste para o PRNT de 60% informado no exemplo, a recomendação correspondeu a aproximadamente $0,66 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário. Não houve recomendação de gesso. Para B e Zn, a planilha gerou doses totais de 1 e 2 kg ha^{-1} , respectivamente, conforme as regras específicas de

recomendação desses micronutrientes incorporadas à versão disponibilizada no repositório Zenodo (WADT, 2026).

O N foi distribuído em duas aplicações, correspondentes a 77,4 e 51,6 kg ha⁻¹. O K₂O também foi parcelado em duas aplicações, de 30 kg ha⁻¹ cada, enquanto o P₂O₅ foi recomendado em aplicação única de 90 kg ha⁻¹. Para os micronutrientes, o parcelamento selecionado resultou em três aplicações foliares de aproximadamente 0,33 kg ha⁻¹ de B e duas aplicações foliares de 1,0 kg ha⁻¹ de Zn (Tabela 5).

Tabela 5. Síntese da recomendação gerada pela planilha Fertiliza Cacau para o conjunto de dados utilizado na demonstração.

Insumo/nutriente	Dose total	Parcelas	Distribuição	Equivalente por planta
N	129 kg ha ⁻¹	2	77,4 + 51,6 kg ha ⁻¹	119,8 g planta ⁻¹
P ₂ O ₅	90 kg ha ⁻¹	1	90 kg ha ⁻¹	83,5 g planta ⁻¹
K ₂ O	60 kg ha ⁻¹	2	30 + 30 kg ha ⁻¹	55,7 g planta ⁻¹
Calcário	0,66 t ha ⁻¹	1	PRNT = 60%	—
Gesso	0	—	Não recomendado	—
B	1 kg ha ⁻¹	3 foliares	0,33 kg ha ⁻¹ por aplicação	0,93 g planta ⁻¹ no total
Zn	2 kg ha ⁻¹	2 foliares	1,0 kg ha ⁻¹ por aplicação	1,86 g planta ⁻¹ no total

Na opção por fertilizantes compostos, as doses de N, P₂O₅ e K₂O foram convertidas em duas formulações: 15–18–6 e 26–0–15. Para a primeira aplicação, a quantidade calculada foi de aproximadamente 500 kg ha⁻¹ da formulação 15–18–6; para a segunda, aproximadamente 198 kg ha⁻¹ da formulação 26–0–15. Essas quantidades correspondem, respectivamente, a cerca de 464 e 184 g planta⁻¹.

A combinação dessas formulações aproxima o fornecimento dos nutrientes das quantidades estabelecidas para cada parcela, embora pequenas diferenças possam ocorrer em razão da necessidade de compatibilizar as relações entre N, P₂O₅ e K₂O com formulações discretas. Por essa razão, a disponibilidade comercial das formulações, a compatibilidade física e química entre as matérias-primas e as garantias de nutrientes dos produtos devem ser verificadas antes da aquisição ou preparação da mistura.

Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação para Cacaueiros										
Alta Insuf	Alto Exc	Equ	Equ	Equ	Equ	Exc	Equ	Equ	Equ	Equ
Fertilidade do Solo										
pH H ₂ O	C-org dag L ⁻¹	Ca trocável	Mg trocável	Al trocável	K disponível cmol (+) L ⁻¹	H + Al	CTC	P disponível mg L ⁻¹	P rem	Y%
5,80	0,74	2,80	0,60	0,00	0,34	3,48	7,22	14,00	36,00	51,80
acidez leve	baixo	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto
Nutrientes (kg ha ⁻¹)										
Aplicações	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Calcário	Gesso	B	Zn	Fe	Mn	Cu
Formulações	Composto		Simples		Simples	Simples	Simples	Composto		
Parcelamento	Dois	Um	Dois	Um	Um	Bimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
1	77	90	30	394						
2	52		30							
3										
Foliar						0,3	1,0			
Total	129	90	60	394		1,0	2,0			
Nutrientes (g planta ⁻¹)										
Parcelamento										
1	72	84	28	366						
2	48		28							
3										
Foliar						0,31	0,93			
Total	120	84	56	366		0,93	1,86	0,00	0,00	0,00
PRNT(%)				60						
ton ha ⁻¹				0,66						
Composto	Fórmula	kg ha ⁻¹	g planta ⁻¹							
1	15 - 18 - 6	500	464							
2	26 - 0 - 15	198	184							
3	0 - 0 - 0									

Embrap

CNPq - Processo 307808/2020-3

Figura 5. Trecho do relatório da planilha Fertiliza Cacao contendo as classes de fertilidade do solo, as doses recomendadas, o parcelamento e as formulações calculadas para o conjunto de dados da demonstração.

O exemplo evidencia a lógica da adubação modular balanceada, na qual a recomendação resulta da integração dos fatores de produtividade, fertilidade do solo e estado nutricional, e não da utilização isolada de qualquer um desses indicadores. Para N, a alta insuficiência nutricional, associada ao incremento de produtividade, elevou a dose em relação ao valor básico. Para P₂O₅, o incremento decorrente da produtividade foi compensado pela condição de excesso nutricional. Para K₂O, o incremento associado à produtividade foi compensado pela alta disponibilidade de K no solo. Nos dois últimos casos, a compensação entre fatores resultou na manutenção das respectivas doses básicas.

Aplicações, limitações e necessidades de validação e aprimoramento

A principal contribuição operacional da planilha Fertiliza Cacao é integrar, em um único fluxo de processamento, informações de produtividade, fertilidade do solo e estado nutricional da lavoura, associando-as à definição das doses de corretivos e fertilizantes, ao parcelamento das aplicações e à seleção de fontes simples ou formulações compostas. Essa integração permite explicitar os critérios utilizados na recomendação e favorece a rastreabilidade das decisões adotadas pelo responsável técnico. Quando os relatórios são sistematicamente arquivados, também podem subsidiar o acompanhamento das recomendações ao longo das safras e a avaliação de

alterações no manejo e no estado nutricional das lavouras.

A ferramenta também apresenta potencial de utilização em programas de assistência técnica e monitoramento de lavouras, nos quais pode contribuir para padronizar a coleta e a organização das informações necessárias à recomendação de adubação. A estrutura modular permite ainda identificar a contribuição relativa dos fatores de produtividade, fertilidade do solo e estado nutricional para a dose final recomendada, tornando mais transparente o processo de tomada de decisão.

A planilha, entretanto, não deve ser interpretada como um sistema autônomo de prescrição. A qualidade da recomendação depende da representatividade das amostragens de solo e folhas, da qualidade analítica dos laboratórios, da correta utilização das unidades de medida e da consistência das informações fornecidas sobre a lavoura. A interpretação técnica também deve considerar aspectos que não são integralmente representados pelos algoritmos da ferramenta, como histórico de adubação, expectativa de produtividade, disponibilidade hídrica, nível de sombreamento, condições fitossanitárias e demais características do sistema de produção.

Outra limitação importante está associada às normas CND utilizadas na diagnose nutricional. As normas incorporadas à versão disponibilizada no repositório Zenodo (WADT, 2026) são preliminares e foram obtidas a partir de 105 observações da população de referência. Consequentemente, a estabilidade dos índices CND, do IBNm e das classes nutricionais depende da representatividade dessa população em relação às condições em que a ferramenta é aplicada. A ampliação da base de dados, incorporando diferentes materiais genéticos, idades das plantas, condições de sombreamento, disponibilidade hídrica, épocas de amostragem e ambientes edafoclimáticos, deverá contribuir para o aperfeiçoamento progressivo das normas.

Da mesma forma, as doses básicas, os módulos e os fatores empregados na adubação modular constituem parâmetros operacionais que necessitam de avaliação contínua. Sua calibração deve ser apoiada por ensaios de resposta à adubação, monitoramento de lavouras comerciais e avaliações agrônomicas e econômicas. Esse processo é particularmente importante porque a estrutura modular permite que os fatores associados à produtividade, à fertilidade do solo e ao estado nutricional aumentem ou reduzam as doses em relação aos valores básicos, inclusive até zero, embora não sejam admitidas recomendações negativas.

A versão atualmente disponibilizada apresenta diagnose nutricional para Fe, Mn e Cu, porém não incorpora módulos específicos para a recomendação desses micronutrientes. O S também participa da diagnose nutricional, mas não possui módulo independente de recomendação. Seu fornecimento pode ocorrer indiretamente por meio de fontes utilizadas para outros fins agrônômicos, como gesso agrícola, superfosfato simples e sulfato de amônio.

O aprimoramento da Fertiliza Cacau poderá incluir a calibração de módulos específicos para outros nutrientes, ampliação do cadastro de fertilizantes,

incorporação de informações sobre custos e eficiência de uso de nutrientes e desenvolvimento de mecanismos para acompanhamento temporal das recomendações por propriedade ou talhão. Por sua estrutura transparente e passível de atualização, a ferramenta deve ser compreendida como um sistema de apoio à decisão em processo contínuo de aperfeiçoamento, cuja aplicação deve permanecer associada à interpretação de profissional habilitado e à incorporação progressiva de novas evidências experimentais e de campo.

Conclusões

A planilha Fertiliza Cacau integra informações de produtividade, fertilidade do solo e estado nutricional das plantas em um único sistema de apoio à diagnose nutricional e à recomendação de corretivos e fertilizantes para lavouras cacaujeiras. O tratamento composicional dos dados foliares, com inclusão do componente residual (R) , transformação log-razão centrada (clr), cálculo dos índices CND e do IBNm com os 11 nutrientes avaliados, permite interpretar o balanço nutricional da lavoura em relação à população de referência.

A recomendação modular explicita a contribuição dos fatores associados à produtividade, à fertilidade do solo e ao estado nutricional para o ajuste das doses de N, P_2O_5 , K_2O , B e Zn, além de incorporar critérios para calagem, gessagem, parcelamento das aplicações e definição de fontes simples ou formulações N-P-K. No conjunto de dados utilizado na demonstração, a alta insuficiência de N elevou a dose recomendada desse nutriente, enquanto, para P_2O_5 e K_2O , a combinação entre os fatores de produtividade, fertilidade do solo e estado nutricional resultou na manutenção das respectivas doses básicas.

A Fertiliza Cacau também favorece a rastreabilidade das recomendações ao tornar explícitos os dados de entrada, os parâmetros utilizados, as classes de interpretação e as etapas de cálculo. Entretanto, a ferramenta não deve ser utilizada como sistema autônomo de prescrição. Sua aplicação requer interpretação por profissional habilitado e deve estar associada à avaliação contínua da representatividade das normas CND, dos critérios de interpretação da fertilidade do solo e dos parâmetros da adubação modular.

A versão disponibilizada no repositório Zenodo (WADT, 2026) constitui, portanto, um produto tecnológico de apoio à decisão, estruturado para permitir atualização progressiva à medida que novos dados de lavouras comerciais, ensaios de resposta à adubação e informações agronômicas e econômicas sejam incorporados. Esse processo de calibração é necessário para ampliar sua aplicabilidade a diferentes materiais genéticos, condições edafoclimáticas e sistemas de cultivo do cacaujeiro..

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio ao projeto Fertiliza Cacao, Processo nº 307808/2020-3; à Fundação Rondônia de Amparo ao Desenvolvimento das Ações Científicas e Tecnológicas e à Pesquisa do Estado de Rondônia (FAPERO), pelo apoio às ações de pesquisa relacionadas ao manejo nutricional do cacauieiro; e à Embrapa, à Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), ao Serviço Nacional de Aprendizagem Rural de Rondônia (SENAR-RO) e à Universidade Federal de Rondônia (UNIR), pelas contribuições institucionais às atividades de diagnose nutricional, manejo da fertilidade do solo e desenvolvimento das recomendações de adubação para a cultura do cacauieiro.

Referências

AITCHISON, J. *The statistical analysis of compositional data*. London: Chapman and Hall, 1986. 416 p.

Association of Official Agricultural Chemists. *Official methods of analysis*. Appendix F: guidelines for standard method performance requirements. Rockville: AOAC International, 2016.

CARMO, C. A. F. de S. do; ARAÚJO, W. S. de; BERNARDI, A. C. de C.; SALDANHA, M. F. C. *Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41 p. (Circular Técnica, 6).

JONES, C. A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analyses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 12, p. 785–794, 1981. DOI: 10.1080/00103628109367194.

National Institute of Standards and Technology. *Standard Reference Material 1515: Apple Leaves: certificate of analysis*. Gaithersburg: NIST, 2022.

PARENT, L.-É.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 117, n. 2, p. 239–242, 1992.

WADT, P. G. S. *Os métodos da Chance Matemática e do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto*. 1996. 99 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

WADT, P. G. S. *Diagnose foliar e recomendação de adubação para lavouras comerciais*. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2011. 69 p. (Documentos, 120).

WADT, P. G. S. *DRIS Cacao - Integrated System for Diagnosis and Recommendation of Fertilization for Cacao Trees*. Version 20240223. Zenodo, 2026. Software. Disponível em: <https://zenodo.org/records/22761991>. Acesso em: 15 set. 2026.

WADT, P. G. S.; ALVAREZ V., V. H. Monitoramento nutricional. In: WADT,

P. G. S. (ed.). *Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre*. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. p. 227–244.

WADT, P. G. S.; SILVA, D. J.; MAIA, C. E.; TOMÉ JÚNIOR, J. B.; PINTO, P. A. da C.; MACHADO, P. L. O. de A. Modelagem de funções no cálculo dos índices DRIS. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 57–64, 2007.

WADT, P. G. S.; SILVA, L. M. Determinação do fósforo remanescente para a avaliação da disponibilidade de fósforo em solos do Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2011. (Comunicado Técnico, 178).



CACAUCULTURA EM RONDÔNIA: ESTADO DA ARTE E PARADIGMAS DA PRODUTIVIDADE

COCOA FARMING IN RONDÔNIA: STATE OF THE ART AND PRODUCTIVITY PARADIGMS

*Jairo Rafael Machado Dias – Universidade Federal de Rondônia – UNIR/RO; George
Andrade Sodré – Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC/BA*

Destaque: Elevar a produtividade do cacau em Rondônia exige integração entre genética superior, propagação clonal, arranjos adensados, condução organizada, manejo hídrico-nutricional e estratégias de polinização.

Highlight: Increasing cocoa productivity in Rondônia requires integrating superior genetics, clonal propagation, high-density planting, organized canopy training, water and nutrient management, and pollination strategies.

Resumo

Este capítulo aborda perspectivas e potencialidades da cultura cacaueteira na Amazônia, especialmente no estado de Rondônia, com ênfase no uso de clones, nos sistemas de propagação, na resiliência ambiental, no manejo e nos principais gargalos para a sustentabilidade da atividade. A análise considera o desafio de elevar a produtividade média, estimada em 1.269 kg ha⁻¹, para patamares superiores a 5.000 kg ha⁻¹. Para isso, são discutidos quatro eixos agrônômicos: i) uso de genótipos superiores autocompatíveis, com destaque para o clone CCN-51; ii) aprimoramento das técnicas de propagação vegetativa com utilização de ramos ortotrópicos; iii) reorganização dos arranjos espaciais de cultivo, incluindo sistemas adensados e condução do plantio em espaldeira, com ênfase no sistema candelabro; e iv) polinização do cacaueteiro. A premissa central é que a viabilidade socioeconômica e ambiental da cacauicultura em Rondônia dependerá, em grande medida, do incremento da produtividade das áreas cultivadas.

Palavras-chave: Produtividade; Genótipos autocompatíveis; Mudanças por estaquia;

Arranjo espacial; Clone CCN-51.

Abstract

This chapter addresses perspectives and potentialities of cocoa farming in the Amazon, especially in the state of Rondônia, with emphasis on the use of clones, propagation systems, environmental resilience, crop management, and the main bottlenecks for the sustainability of the activity. The analysis considers the challenge of increasing the average yield, estimated at 1,269 kg ha⁻¹, to levels above 5,000 kg ha⁻¹. Four agronomic axes are discussed: i) use of superior self-compatible genotypes, with emphasis on the CCN-51 clone; ii) improvement of vegetative propagation techniques using orthotropic branches; iii) reorganization of spatial planting arrangements, including high-density systems and trellis-trained plantings, with emphasis on the candelabrum system; and iv) cocoa pollination. The central premise is that the socioeconomic and environmental viability of cocoa farming in Rondônia will depend, to a large extent, on increased productivity in cultivated areas.

Keywords: Productivity; Self-compatible genotypes; Cutting-derived seedlings; Spatial arrangement; CCN-51 clone.

O paradigma da produtividade para a sustentabilidade da cadeia produtiva do cacau em Rondônia

Embora o consumo mundial de amêndoas de cacau alcance aproximadamente cinco milhões de toneladas por ano, com predominância da produção em países do continente africano, principalmente Costa do Marfim, Gana, Camarões e Nigéria (ICCO, 2026), a participação brasileira nesse mercado permanece limitada e inferior a 250 mil toneladas anuais. No Brasil, os estados da Bahia e do Pará respondem por mais de 93% da produção nacional (Vidal, 2025). Em Rondônia, essa condição torna-se ainda mais restritiva em razão do baixo rendimento das lavouras, com produção inferior a 10 mil toneladas anuais (IBGE, 2024).

Apesar de sua relevância econômica, o cacau é uma commodity agrícola sujeita a elevada instabilidade na formação de preços internacionais, com variação próxima de 50%, comparativamente ao café (25,3%), seu principal concorrente em Rondônia (Zugaib e Barreto, 2015). Além da variação de preços no mercado internacional, o baixo nível tecnológico das lavouras cacaueiras, associado a práticas de manejo inadequadas e ao risco iminente de novas doenças, como a monilíase do cacaueiro (*Moniliophthora roreri*), já presente em países vizinhos e no estado do Acre, tem contribuído para a estagnação da cacaucultura em Rondônia nos últimos anos (Brasil, 2021).

O estado de Rondônia já produziu mais de 20 mil toneladas de amêndoas de cacau

em pouco menos de 40 mil hectares, com destaque para os municípios de Ariquemes, Jaru e Cacaulândia, que respondiam por mais de 50% da produção estadual em meados dos anos 2000. Entretanto, ao final da década de 2010, registrou-se redução superior a 70% da área produtiva, com produção anual pouco acima de cinco mil toneladas (Lima e Rocha, 2020; Santos et al., 2023). Nos últimos 50 anos, a cacaucultura rondoniense oscilou entre o abandono de lavouras híbridas envelhecidas e, mais recentemente, a implantação de novas áreas cultivadas de forma mais intensiva.

Nesse contexto, um sistema de produção capaz de elevar os níveis de produtividade, a exemplo do modelo “Cacau 500”, correspondente a 500 arrobas por hectare, ou 7.500 kg ha^{-1} , constitui referência técnica para a reorientação do sistema de produção de cacau em Rondônia (Zugaib et al., 2020). O alcance desse patamar produtivo tem sido limitado principalmente pela origem genética e pela idade avançada das lavouras, pelos tratos culturais inadequados, pelo manejo hídrico, nutricional e fitossanitário insuficiente e pela baixa capacidade de investimento do cacaucultor. Também depende de mudanças na base tecnológica e na forma de gerenciamento da atividade cacauceira.

A baixa produtividade registrada em Rondônia associa-se, em grande medida, à forma de implantação das lavouras nas décadas de 1970 e 1980, em áreas anteriormente ocupadas por pastagens degradadas, sem planejamento agrônomo compatível com as exigências da cultura, com plantios de híbridos formados por mudas de origem semínifera e uso limitado de materiais genéticos superiores.

Nessas condições, a sustentabilidade da cacaucultura não se define apenas pela permanência da cultura na paisagem nem pela adoção de sistemas de baixa intervenção. Sob a ótica da efetividade agrônoma, a sustentabilidade depende da capacidade de elevar a produtividade, a qual sustenta simultaneamente a viabilidade econômica da atividade, a permanência do produtor no meio rural e a melhoria da qualidade de vida, reduzindo a pressão pela abertura de novas áreas.

A elevação da produtividade permite aumentar o retorno sobre o investimento, melhorar a eficiência do uso dos insumos e fortalecer a atratividade econômica da atividade cacauceira. Do ponto de vista econômico, aumentar a eficiência produtiva, expressa pelo rendimento por hectare, é necessário para ampliar a competitividade da cacaucultura de Rondônia frente às alternativas de uso da terra que competem diretamente, como a cafeicultura, ou indiretamente, como a produção de grãos e a pecuária (Lima e Rocha, 2020).

No plano social, o aumento da rentabilidade do sistema produtivo cacauceiro favorece melhores condições de remuneração do trabalho rural, maior estabilidade econômica das unidades produtivas e melhores perspectivas de permanência das famílias no campo. Esse aspecto assume relevância estratégica em regiões nas quais a continuidade da atividade agrícola depende da capacidade da propriedade rural de gerar renda suficiente para manter a mão de obra e assegurar condições adequadas para a sucessão familiar.

Do ponto de vista ambiental, a intensificação produtiva da cacaucultura apresenta efeito “poupa-terra”. Produzir 7.500 kg ha^{-1} , em contraste com os 1.251 kg ha^{-1} produzidos em Rondônia (IBGE, 2024), significa necessitar de pouco mais de 15% da área atualmente cultivada para manter os mesmos níveis produtivos, reduzindo de forma substancial a necessidade de incorporação de novas áreas para incremento da produção.

Considerando ainda que o cacauieiro é uma espécie nativa da Amazônia e compatível com sistemas perenes de maior complexidade estrutural, o aumento da produtividade também contribui para reduzir a pressão sobre o desmatamento e ampliar a viabilidade da recuperação de áreas degradadas ou com passivos ambientais, mediante o uso de sistemas agroflorestais (SAFs) com espécies perenes de elevado valor econômico, a exemplo do açaizeiro, cafeeiro e guaranazeiro, além de outras frutíferas e essências florestais nativas.

Os SAFs configuram-se como uma das abordagens sustentáveis mais promissoras para a agricultura tropical contemporânea na Amazônia, ao integrarem produção agrícola, serviços ecossistêmicos e adaptação climática. Esses sistemas possibilitam melhor uso vertical e horizontal do ambiente, modulação do microclima, aumento da ciclagem de nutrientes, diversificação de renda, sequestro e estocagem de carbono, além de compatibilidade com a recuperação produtiva de áreas degradadas, incluindo Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente, que obrigatoriamente precisam ocupar 80% da propriedade rural no bioma Amazônia, conforme previsto no Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2024).

A modernização da cacaucultura no estado de Rondônia

A renovação do parque cacauieiro rondoniense com genótipos superiores constitui etapa decisiva para sua modernização. Na renovação das lavouras, a utilização de propágulos vegetativos, por meio de técnicas de clonagem, além de acelerar os ganhos genéticos, possibilita maior eficiência nos tratamentos culturais e na aplicação das principais práticas de manejo nutricional, fitossanitário e hídrico. Embora lavouras híbridas apresentem maior estabilidade produtiva sob condição de manejo com reduzido aporte de insumos, em razão da ampla variabilidade genética, esses materiais tendem a responder de forma limitada aos modelos tecnológicos mais intensivos (Almeida et al., 2009).

De forma semelhante ao que vem ocorrendo com a cafeicultura em Rondônia, a modernização da cacaucultura orientada para altas produtividades exige adequada escolha genética, cultivo em ambiente compatível e, principalmente, práticas de manejo corretas. Nessa perspectiva, a escolha do genótipo, ou clone, assume papel decisivo para elevar a eficiência agroeconômica do sistema de produção. O uso de genótipos inadequados compromete a resposta às práticas de manejo, restringe o potencial produtivo e reduz o desempenho da lavoura cacauieira. Em sentido oposto, a seleção de clones superiores permite maior uniformidade do pomar, melhor

aproveitamento dos insumos e maior capacidade de resposta às práticas de intensificação produtiva (Almeida et al., 2009, 2016).

Entre as características desejáveis para os sistemas modernos de cultivo do cacaueiro, a autocompatibilidade das plantas ocupa posição de destaque. Clones autocompatíveis favorecem o pegamento floral, especialmente em plantios homogêneos. Essa característica também confere maior flexibilidade ao arranjo do pomar, simplifica a implantação das áreas em blocos monoclonais e contribui para maior regularidade da frutificação. Em contraste, materiais autoincompatíveis dependem da presença de polinizadores naturais e de outras variedades compatíveis para assegurar a formação de frutos, o que impõe maior complexidade ao planejamento do plantio e pode limitar a eficiência reprodutiva da lavoura (Yamada et al., 2014).

Entre os genótipos já cultivados em Rondônia, destaca-se o clone CCN-51 (Colección Castro Naranjal), oriundo do Equador, com elevada resposta produtiva e ampla adaptabilidade a sistemas intensivos de cultivo. Trata-se de um clone autocompatível, com alta eficiência fisiológica e capacidade de converter o potencial produtivo da planta em maior rendimento econômico do pomar (Figuras 1 e 2). Genótipo: CCN-51

Genótipo: CCN-51
Porte: grande
Localização dos frutos: terço médio
Cor do fruto: vermelho-arroxeados
Tamanho dos frutos: médio a grande
Relação fruto/amêndoa (RFA): baixa
Número de sementes por fruto: 43
Massa das amêndoas: 1,55 g
Massa total de amêndoas por fruto: 67 g
Fácil propagação por estaquia: Sim
Longevidade do grão de pólen: Sim
Eficiência no uso da água: Sim
Resistência à vassoura-de-bruxa: Sim
Resistência à podridão-parda: Não
Resistência ao mal do facão: Não



Figura 1. Principais descritores do genótipo CCN-51 (Colección Castro Naranjal).



Figura 2. Genótipo de cacaueiro CCN-51 (Colección Castro Naranjal).

Outras características relevantes do genótipo CCN-51 são os baixos valores de índice de fruto (IF) e de relação fruto/amêndoa (RFA). O IF e a RFA são estimadores, respectivamente, da quantidade e da massa de frutos frescos necessárias para produzir 1,0 kg de amêndoa. O IF do CCN-51, considerando diferenças entre frutos e estações do ano, varia entre 14 e 18 frutos, permanecendo sempre inferior ao observado em híbridos (20 a 35 frutos). O baixo IF confere ao CCN-51 alta efetividade produtiva industrial, com melhor conversão da produção em produto comercial. A RFA do CCN-51 situa-se em torno de 10, valor inferior ao dos genótipos PS-13.19 e CEPEC-2002, nos quais são necessários mais de 15 kg de frutos frescos para o rendimento de 1,0 kg de amêndoa (Sodré e Nery, 2023).

Outro ponto relevante a ser observado no genótipo CCN-51 é sua suscetibilidade ao mal do facão, doença fúngica causada por *Ceratocystis cacaofunesta*. Assim, na produção de mudas por enxertia, recomenda-se a utilização de porta-enxertos resistentes, sugerindo-se híbridos de cacau comum ou os genótipos CEPEC-2002 e TSH-1188 (Silva et al., 2004, 2013).

Inovações na propagação vegetativa e tipos de mudas de cacaueiro

A produção de mudas constitui um dos componentes centrais da modernização da cacauicultura. Sua eficiência depende não apenas da adoção de métodos adequados de propagação vegetativa, mas também da qualidade fisiológica, genética e fitossanitária do material propagado. Nesse campo, observa-se descompasso

tecnológico entre Rondônia e outros estados produtores no Brasil, a exemplo das regiões Sudeste, especialmente São Paulo e Minas Gerais, e do sul da Bahia, que se destacam pela diversificação das técnicas de clonagem, pelo uso de viveiros com controle ambiental, nutricional e fitossanitário, pelo manejo de plantas matrizes e pela padronização e certificação fitossanitária das mudas de cacaueteiro.

A propagação por enxertia tradicional na cacauicultura, realizada em porta-enxerto seminal ou em broto basal, estratégia utilizada na Bahia nos anos 2000, revelou limitações técnicas e operacionais que restringem a expansão de cultivos intensivos e padronizados. Por outro lado, a adoção de técnicas baseadas em estaquia, largamente utilizada no Equador desde o século passado, apresenta potencial para ampliar a eficiência na produção de mudas, reduzir custos operacionais e aumentar a uniformidade dos plantios. Entretanto, a viabilidade agrônômica dessa estratégia depende diretamente do tipo de ramo utilizado na propagação, uma vez que a origem do material vegetativo condiciona a arquitetura futura da planta e, conseqüentemente, o padrão de desenvolvimento e uniformidade da área cultivada.

Embora produtivos, cacaueteiros propagados por estaquia ou enxertia com uso de ramos plagiotrópicos (Figura 3A), de forma geral, apresentam desuniformidade na formação da copa, elevando os custos de manejo em razão da necessidade de podas frequentes (Figura 3B).



Figura 3. Ramo plagiotrópico (A) e cacaueteiro oriundo de muda formada com ramo plagiotrópico (B).

Em contrapartida, plantas originárias de ramos ortotrópicos enraizados (Figura 4A) apresentam crescimento vertical, estrutura semelhante à de plantas seminíferas, enraizamento satisfatório, formação de raízes pivotantes e secundárias, facilidade de

manejo, redução dos gastos com podas, maior uniformidade do plantio e melhor controle fitossanitário (Figura 4B). Observações de campo mostram, no entanto, que plantas originárias de mudas ortotrópicas iniciam a produção entre seis e doze meses mais tarde, comparativamente às plantas oriundas de ramos plagiotrópicos (Sodré e Gomes, 2019; Serra e Sodré, 2021).



Figura 4. Ramo ortotrópico (A) e cacauieiro oriundo de muda formada com ramo ortotrópico (B).

A discussão sobre inovação em mudas na cacauicultura também envolve a necessidade de aperfeiçoamento dos recipientes utilizados na fase de viveiro. O uso predominante de sacos plásticos e solo mineral representa limitação para a qualidade do sistema radicular das mudas, especialmente por favorecer o enovelamento das raízes, o que compromete o estabelecimento inicial das plantas no campo. Nesse sentido, o uso de substratos comerciais, recipientes biodegradáveis do tipo biopote em estruturas suspensas, que facilitem a poda aérea das raízes, e outras soluções tecnológicas que minimizem deformações radiculares são fundamentais para elevar a qualidade das mudas e alinhar a cacauicultura às práticas modernas já observadas em outras cadeias produtivas de espécies perenes (Sodré e Gomes, 2019).

Arranjos espaciais e adensamento em cacaueiros

A reorganização dos arranjos espaciais na fase de implantação da lavoura cacauieira é componente relevante para a intensificação produtiva. O modelo tradicional de

cultivo, caracterizado pela densidade de 1.111 plantas ha^{-1} , no espaçamento de 3 m $\times$ 3 m, está historicamente associado a sistemas semiextrativistas conduzidos sob elevada densidade de sombra. Menores densidades de cultivo limitam o aproveitamento eficiente da radiação solar e reduzem a eficiência de práticas modernas de manejo, como irrigação e fertirrigação. Por outro lado, plantios adensados requerem configurações espaciais compatíveis com o conforto térmico da lavoura, proteção contra ventos, adequada interceptação luminosa e crescente mecanização das operações agrícolas.

O adensamento do plantio do cacauieiro deve ser compreendido como estratégia central para elevar a eficiência do uso da área cultivada. Espaçamentos mais reduzidos, como 3,0 m $\times$ 2,0 m, 2,5 m $\times$ 2,5 m e 2,0 m $\times$ 2,5 m, já vêm sendo considerados em condições de cultivo em Rondônia, assim como arranjos ainda mais intensivos, a exemplo de 2,0 m $\times$ 1,5 m, especialmente em situações de maior fertilidade do solo e disponibilidade de irrigação (Figura 5).



Figura 5. Cacaueiros em diferentes densidades: 3.333 plantas ha^{-1} , no espaçamento de 2 m $\times$ 1,5 m (A), e 2.000 plantas ha^{-1} , no espaçamento de 2 m $\times$ 2,5 m (B), em condições experimentais em Rondônia.

A lógica agrônômica desses sistemas adensados consiste em maximizar a interceptação da radiação solar pelas folhas mais ativas do dossel, acelerar o

fechamento da copa e aumentar a capacidade de supressão de plantas daninhas, com reflexos diretos sobre o desempenho produtivo e a eficiência do manejo.

A intensificação espacial do cultivo do cacaueiro, mais do que um simples aumento da densidade de plantas, envolve estratégias de condução da copa adaptadas às características morfológicas dos clones. Nesse sentido, destaca-se o sistema em espaldeira, ou “modelo Equador”, no qual o cacaueiro é conduzido em plano vertical, de forma análoga ao que ocorre em outras culturas perenes, como a videira. Nesse modelo, as plantas são organizadas em linhas sustentadas por estruturas aramadas, o que resulta em maior ordenamento da copa, melhor exposição das folhas à luz e maior acessibilidade para operações de manejo (Figura 6).



Figura 6. Plantio de cacaueiro em sistema de espaldeira, modelo Equador.

A condução em espaldeira favorece a aplicação mais eficiente de defensivos, simplifica a colheita e cria condições favoráveis para a automação e a mecanização da lavoura, aspectos dificilmente alcançáveis em plantas conduzidas em arquitetura tridimensional ampla e desuniforme.

Outra possibilidade de arranjo espacial é o sistema denominado candelabro, apresentado como alternativa de plantio para materiais clonais com ramos

plagiotrópicos menos lignificados, finos e mais suscetíveis à abertura excessiva da copa ou à quebra de ramos sob o peso dos frutos (Sodré e Leite, 2018).

Nessa configuração, as plantas são conduzidas com auxílio de fios de arame e estacas, de modo a oferecer sustentação física à copa e preservar sua integridade estrutural. Esse tipo de condução melhora o arranjo dos ramos produtivos, favorece o aproveitamento do espaço e pode contribuir para incrementos expressivos de produtividade, mesmo sem alterações substanciais em outros componentes do sistema.

Considerações sobre o cultivo do cacaueteiro no sistema candelabro

O sistema candelabro fundamenta-se no equilíbrio entre a parte vegetativa e a parte frutífera da planta de cacaueteiro, mantendo a arquitetura em forma de candelabro (Figura 7A), com ramificações laterais independentes e separadas (Figura 7B). Um experimento foi desenvolvido na CEPLAC, iniciado em 2014, com mudas formadas pelo enraizamento de ramos plagiotrópicos do genótipo BN 34.

O sistema mostrou-se adequado para plantios com densidade acima de 1.600 plantas ha^{-1} e, no quarto ano de cultivo, produziu 30 frutos planta^{-1} , o que correspondeu à produtividade de 2.130 kg ha^{-1} de amêndoas secas.



Figura 7. Desenho representando um candelabro original (A) e arquitetura dos ramos de cacaueteiro conduzidos no sistema candelabro (B).

Tutoramento

O princípio do tutoramento é prover suporte físico ao crescimento dos ramos que compõem a área de produção. As espaldeiras devem ser dispostas nas linhas de plantio do cacaueteiro e constituídas por mourões instalados a cada duas ou três plantas, em linhas de até 100 m. Recomenda-se a colocação de mourões maiores nas extremidades, para sustentar a estrutura da linha.

No experimento, foram utilizados mourões de eucalipto espaçados em 3 m (Figura 8A). Dois fios de arame são necessários para dar suporte à planta, localizados a 1,30

m e 2,20 m do nível do solo e esticados entre os mourões. Os ramos laterais devem ser presos aos arames com auxílio de fitas (Figura 8B). Esses suportes devem permanecer até que as plantas estejam lignificadas e ajustadas ao modelo candelabro, o que ocorre quando os ramos apresentam diâmetro médio de 5 cm ou cerca de cinco anos após o plantio.



Figura 8. Mourões de eucalipto para tutoramento (A) e detalhe da altura das plantas (B).

O amarrado deve ser feito desde o plantio, e os ramos selecionados devem ser conduzidos com angulação entre 30° e 60° em relação ao ramo central, impedindo que encostem no solo. Eliminam-se os ramos em excesso, mantendo-se, além do ramo central, no máximo quatro a seis ramos laterais, que poderão ser despontados quando necessário, em razão do crescimento.

A adoção de arranjos espaciais adensados e de sistemas de condução mais organizados representa mudança estrutural na concepção da lavoura cacaueira. Mais do que alterar o espaçamento entre plantas, essa abordagem redefine a relação entre arquitetura da planta, aproveitamento da radiação, eficiência operacional e potencial de mecanização, estabelecendo bases técnicas para uma cacauicultura de maior produtividade e racionalidade agrônômica.

Podas

De forma geral, a poda no sistema candelabro objetiva promover o equilíbrio das plantas, limitar a altura, facilitar os tratos culturais, estimular lançamentos foliares, permitir a entrada de luz e reduzir problemas fitossanitários. A quantidade e a intensidade das podas variam de acordo com o clone, as condições climáticas, a fertilidade do solo, o manejo de pragas, a adubação e a fase de produção. A poda está associada ao tutoramento das plantas e deve ser constante para manter o equilíbrio entre crescimento vegetativo e reprodutivo, possibilitando a entrada uniforme de luz em toda a copa e facilitando as práticas culturais, o manejo de doenças e a colheita

dos frutos.

A poda de formação é fundamental para definir os ramos de produção, impedir o crescimento de palmas chupadeiras e ramos chupões e conservar parte dos ramos finos, denominados “piolhos”. A conservação de parte desses ramos é necessária porque eles também contribuem para o enchimento dos frutos e ajudam a reduzir o crescimento natural da planta, que, em condições de alta luminosidade, é bastante acentuado.

Outra função importante da poda é permitir que o centro da planta se mantenha arejado, sem incidência solar direta, evitando o secamento de ramos e a queima da casca dos frutos, ocorrências frequentes em sistemas de plantio a pleno sol. Nos primeiros anos de implantação do candelabro, cada planta deve ser analisada individualmente quanto à necessidade e ao momento de realização da poda, considerando principalmente a época do ano, as condições climáticas, nutricionais e sanitárias e o número de frutos. Em plantas adultas, a poda deve ser acompanhada da retirada de ramos velhos, doentes, atacados por pragas ou que estejam competindo com os ramos principais e sombreando a parte mediana e baixa da planta (Figura 9).



Figura 9. Plantas podadas (A e B) e em produção no terceiro ano (C e D).

Assim como ocorre em outros cultivos tutorados e submetidos a podas intensivas, a exemplo da macieira (Sander et al., 2016), é importante que as plantas apresentem diâmetros médios dos ramos secundários com pouca variação, não se tornem muito altas, facilitem os tratos culturais e sejam de fácil manejo. Esses atributos tornam a mão de obra mais eficiente e produtiva, aspecto relevante diante de um dos principais entraves atuais da cacauicultura mundial.

Produção de frutos no experimento do sistema candelabro

A Figura 10 apresenta plantas cultivadas no sistema candelabro após 11 anos de cultivo. Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os resultados de produção de amêndoas e de número de frutos no experimento conduzido em sistema candelabro.



Figura 10. Cacaueiros cultivados no sistema candelabro, após 11 anos de cultivo.

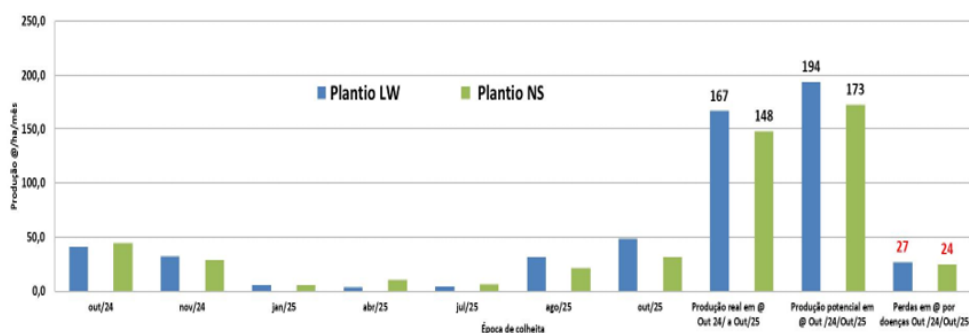


Figura 11. Produção mensal e anual de amêndoas de cacaueiros cultivados no sistema candelabro, propagados por estaquia e dispostos nos sentidos leste-oeste (LO) e norte-sul (NS). CEPLAC/CEPEC, Ilhéus, BA.

A disposição das plantas no sentido leste-oeste resultou em maiores produções de amêndoas em outubro de 2024 e 2025 e também em maior número de frutos sadios e totais em relação às plantas dispostas no sentido norte-sul. Esse resultado foi atribuído ao maior aproveitamento da luminosidade no plantio orientado no sentido leste-oeste (Figura 12).

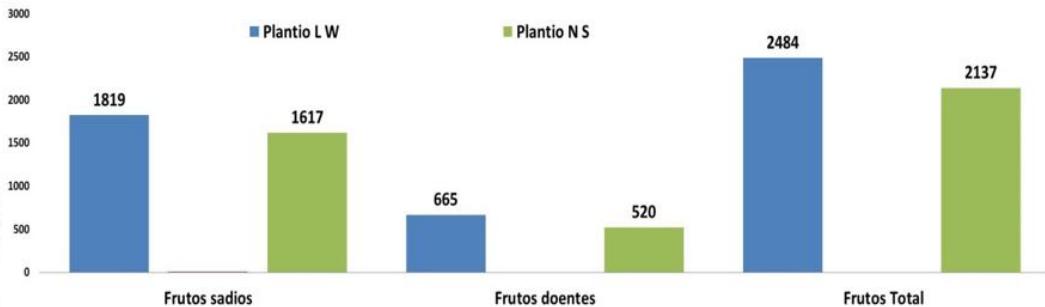


Figura 12. Produção de frutos sadios, doentes e totais em cacauzeiros cultivados no sistema candelabro, propagados por estaca e dispostos nos sentidos leste-oeste (LO) e norte-sul (NS). CEPLAC/CEPEC, Ilhéus, BA. Dados de 50 plantas por tratamento.

Polinização do cacauzeiro

A forma como ocorre o transporte de pólen entre flores, ou polinização, para a formação de frutos no cacauzeiro é tema amplamente discutido. Sabe-se que, em geral, mais de 90% da polinização é realizada por micromoscas. Isso ocorre porque a arquitetura da flor, com pétalas em formato de concha, impede que o pólen alcance o estigma pela via usual.

No entanto, pesquisas demonstram que existem outras formas de polinizar cacauzeiros e que tanto a polinização manual quanto a mecânica, ou ventilação artificial, sobre flores de cacauzeiro autocompatível, podem incrementar a frutificação em até 200%. Recomendações e cuidados relacionados à polinização artificial do cacauzeiro são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Potencialidades e limitações da polinização artificial do cacauzeiro

Potencialidades	Limitações
Concentrar a produção de frutos	Dificuldade de obter floração homogênea ao longo do ano
Maior rendimento da mão de obra na colheita	Danos aos bilros em velocidades de ventilação acima de 80 km h ⁻¹
Possibilidade de ventilação pela manhã e à tarde	Distúrbios nutricionais associados à produção concentrada

Polinização mecânica

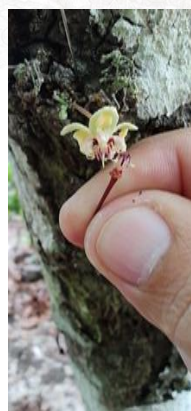
Em geral, os resultados da polinização mecânica do cacaueteiro variam com a intensidade de vibração da flor, o tipo de soprador, costal ou tratorizado, o tempo em que cada flor recebe o sopro, que deve ser em média de dois segundos, e a velocidade do sopro, que deve estar entre 60 e 80 km h⁻¹.

Pesquisas com polinização mecânica também mostraram que vento de baixa velocidade não expõe a antera nem dispersa o pólen; que a ventilação no período da tarde resulta em 2,5 vezes mais frutos do que no período da manhã; que a ventilação tratorizada é mais eficiente do que a realizada com soprador costal; e que a ventilação mecânica pode causar alguma lesão na casca do fruto, mas, em geral, não provoca sua queda (Nakayama, 2022).

Polinização manual

Considerando que a produção natural de frutos do cacaueteiro é de aproximadamente três frutos para cada 1.000 flores, a polinização manual pode ser utilizada para aumentar a produção (Nakayama e Souza, 2025). No entanto, o rendimento da polinização manual é bastante variável e depende de condições ambientais, clone, sanidade da planta e destreza do operador, entre outros fatores. Na Tabela 2 são apresentadas recomendações e cuidados para a polinização manual.

Tabela 2. Recomendações e cuidados para a polinização manual do cacaueteiro



Recomendações

Técnica relativamente simples, com treinamento do operador realizado em poucos minutos

Uma antera da flor doadora de pólen pode polinizar de 3 a 4 flores da planta receptora

Em 8 horas e havendo boa floração, realizam-se mais de 1200 polinizações

Cuidados

Excesso de frutos em um ano pode comprometer a produção do ano seguinte

Os resultados dependem das variedades doadora e receptora de pólen, da época do ano e da habilidade do operador

Coletar as flores no dia da polinização e conservá-las em caixa isotérmica

Lançamento foliar, estresse hídrico ou nutricional e pragas reduzem as taxas de pegamento

Considerações finais

A transição da cacauicultura rondoniense para patamares elevados de produtividade depende, antes de tudo, da consolidação de uma base técnica consistente e da confiança do produtor na viabilidade dos sistemas intensivos de cultivo. Em contextos historicamente marcados pela baixa intensificação produtiva e pela estabilidade econômica restrita, a incorporação de novas tecnologias requer não apenas recomendação técnica, mas também demonstração prática de resultados em condições reais de cultivo.

Nesse sentido, unidades demonstrativas, dias de campo e vitrines tecnológicas assumem papel estratégico na difusão de inovações e na redução da resistência à mudança.

A elevação da produtividade para níveis compatíveis com a proposta do “Cacau 500” não decorre de intervenções isoladas, mas da adoção integrada de um conjunto de práticas complementares. Entre essas práticas, destacam-se o uso de clones superiores com arquitetura ortotrópica, a implantação de arranjos espaciais adensados, a condução das plantas em sistemas organizados, como a espaldeira, o manejo hídrico estratégico nos períodos de maior deficiência hídrica e o suprimento nutricional compatível com a elevada exigência fisiológica da cultura.

Essa integração tecnológica constitui a base para a superação do atual patamar produtivo, estimado em 1.269 kg ha⁻¹, e para a construção de uma cacauicultura eficiente, competitiva e sustentável. Nessas condições, o avanço da produção não se limita ao aumento do rendimento por unidade de área, mas expressa mudança estrutural na forma de conceber, implantar e conduzir a lavoura, alinhando o sistema produtivo de Rondônia aos referenciais mais avançados de intensificação agrônômica do cacauieiro.

Referências

Almeida CMVC, Lima AA, Xavier IP. Variedades híbridas versus variedades clonais de cacau: um estudo de caso em Rondônia. *Agrotrópica*. 2009;21:191-198. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/1314/1/BR2010001673.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2026.

Almeida CMVC, Pires JL, Silva AP, Gomes LP. Desempenho agrônômico de variedades clonais de cacauieiros em Ouro Preto D'Oeste, Rondônia. *Agrotrópica*. 2016;28:221-232. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/1295/1/br207001482.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2026.

Brasil. Código Florestal: Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. 2. ed. Brasília, DF: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas; 2024. Disponível em:

https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/660508/Codigo_florestal_2ed.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 31 mar. 2026.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria SPA/MAPA nº 249, de 4 de agosto de 2021: declara estado de emergência fitossanitária relativo ao risco iminente de introdução da praga quarentenária ausente *Moniliophthora roreri* nos estados do Acre, Amazonas e Rondônia. Brasília, DF: MAPA; 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mapa-n-249-de-4-de-agosto-de-2021-336635127>. Acesso em: 28 mar. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agropecuária: cacau 2024. Rio de Janeiro: IBGE; 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cacau/ro>. Acesso em: 31 mar. 2026.

ICCO – International Cocoa Organization. Statistics. Abidjan: ICCO; 2026 [citado 2026 mar. 28]. Disponível em: <https://www.icco.org/statistics/>.

Lima JTGP, Rocha RB. A importância histórica, socioeconômica e ambiental da cacaucultura para o estado de Rondônia. Rev Ibero-Am Cienc Ambient. 2020;11:314-332. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.002.0030>. Acesso em: 31 mar. 2026.

Nakayama K, Souza IC. Polinização do cacauzeiro. In: Virgens Filho AC, Prado JEB, Conceição MJ, editores. Inovações tecnológicas no cultivo e exploração do cacauzeiro. Brasília, DF: MAPA/CEPLAC; 2025. p. 495-513. Disponível em: https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/6058/7/LIVRO_COMPLETO_ATUAL_1_1_dezembro_2025.pdf. Acesso em: 27 abr. 2026.

Nakayama K. Ventilação artificial promove a polinização fértil em flor de cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). Agrotrópica. 2022;34:29-40. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/revista-agrotropica/artigos/2022/0103-3816-2022v34n1p29-40.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2026.

Sander GF, Macedo TA, Magro M, Rufato AR, Rufato LM. Mecanização de pomares: poda mecanizada no Brasil; princípio do muro frutal no Brasil. Agapomi. 2016;(271):8-9. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1060693/1/SanderAgapomiV271P672016.pdf>. Acesso em: 16 maio 2026.

Santos GA, Lima JTGP, Souza Júnior AA, Amaro EM. Cocoa (*Theobroma cacao* L.) production in Rondônia state: analysis of the variation of the productive area in relation to the variation of market indicators. Cuad Educ Desarro. 2023;15:3581-3602. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/download/1320/1>

118/2451. Acesso em: 31 mar. 2026.

Serra WS, Sodré GA. Manual do cacauicultor: perguntas e respostas. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC; 2021. 190 p. (Boletim Técnico, 221). Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/boletins-tecnicos-bahia/boletim-tecnico-no-221-2021_compressed.pdf. Acesso em: 1 abr. 2026.

Silva SDVM, Lopes UV, Damaceno VO, Rocha Júnior AWO. Seleção de clones de cacauzeiros resistentes à murcha-de-ceratocystis em condições de campo. *Agrotrópica*. 2013;25:163-170. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/1410/1/BR2014007677.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2026.

Silva SDVM, Paim MC, Castro WMC. Cacau “jaca” resistente a *Ceratocystis fimbriata* na região cacauzeira da Bahia, Brasil. *Fitopatol Bras*. 2004;29:538-540. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fb/a/YXcX4DKkrJg9CM4GCs5XDTC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 abr. 2026.

Sodré GA, Gomes ARS. Cocoa propagation, technologies for production of seedlings. *Rev Bras Frutic*. 2019;41:e-782. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/rnWHGgHNV6npXWQjwbCyDSh/?lang=en>. Acesso em: 1 abr. 2026.

Sodré GA, Leite JBV. “Sistema candelabro”: proposta para cultivo intensivo de cacauzeiro. *Agrotrópica*. 2018;30:135-146. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/1548/1/BR2019000602.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2026.

Sodré GA, Nery ID. Relações entre massa de frutos e amêndoas para estimar rendimentos em cacauicultura. *Agrotrópica*. 2023;35:15-20. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/2021/1/doi-10-217570103-3816-2023v35n1p15-20.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2026.

Vidal MF. Cacau. *Caderno Setorial ETENE*. 2025;10:1-17. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/3211>. Acesso em: 28 mar. 2026.

Yamada M, Faleiro FG, Lopes UV, Pires JL, Santos RF. Reações de compatibilidade de clones de cacauzeiros da série CEPEC. *Agrotrópica*. 2014;26:61-64. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317377060_REACOES_DE_COMPATIBILIDADE_DE_CLONES_DE_CACAUEIROS_DA_SERIE_CEPEC. Acesso em: 30 mar. 2026.

Zugaib ACC, Barreto RCS. O mercado brasileiro de cacau: perspectivas de demanda, oferta e preços. *Agrotrópica*. 2015;27:303-316. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/revista-agrotropica/artigos/2015-DOI-10.21757/0103-3816-2015v27n3p303-316.pdf>. Acesso em: 16 maio 2026.

Zugaib ACC, Landim GC, Sousa IC. Ponto de nivelamento, lucratividade e relação custo/benefício na cultura de cacau de alta produtividade. *Agrotropica*. 2020;32:5-20. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/revista-agrotropica/artigos/2020-DOI-10.21757/0103-3816-2020v32n1p5-20.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2026.



A SOBERANIA DA ABUNDÂNCIA: INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS, AGREGAÇÃO DE VALOR E NOVO POSICIONAMENTO DA CACAUICULTURA AMAZÔNICA

THE SOVEREIGNTY OF ABUNDANCE: GEOGRAPHICAL INDICATIONS, VALUE ADDITION, AND THE NEW POSITIONING OF AMAZONIAN CACAO FARMING

Gleriani Torres Carbone Ferreira

Destaque: A valorização territorial do cacau amazônico depende da integração entre soberania comercial, bioeconomia circular, Indicação Geográfica e infraestrutura industrial capaz de reter valor nos territórios produtores.

Highlight: The territorial valorization of Amazonian cacao depends on integrating commercial sovereignty, circular bioeconomy, Geographical Indication, and industrial infrastructure capable of retaining value in producing territories.

Resumo

Analizamos a cacauicultura amazônica a partir de uma perspectiva geopolítica e territorial, sustentada na premissa de que o Brasil ainda necessita aprender a gerir a sua abundância. Com base nessa abordagem, discute-se que a disponibilidade de recursos naturais e a relevância estratégica da Amazônia não têm sido suficientes para assegurar protagonismo econômico ao país, sobretudo em cadeias produtivas que permanecem subordinadas a normas, preços e exigências definidos externamente. No caso da cacauicultura, argumenta-se que a inserção internacional não pode permanecer pautada por uma posição passiva, limitada à condição de tomadora de preços e de receptora de regulações impostas por outros blocos econômicos. Defende-se, assim, que a soberania comercial da cadeia depende da capacidade de construir estratégias próprias de valorização, definição de mercados prioritários e

retenção de maior parcela do valor gerado. Nesse contexto, a Indicação Geográfica, a agregação de valor no território e a organização institucional da cadeia assumem papel central no reposicionamento da cacauicultura amazônica em bases mais autônomas e sustentáveis.

Palavras-chave: cadeias produtivas; indicação geográfica; agregação de valor; economia circular.

Abstract

This work analyzes Amazonian cacao farming from a geopolitical and territorial perspective, based on the premise that Brazil still needs to learn how to manage its abundance. From this approach, it discusses how the availability of natural resources and the strategic relevance of the Amazon have not been sufficient to ensure economic leadership for the country, especially in production chains that remain subordinated to rules, prices, and requirements defined externally. In the case of cacao farming, the text argues that international insertion cannot continue to be guided by a passive position, limited to price-taking and to the reception of regulations imposed by other economic blocs. It therefore argues that the commercial sovereignty of the chain depends on the ability to build its own strategies for valorization, priority market definition, and retention of a larger share of the value generated. In this context, Geographical Indication, value addition within the territory, and institutional organization of the chain play a central role in repositioning Amazonian cacao farming on more autonomous and sustainable bases.

Keywords: production chains; geographical indication; value addition; circular economy.

A economia circular e o referencial do pirarucu

Para ilustrar a evolução necessária da cacauicultura em direção à bioeconomia industrial, adota-se como referência a cadeia produtiva da piscicultura amazônica, especificamente o caso do pirarucu. Nesse exemplo, a exploração comercial moderna ultrapassa a simples venda do filé como principal fração proteica e passa a se sustentar no aproveitamento integral do pescado, condição que amplia a captura de valor e a rentabilidade da cadeia.

Nessa lógica, o couro, anteriormente tratado como resíduo, passa a ser processado e destinado a segmentos de maior valor agregado, incluindo o mercado internacional de moda. De modo semelhante, vísceras e escamas deixam de ser descartadas e passam a constituir matéria-prima para a produção de óleo de peixe de alta pureza e de farinha proteica, ambos valorizados por segmentos industriais especializados, como a indústria de alimentos para animais de alto padrão.

A partir desse referencial, sustenta-se que a cadeia do cacau precisa incorporar, de forma mais consistente, um modelo biomimético e circular de aproveitamento da biomassa. A dependência quase exclusiva da comercialização da amêndoa fermentada e seca revela uma limitação estrutural da cadeia, uma vez que o fruto do cacau apresenta ampla biomassa ainda subaproveitada. Nesse contexto, torna-se necessário fomentar a industrialização do mel de cacau, a extração de pectina a partir da casca, o aproveitamento da polpa nas indústrias de bebidas e cosméticos e a conversão de resíduos em biofertilizantes.

Entretanto, o principal gargalo para a consolidação desse modelo reside na insuficiência de plantas industriais processadoras capazes de realizar, em escala, a separação, o processamento e a agregação de valor das diferentes frações do fruto. Assim como ocorreu historicamente na cadeia do pescado, a ausência dessa infraestrutura limita a transição de uma economia centrada na matéria-prima para uma cadeia estruturada sob os princípios da economia circular e da bioeconomia industrial.

Contexto e soberania comercial: a geopolítica da abundância amazônica

A inserção da cacaucultura rondoniense em uma agenda estratégica mais ampla requer que sua análise ultrapasse a escala da unidade produtiva e incorpore dimensões de soberania nacional, governança econômica e posicionamento geopolítico. Nessa perspectiva, adota-se como referência a premissa difundida por Becker e Stenner (2008) de que, enquanto muitos países foram historicamente obrigados a aprender a lidar com a escassez, o Brasil ainda necessita aprender a gerir a sua abundância. Essa formulação evidencia que a disponibilidade de recursos naturais, biodiversidade e base territorial, por si só, não assegura protagonismo econômico nem capacidade de influência sobre os mercados internacionais.

No cenário global contemporâneo, a inserção brasileira nas cadeias agroalimentares ainda ocorre, em grande medida, de forma passiva e reativa. Em vez de estruturar estratégias próprias de produção, diferenciação e comercialização, o agronegócio amazônico frequentemente ajusta suas matrizes produtivas para responder a exigências e condicionantes externos, como regulações ambientais impostas por grandes blocos econômicos ou oscilações tarifárias definidas por governos estrangeiros. Essa dinâmica limita a autonomia do território e mantém a produção regional subordinada a parâmetros estabelecidos fora de seu campo de decisão, com a venda de produtos in natura, sem agregação de valor e sem a retenção local das vantagens econômicas decorrentes.

Diante desse quadro, a consolidação da cacaucultura amazônica como atividade economicamente relevante e territorialmente soberana depende da superação da condição de tomadora de preços, típica de cadeias baseadas na exportação de

commodities pouco diferenciadas, para a construção de uma posição mais ativa na formação de mercados. Isso implica ampliar a capacidade de definir, de forma soberana, o que produzir, sob quais critérios de sustentabilidade, para quais segmentos direcionar a oferta e sob quais condições comerciais o produto será inserido no comércio internacional.

Essa inflexão exige reconhecer que a sustentabilidade ambiental incorporada à produção possui custos concretos e, portanto, não pode ser tratada como atributo gratuito apropriado apenas pelo mercado comprador. Ao contrário, quando a produção se ancora em critérios rigorosos de conservação, rastreabilidade, origem e responsabilidade socioambiental, esses atributos devem integrar a lógica de formação de valor e justificar remuneração compatível com o diferencial ofertado. A biodiversidade amazônica, nesse sentido, não deve ser disponibilizada ao mercado internacional apenas como matéria-prima indiferenciada, mas como ativo estratégico cuja qualidade, singularidade e integridade territorial precisam ser reconhecidas e remuneradas.

Ao mesmo tempo, a valorização da origem e da qualidade do cacau amazônico requer o fortalecimento de uma base de consumo mais exigente e mais apta a distinguir produtos efetivamente diferenciados. A construção de mercados fortes depende, em larga medida, da formação de consumidores capazes de reconhecer atributos de qualidade, identidade territorial e autenticidade do produto. Nesse contexto, torna-se necessário ampliar a compreensão, tanto no mercado interno quanto no externo, acerca da diferença entre produtos meramente saborizados e chocolate efetivamente elaborado a partir de cacau amazônico de qualidade superior. A educação do consumidor, portanto, constitui parte integrante da estratégia de fortalecimento da cadeia, ao sustentar a disposição de pagar prêmios de valor associados à origem, à qualidade e à integridade socioambiental do produto.

O modelo do pirarucu para o cacau: bioeconomia circular e verticalização

A necessidade de ampliar a agregação de valor na cadeia do cacau pode ser compreendida, de forma particularmente elucidativa, a partir de um paralelo com a cadeia produtiva da piscicultura amazônica, tomando-se o modelo do pirarucu como referência industrial. Nesse caso, a organização econômica da atividade deixou de se concentrar exclusivamente na comercialização da proteína e passou a incorporar a industrialização de frações anteriormente subutilizadas, convertendo resíduos em produtos de maior valor agregado e ampliando a rentabilidade da cadeia.

Na trajetória recente do pirarucu, o couro passou a ser processado em estruturas especializadas e direcionado a segmentos de mercado de maior valor, incluindo a indústria internacional da moda (Figura 1). De forma semelhante, vísceras, carcaça e outras frações antes tratadas como descarte passaram a ser transformadas em óleo de peixe de alta pureza e em farinhas proteicas destinadas à indústria de nutrição animal.

Esse modelo demonstra que o ganho econômico mais expressivo não decorre apenas do produto principal, mas da capacidade de organizar o aproveitamento integral da biomassa sob uma lógica de economia circular e verticalização industrial.



Figura 1. Beneficiamento do couro de pirarucu.

Transposta para a cacauicultura, essa referência evidencia que a cadeia amazônica ainda permanece excessivamente concentrada na comercialização da amêndoa seca, o que corresponde à exploração de apenas uma fração do potencial econômico do fruto. Nessa configuração, parcela significativa da biomassa gerada no sistema produtivo continua sendo tratada como resíduo ou subproduto de baixa relevância econômica, o que restringe a eficiência da cadeia e reduz sua capacidade de retenção de valor no território.

Entretanto, o fruto do cacauieiro apresenta amplo potencial para diversificação industrial. A casca, que representa a maior parte da biomassa do fruto, pode ser utilizada como fonte para obtenção de pectina, geração de energia ou outros produtos de base biotecnológica. A polpa e o mel de cacau, por sua vez, apresentam elevado potencial de inserção em segmentos da indústria gastronômica, de bebidas diferenciadas e de cosméticos. A incorporação dessas possibilidades exige que a cadeia deixe de operar apenas sob a lógica da comercialização da amêndoa e avance para um modelo orientado ao aproveitamento integral do fruto.

Rondônia abriga o quarto maior polo cacauieiro do Brasil, com cultivo realizado fundamentalmente em modelos agroflorestais e baseado na agricultura familiar, sendo que aproximadamente 10% da produção ocorre em áreas em recuperação. Com produção superior a 5 mil toneladas de amêndoas por ano e rendimento médio de 680 kg por hectare, o estado registra o quarto melhor desempenho entre os estados brasileiros produtores de cacau (IBGE, 2023).

Contudo, um dos principais entraves para Rondônia reside na ausência de infraestrutura industrial compatível com a separação, o processamento e a transformação das diferentes frações do cacau. Assim como a insuficiência de frigoríficos inspecionados limita, em diversas regiões amazônicas, a expansão da cadeia do pescado (Ferreira et al., 2020), a falta de plantas de processamento, unidades de esmagamento e estruturas de extração limita a capacidade do estado de internalizar etapas de maior valor agregado (Figura 2). Sem o fortalecimento dessa base industrial, Rondônia tende a permanecer restrita à exportação de matéria-prima de menor valor, mantendo fora do território parcela significativa da riqueza gerada pela cadeia cacauceira.

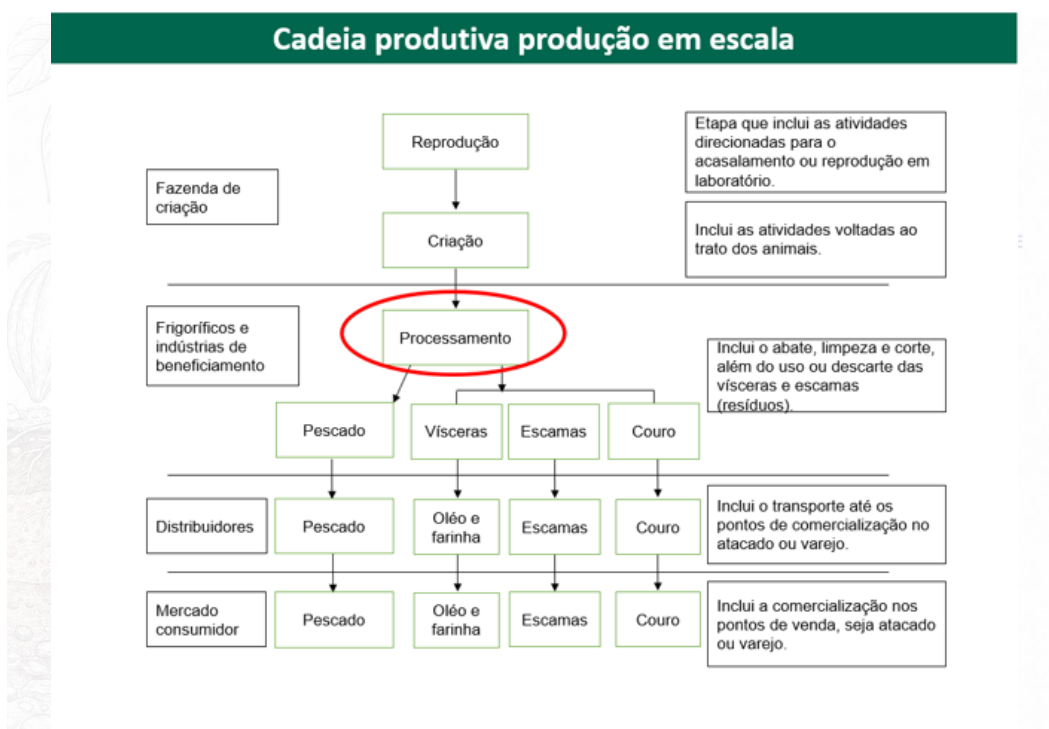


Figura 2. Cadeia produtiva do pirarucu com gargalo no elo de processamento.

Framework de Indicações Geográficas: muito além do marketing

As Indicações Geográficas têm sido valorizadas como forma de destacar a qualidade, a autenticidade e a origem de produtos específicos associados a determinadas regiões. Essa proteção garante aos consumidores a identificação de produto genuíno e de qualidade, ao mesmo tempo em que impulsiona o desenvolvimento econômico e cultural das regiões produtoras (Bruch et al., 2023). FAO e oriGIn (2024) corroboram que IGs bem estruturadas podem incentivar a preservação dos recursos naturais e promover o uso sustentável do solo, contribuindo para a longevidade das cadeias

produtivas.

Assim, a consolidação da Indicação Geográfica de cacau em Rondônia deve ser compreendida não apenas como instrumento de diferenciação comercial ou de rotulagem, mas sobretudo como mecanismo de governança, coordenação produtiva e ordenamento territorial. Para que a IG mantenha sua função estratégica e não se reduza a um selo desprovido de efetividade econômica e institucional, sua implementação requer acompanhamento sistemático por meio de um conjunto articulado de indicadores, organizados em diferentes horizontes temporais e sujeitos a monitoramento contínuo.

A dimensão de outputs refere-se aos produtos, serviços e atividades diretamente realizados pela instituição, com manifestação imediata e mensuração simples, indicando a escala e o volume das operações internas. Os outcomes, por sua vez, dizem respeito às mudanças observadas nos beneficiários diretos, no curto e médio prazos, cuja mensuração requer análise de dados e permite avaliar a efetividade das atividades. Por fim, a dimensão de impacto abrange transformações de longo prazo e em larga escala na sociedade, na economia e no meio ambiente, com relações causais demonstradas ou altamente prováveis e mensuração complexa, sendo fundamental para indicar a relevância e o valor da instituição (Tabela 2).

Tabela 3. Framework para avaliação de IGs

FAO	ESG	SEBRAE
	Indicadores	Rondônia
Output	Sociais	Desempenho econômico
Outcomes	Ambientais	Proteção territorial
Impact	Econômicos	Visão de futuro
	Governança	

No curto prazo, os indicadores de resultado permitem avaliar a capacidade inicial de mobilização da cadeia e a efetiva tração do instrumento. Nessa etapa, destacam-se o volume físico de cacau que atende aos padrões técnicos estabelecidos pela IG e a taxa de adoção entre os agentes produtivos, expressa pelo número de propriedades, cooperados ou lotes efetivamente adequados e certificados. Trata-se, nesse estágio, de verificar a existência concreta de produto compatível com os requisitos do sistema e de mensurar a capacidade inicial de adesão dos produtores.

No médio prazo, os indicadores de ajuste passam a examinar se a certificação está se traduzindo em viabilidade econômica e fortalecimento organizacional da cadeia. Nesse nível, torna-se relevante monitorar a evolução do lucro líquido retido na unidade produtiva, de modo a verificar se o diferencial de qualidade e origem efetivamente compensa os custos associados à certificação. Também assume importância a avaliação do capital social envolvido na gestão da IG, especialmente quanto ao grau de organização e maturidade das cooperativas ou entidades responsáveis por sua condução. Além disso, a taxa de reinvestimento em inovações tecnológicas no campo constitui parâmetro importante para aferir se a diferenciação

obtida está gerando capacidade adicional de modernização produtiva, incluindo melhorias em secagem, automação e rastreabilidade.

No longo prazo, os indicadores de impacto permitem aferir a efetiva contribuição da IG para a transformação regional. Nessa dimensão, a análise ultrapassa a esfera estritamente produtiva e passa a considerar efeitos socioeconômicos e territoriais mais amplos, como a melhoria das condições de desenvolvimento humano nas regiões produtoras, a permanência de jovens no campo e o fortalecimento da sucessão familiar. Também se insere nesse horizonte a capacidade da cadeia de induzir mudanças estruturais no uso da terra, especialmente por meio da conversão de áreas degradadas ou de passivo ambiental em sistemas agroflorestais sustentáveis, perenes e economicamente dinâmicos. Dessa forma, a IG cumpre sua função mais ampla quando se consolida como instrumento de transformação territorial, e não apenas como elemento de valorização mercadológica.

Conclusões

A análise desenvolvida ao longo deste texto evidencia que o reposicionamento da cacauicultura amazônica depende de uma mudança simultaneamente econômica, territorial e geopolítica. A abundância de recursos naturais, biodiversidade e base territorial não se converte, por si só, em protagonismo econômico. Para que essa abundância se transforme em soberania comercial, torna-se necessário superar a inserção passiva da cadeia em mercados externos, historicamente marcada pela exportação de matéria-prima pouco diferenciada, pela submissão a normas exógenas e pela reduzida capacidade de retenção de valor no território.

Nesse contexto, a transição de uma cadeia centrada na amêndoa seca para um modelo de bioeconomia circular e verticalização industrial constitui requisito estratégico. O aproveitamento integral do fruto do cacau amplia as possibilidades de agregação de valor, diversifica a base produtiva e cria novas oportunidades de inserção em segmentos industriais de maior rentabilidade. Entretanto, esse avanço depende da consolidação de infraestrutura processadora compatível com a separação, transformação e industrialização das diferentes frações da biomassa, condição ainda limitada em diversas regiões.

A Indicação Geográfica de cacau em Rondônia, por sua vez, assume relevância não apenas como mecanismo de diferenciação mercadológica, mas como instrumento de governança e ordenamento territorial. Contudo, sua efetividade depende da capacidade de articular qualidade, organização produtiva, rastreabilidade, capital social e monitoramento de impactos ao longo do tempo. Quando estruturada nesses termos, a IG deixa de operar apenas como selo de origem e passa a atuar como vetor de transformação regional, com potencial para induzir melhorias econômicas, fortalecer a permanência das famílias no campo e estimular a conversão de áreas degradadas em sistemas agroflorestais sustentáveis.

O novo posicionamento da cacauicultura amazônica requer uma estratégia

integrada, na qual soberania comercial, agregação de valor, bioeconomia circular e governança territorial atuem de forma articulada. O fortalecimento dessa cadeia não depende apenas de produzir mais, mas de decidir, de forma autônoma, como produzir, como transformar, para quais mercados direcionar a oferta e em quais condições reter, no próprio território, a riqueza gerada pela biodiversidade amazônica.

Referências

Becker B, Stenner C. Um futuro para a Amazônia. São Paulo: Oficina de Textos; 2008.

Bruch KL, Silva MAC, Barros ILO. Indicações Geográficas para o Brasil: problemas e perspectivas - o que mudou em 20 anos? In: Pôrto Júnior G, editor. Indicação geográfica e tecnologias sociais no Brasil. Palmas: Observatório Edições; 2023.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations; oriGIn. Developing a roadmap towards increased sustainability in geographical indication systems: practical guidelines for producer organizations to identify priorities, assess performance and improve the sustainability of their geographical indication systems. Rome: FAO; 2024. <https://doi.org/10.4060/cc9122en>.

Ferreira GTC, Marcovitch J, Queiroz MJ. Understanding the constraints on success in Brazilian Amazon production chains. Glob J Flex Syst Manag. 2020;21 Suppl 1:95-104. <https://doi.org/10.1007/s40171-020-00245-7>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de cacau. Rio de Janeiro: IBGE; 2023 [citado 2025 Jan 12]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cacau/br>.

SISTEMA INTEGRADO DRIS-CND-PRA PARA DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL E AJUSTE DA ADUBAÇÃO EM MANGUEIRA 'TOMMY ATKINS'

INTEGRATED DRIS-CND-PRA SYSTEM FOR NUTRITIONAL DIAGNOSIS AND FERTILIZER ADJUSTMENT IN 'TOMMY ATKINS' MANGO

*Paulo Guilherme Salvador Wadt, Pesquisador, Embrapa Rondônia; Davi José Silva,
Pesquisador, Aposentado.*

*Destaque: O trabalho sistematiza normas DRIS e CND e propõe o uso do
Potencial de Resposta à Adubação como critério operacional para interpretar
diagnósticos foliares e ajustar a adubação de mangueiras Tommy Atkins.*

*Highlight: This paper systematizes DRIS and CND norms and proposes the
Fertilizer Response Potential as an operational criterion to interpret leaf diagnoses
and adjust fertilization in Tommy Atkins mango orchards.*

Resumo

A análise foliar é uma ferramenta relevante para o manejo da nutrição mineral de mangueiras, mas a interpretação baseada apenas em níveis críticos ou faixas de suficiência pode ser limitada pela influência de fatores não nutricionais, pela idade do tecido vegetal e pelo efeito de concentração ou diluição dos nutrientes. Este trabalho teve como objetivo organizar, em formato de texto completo, uma proposta de sistema integrado de diagnose e recomendação para mangueiras 'Tommy Atkins', combinando o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), a Diagnose da Composição Nutricional (CND) e o critério do Potencial de Resposta à Adubação (PRA). A sistematização foi realizada a partir de normas DRIS log-transformadas obtidas de banco de dados de pomares comerciais irrigados no Submédio do Vale do São Francisco e de normas CND derivadas de conjunto de dados compatível, considerando os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, B, Zn, Fe, Mn e Cu. O DRIS e o CND

permitem ordenar nutrientes por insuficiência, equilíbrio ou excesso, enquanto o PRA estabelece classes objetivas de interpretação dos índices nutricionais com base no índice de balanço nutricional médio. A integração desses métodos permite que a recomendação de adubação seja ajustada segundo o estado nutricional da planta, indicando aumento, manutenção ou redução das doses, ou ainda a correção de fatores que limitem a disponibilidade de nutrientes no sistema solo-planta. Conclui-se que a abordagem DRIS-CND-PRA constitui base operacional para diagnósticos foliares mais consistentes e para o refinamento de recomendações de adubação em pomares de mangueira cultivados sob condições irrigadas.

Palavras-chave: análise foliar; DRIS; CND; *Mangifera indica*; nutrição mineral; Potencial de Resposta à Adubação.

Abstract

Leaf analysis is a relevant tool for managing mineral nutrition in mango orchards, but interpretations based only on critical levels or sufficiency ranges may be limited by non-nutritional factors, tissue age, and nutrient concentration or dilution effects. This paper aimed to organize, as a full paper, an integrated diagnosis and recommendation system for 'Tommy Atkins' mango, combining the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS), Compositional Nutrient Diagnosis (CND), and the Fertilizer Response Potential (FRP) criterion. The systematization was based on log-transformed DRIS norms obtained from a database of irrigated commercial orchards in the Submiddle São Francisco Valley and on CND norms derived from a compatible dataset including N, P, K, Ca, Mg, B, Zn, Fe, Mn, and Cu. DRIS and CND allow nutrients to be ranked by insufficiency, balance, or excess, whereas FRP establishes objective classes for interpreting nutritional indices based on the mean nutritional balance index. Integrating these methods allows fertilization recommendations to be adjusted according to plant nutritional status, indicating whether nutrient rates should be increased, maintained, or reduced, or whether factors limiting nutrient availability in the soil-plant system should be corrected. The DRIS-CND-FRP approach provides an operational basis for more consistent leaf diagnoses and for refining fertilization recommendations in irrigated mango orchards.

Keywords: leaf analysis; DRIS; CND; *Mangifera indica*; mineral nutrition; Fertilizer Response Potential.

Introdução

A interpretação do estado nutricional de culturas perenes depende da qualidade da amostragem, da representatividade dos valores de referência e do método usado para converter os teores foliares em diagnóstico agrônomo. Na mangueira, a análise

foliar tem sido utilizada para acompanhar o equilíbrio nutricional dos pomares, avaliar a adequação de programas de fertilização e apoiar ajustes no manejo da adubação. Entretanto, os métodos baseados exclusivamente no nível crítico (NC) ou em faixas de suficiência (FS) tendem a interpretar cada nutriente de forma isolada, o que pode reduzir a capacidade de identificar desequilíbrios nutricionais associados às interações entre nutrientes.

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) foi desenvolvido como alternativa aos métodos univariados, por se basear nas relações entre os teores nutricionais. Ao trabalhar com relações entre nutrientes, o DRIS reduz parte do efeito de concentração e diluição e torna a interpretação menos dependente de variações associadas à idade e à origem do tecido vegetal. O método fornece índices de balanço nutricional que expressam a posição relativa de cada nutriente em relação aos demais, permitindo ordenar nutrientes com maior limitação por insuficiência, aqueles em equilíbrio relativo e nutrientes com maior limitação por excesso (Beaufils, 1973; Malavolta et al., 1997).

A Diagnose da Composição Nutricional (CND) apresenta lógica semelhante, mas utiliza relações multivariadas entre o teor de cada nutriente e a média geométrica da composição nutricional da amostra. Por essa razão, o método é frequentemente tratado como uma extensão multivariada do DRIS, com interpretação também baseada em índices nutricionais. Para ambos os métodos, a consistência do diagnóstico depende da disponibilidade de normas de referência obtidas em populações produtivas e nutricionalmente adequadas.

Em mangueiras 'Tommy Atkins', normas DRIS e CND foram desenvolvidas a partir de pomares comerciais do Submédio do Vale do São Francisco, região em que a fruticultura irrigada apresenta elevado nível tecnológico e manejo intensivo de fertilizantes. A sistematização dessas normas, associada ao critério do Potencial de Resposta à Adubação (PRA), permite converter os índices nutricionais em categorias de decisão agrônoma, favorecendo a integração entre diagnóstico foliar e recomendação de adubação.

Nesse contexto, este trabalho propõe apresentar o sistema integrado de diagnose nutricional e ajuste da adubação para mangueiras 'Tommy Atkins', com base nos métodos DRIS, CND e PRA, definindo as faixas de interpretação de teores foliares utilizadas como referência inicial; sistematizar normas DRIS log-transformadas e normas CND obtidas de pomares comerciais irrigados, além de descrever o uso do PRA na interpretação dos índices nutricionais e indicar como os diagnósticos podem subsidiar ajustes de aumento, manutenção ou redução da adubação.

Abordagem metodológica

O trabalho foi estruturado como uma sistematização técnico-científica de métodos de diagnose nutricional aplicados à cultura da mangueira. A base conceitual incluiu

os métodos NC, FS, DRIS e CND, com ênfase nos dois últimos por considerarem relações entre nutrientes e, portanto, permitirem avaliar o balanço nutricional da planta.

Para o DRIS, foram consideradas normas log-transformadas obtidas de banco de dados de pomares comerciais de mangueira 'Tommy Atkins' cultivados em perímetros irrigados do Submédio do Vale do São Francisco. As normas consistiram em médias, desvios-padrão e número de observações para teores foliares e relações nutricionais log-transformadas. A transformação logarítmica foi adotada para conferir simetria às relações direta (X/Y) e inversa (Y/X), com mesma magnitude de variância para a expressão das relações entre nutrientes.

Para o CND, foram consideradas normas obtidas a partir de amostras foliares compostas pelos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, B, Zn, Fe, Mn e Cu. Como o método utiliza a média geométrica da composição da amostra, as normas são válidas para o conjunto de nutrientes usado em sua geração. A exclusão ou inclusão de nutrientes exige o recálculo das normas CND.

A interpretação dos índices DRIS e CND foi associada ao PRA. Para cada amostra foliar, o índice de balanço nutricional médio (IBNm) foi definido pela soma aritmética, em módulo, dos índices nutricionais de todos os nutrientes avaliados, dividida pelo número de nutrientes da amostra. Com base no sinal, na magnitude dos índices e na comparação com o IBNm, os nutrientes foram classificados em categorias de maior insuficiência, insuficiência moderada, equilíbrio, excesso moderado e maior excesso.

Diagnose nutricional

A interpretação convencional por faixas de teores permanece útil como referência inicial para a avaliação de resultados de análise foliar. Essas faixas permitem identificar valores muito baixos, adequados ou excessivos de cada nutriente, mas não avaliam diretamente as relações entre nutrientes nem estabelecem uma hierarquia de limitações. Por isso, seu uso é mais consistente quando combinado com métodos relacionais, como DRIS e CND.

Tabela 1. Recomendações para a interpretação de resultados de análise de folhas para a cultura da mangueira

Nutriente	Faixas de Teores		
	Deficiente	Adequado	Excessivo
N (g kg ⁻¹)	< 8,0	12,0 a 14,0	> 16,0
P (g kg ⁻¹)	< 0,5	0,8 a 1,6	> 2,5
K (g kg ⁻¹)	< 2,5	5,0 a 10,0	> 12,0
Ca (g kg ⁻¹)	< 15,0*	20,0 a 35,0**	> 50,0

Nutriente	Faixas de Teores		
	Deficiente	Adequado	Excessivo
Mg (g kg ⁻¹)	< 1,0	2,5 a 5,0	> 8,0
S (g kg ⁻¹)	< 0,5	0,8 a 1,8	> 2,5
B (mg kg ⁻¹)	< 10	50 a 100	> 150
Cu (mg kg ⁻¹)	< 5	10 a 50	nd
Fe (mg kg ⁻¹)	< 15	50 a 200	nd
Cl (mg kg ⁻¹)	nd	100 a 900	> 1600
Mn (mg kg ⁻¹)	< 10	50 a 100	nd
Zn (mg kg ⁻¹)	< 10	20 a 40	> 100

* Este teor não provoca sintomas visíveis de deficiência desse nutriente na planta, mas afeta a qualidade dos frutos. ** Teores observados quase sempre em solos originados de substrato calcário. Fonte: adaptado de Quaggio (1996), conforme sistematização apresentada no texto original.

As normas DRIS log-transformadas apresentadas na Tabela 2 reúnem teores foliares e relações bivariadas entre nutrientes. Na aplicação do DRIS, os valores observados em determinada amostra são comparados com essas normas, gerando funções e índices nutricionais. Índices negativos indicam insuficiência relativa, índices positivos indicam excesso relativo e índices próximos de zero indicam equilíbrio relativo do nutriente em relação ao conjunto avaliado.

Tabela 2. Teores nutricionais e normas DRIS log-transformadas de banco de dados de pomares comerciais de mangueira 'Tommy Atkins', em perímetros irrigados do Submédio do Vale do São Francisco

Nutriente ou relação nutricional	Média	Desvio Padrão	n	Nutriente ou relação nutricional	Média	Desvio Padrão	n
N	15,8	2,8	265	Log (Mg/B)	-1,501	0,2714	252
P	1,3	0,4	258	Log (Mg/Zn)	-1,049	0,3087	248
K	9,1	1,5	260	Log (Mg/Fe)	-1,632	0,2313	250
Ca	22,6	5,7	264	Log (Mg/Mn)	-2,297	0,3100	249
Mg	2,6	0,5	261	Log (Mg/Cu)	-0,991	0,4840	247
B	90	38,1	263	Log (B/N)	0,711	0,2635	255
Zn	35	23,0	258	Log (B/P)	1,819	0,2834	248
Fe	120	52,1	261	Log (B/K)	0,948	0,2505	250
Mn	597	297,8	261	Log (B/Ca)	0,560	0,2187	255
Cu	45	57,4	258	Log (B/Mg)	1,501	0,2714	252
Log (N/P)	1,108	0,1412	251	Log (B/Zn)	0,454	0,4147	248
Log (N/K)	0,239	0,1032	255	Log (B/Fe)	-0,135	0,3404	251
Log (N/Ca)	-0,149	0,1510	256	Log (B/Mn)	-0,804	0,4032	252
Log (N/Mg)	0,786	0,1152	253	Log (B/Cu)	0,516	0,5983	248

Nutriente ou relação nutricional	Média	Desvio Padrão	n	Nutriente ou relação nutricional	Média	Desvio Padrão	n
Log (N/B)	-0,711	0,2635	255	Log (Zn/N)	0,258	0,3072	250
Log (N/Zn)	-0,258	0,3072	250	Log (Zn/P)	1,364	0,3273	245
Log (N/Fe)	-0,842	0,2248	254	Log (Zn/K)	0,507	0,2964	245
Log (N/Mn)	-1,505	0,3370	253	Log (Zn/Ca)	0,116	0,3217	249
Log (N/Cu)	-0,193	0,4761	251	Log (Zn/Mg)	1,049	0,3087	248
Log (P/N)	-1,108	0,1412	251	Log (Zn/B)	-0,454	0,4147	248
Log (P/K)	-0,869	0,1226	246	Log (Zn/Fe)	-0,586	0,3374	247
Log (P/Ca)	-1,250	0,1676	249	Log (Zn/Mn)	-1,228	0,4140	246
Log (P/Mg)	-0,322	0,1412	248	Log (Zn/Cu)	0,068	0,5512	248
Log (P/B)	-1,819	0,2834	248	Log (Fe/N)	0,842	0,2248	254
Log (P/Zn)	-1,364	0,3273	245	Log (Fe/P)	1,954	0,2362	247
Log (P/Fe)	-1,954	0,2362	247	Log (Fe/K)	1,085	0,2139	251
Log (P/Mn)	-2,610	0,3576	246	Log (Fe/Ca)	0,694	0,2450	253
Log (P/Cu)	-1,308	0,4924	243	Log (Fe/Mg)	1,632	0,2313	250
Log (K/N)	-0,239	0,1032	255	Log (Fe/B)	0,135	0,3404	251
Log (K/P)	0,869	0,1226	246	Log (Fe/Zn)	0,586	0,3374	247
Log (K/Ca)	-0,383	0,1388	253	Log (Fe/Mn)	-0,664	0,3767	249
Log (K/Mg)	0,547	0,1139	249	Log (Fe/Cu)	0,655	0,5224	247
Log (K/B)	-0,948	0,2505	250	Log (Mn/N)	1,505	0,3370	253
Log (K/Zn)	-0,507	0,2964	245	Log (Mn/P)	2,610	0,3576	246
Log (K/Fe)	-1,085	0,2139	251	Log (Mn/K)	1,740	0,3345	249
Log (K/Mn)	-1,740	0,3345	249	Log (Mn/Ca)	1,364	0,3445	253
Log (K/Cu)	-0,432	0,5052	245	Log (Mn/Mg)	2,297	0,3100	249
Log (Ca/N)	0,149	0,1510	256	Log (Mn/B)	0,804	0,4032	252
Log (Ca/P)	1,250	0,1676	249	Log (Mn/Zn)	1,228	0,4140	246
Log (Ca/K)	0,383	0,1388	253	Log (Mn/Fe)	0,664	0,3767	249
Log (Ca/Mg)	0,932	0,1640	253	Log (Mn/Cu)	1,292	0,5690	246
Log (Ca/B)	-0,560	0,2187	255	Log (Cu/N)	0,193	0,4761	251
Log (Ca/Zn)	-0,116	0,3217	249	Log (Cu/P)	1,308	0,4924	243
Log (Ca/Fe)	-0,694	0,2450	253	Log (Cu/K)	0,432	0,5052	245
Log (Ca/Mn)	-1,364	0,3445	253	Log (Cu/Ca)	0,045	0,5293	249
Log (Ca/Cu)	-0,045	0,5293	249	Log (Cu/Mg)	0,991	0,4840	247
Log (Mg/N)	-0,786	0,1152	253	Log (Cu/B)	-0,516	0,5983	248
Log (Mg/P)	0,322	0,1412	248	Log (Cu/Zn)	-0,068	0,5512	248
Log (Mg/K)	-0,547	0,1139	249	Log (Cu/Fe)	-0,655	0,5224	247
Log (Mg/Ca)	-0,932	0,1640	253	Log (Cu/Mn)	-1,292	0,5690	246

* Teores de macronutrientes expressos em g kg⁻¹ e teores de micronutrientes expressos em mg kg⁻¹. As relações nutricionais log-transformadas são adimensionais. Valores dos nutrientes fora do intervalo de confiança de 95% da média foram desconsiderados no cálculo das relações nutricionais. Fonte: Pinto (2002), Wadt et al. (2007), Silva e Wadt (2020) e dados de plantios comerciais da região.

As normas CND apresentadas na Tabela 3 permitem a interpretação multivariada da composição nutricional da amostra foliar. Por utilizar a média geométrica dos teores nutricionais, o método avalia cada nutriente em relação ao conjunto analisado. Assim como no DRIS, os índices CND podem ser ordenados para indicar nutrientes em insuficiência relativa, equilíbrio ou excesso relativo.

Tabela 3. Teores foliares e normas CND obtidas de banco de dados de pomares comerciais de mangueira 'Tommy Atkins', em perímetros irrigados do Submédio do Vale do São Francisco

Nutriente*	Teor médio	Desvio padrão do teor	Norma média	Norma desvio-padrão
N	15,6	2,71	1,0558516	0,094171
P	1,3	0,34	-0,0467657	0,1300702
K	9,1	1,46	0,8221829	0,0978682
Ca	22,4	5,63	1,2059839	0,1257188
Mg	2,6	0,52	0,2760327	0,0949912
B	89	38,09	-1,2329431	0,2436835
Zn	36	23,52	-1,6561743	0,2518218
Fe	118	49,64	-1,1000582	0,191956
Mn	586	297,27	-0,4476483	0,309979
Cu	49	61,27	-1,723533	0,4617121

* Teores de macronutrientes expressos em g kg⁻¹ e teores de micronutrientes expressos em mg kg⁻¹. Para o cálculo das normas CND, os teores nutricionais foram expressos em dag kg⁻¹; os valores das normas são adimensionais. Fonte: Pinto (2002), Wadt et al. (2007), Silva e Wadt (2020), Wadt e Silva (2020) e dados de plantios comerciais da região.

Potencial de Resposta à Adubação

A simples ordenação dos índices DRIS ou CND permite identificar o nutriente com maior insuficiência relativa e o nutriente com maior excesso relativo. Contudo, esse critério, isoladamente, não define um limite objetivo para separar nutrientes em equilíbrio daqueles que devem ser interpretados como deficientes ou excessivos. O PRA foi proposto para suprir essa limitação, estabelecendo categorias de interpretação com base no sinal e na magnitude dos índices nutricionais em relação ao IBNm.

Na categoria de maior insuficiência, o nutriente apresenta alta probabilidade de resposta positiva à correção da deficiência. Essa condição ocorre quando o nutriente

possui simultaneamente o menor índice nutricional e módulo superior ao IBNm. Na categoria de insuficiência moderada, o nutriente não é o de menor índice, mas apresenta índice negativo com módulo superior ao IBNm, indicando probabilidade moderada de resposta positiva ou nula.

A categoria de equilíbrio corresponde aos nutrientes cujos índices não indicam necessidade de alteração relevante na disponibilidade do nutriente para a planta avaliada. Na categoria de excesso moderado, o nutriente apresenta índice positivo com módulo superior ao IBNm, mas não é o de maior índice da amostra, indicando probabilidade moderada de resposta negativa ou nula à elevação de sua disponibilidade. Na categoria de maior excesso, o nutriente possui o maior índice nutricional e módulo superior ao IBNm, indicando maior probabilidade de resposta negativa associada ao excesso.

A principal contribuição do PRA é converter o diagnóstico nutricional em uma regra de decisão para o manejo. A partir de uma tabela de adubação baseada na análise do solo, no teor foliar ou na produtividade esperada, a dose recomendada pode ser ajustada conforme o nutriente esteja em insuficiência, equilíbrio ou excesso. Em termos operacionais, nutrientes em insuficiência tendem a demandar aumento da disponibilidade ou correção de fatores limitantes; nutrientes em equilíbrio tendem a manter a recomendação-base; e nutrientes em excesso demandam redução da oferta ou manejo que evite intensificar o desequilíbrio.



Impactos na recomendação de adubação

A integração entre DRIS, CND e PRA amplia a utilidade agrônômica da análise foliar porque combina três níveis de interpretação: comparação dos teores com valores de referência, avaliação das relações entre nutrientes e classificação objetiva do potencial de resposta à correção nutricional. Esse arranjo é especialmente relevante em pomares irrigados e tecnificados, nos quais a fertirrigação e o manejo intensivo podem alterar rapidamente a disponibilidade de nutrientes e modificar o equilíbrio nutricional das plantas.

O uso de relações log-transformadas no DRIS representa avanço metodológico por reduzir assimetrias entre relações diretas e inversas. Essa característica contribui para diagnósticos mais estáveis quando diferentes relações nutricionais são usadas no cálculo dos índices. No CND, a interpretação multivariada da composição nutricional também reduz a dependência de avaliações isoladas dos nutrientes, mas exige que o conjunto de nutrientes analisado seja compatível com o conjunto utilizado na geração das normas.

Apesar dessas vantagens, os diagnósticos devem ser interpretados como apoio à decisão, e não como substitutos da avaliação agrônômica do pomar. A recomendação final de adubação deve considerar análise de solo, histórico de manejo, produtividade esperada, sistema de irrigação, sintomas visuais, qualidade dos frutos e eventuais

fatores não nutricionais, como salinidade, compactação, limitações hídricas, sanidade e porta-enxerto. O PRA contribui para explicitar essa transição entre diagnóstico e manejo, mas a dose final depende da tabela de adubação e do contexto produtivo.

Conclusões

O sistema integrado DRIS-CND-PRA permite interpretar a composição nutricional de mangueiras 'Tommy Atkins' com base em relações entre nutrientes e em categorias objetivas de potencial de resposta à adubação.

As normas DRIS log-transformadas e as normas CND apresentadas constituem referências para pomares comerciais irrigados do Submédio do Vale do São Francisco, devendo ser aplicadas preferencialmente em condições edafoclimáticas e de manejo semelhantes às da população usada para sua obtenção.

A associação dos índices DRIS ou CND ao PRA possibilita transformar o diagnóstico foliar em orientação operacional para aumento, manutenção ou redução da adubação, desde que integrada à análise de solo, ao histórico de manejo e à produtividade esperada.

Referências

Beaufils ER. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Pietermaritzburg: University of Natal; 1973.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS; 1997.

Parent LE, Dafir M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. J Am Soc Hortic Sci. 1992;117:239-42.

Pinto PA da C. Avaliação do estado nutricional da mangueira Tommy Atkins pelo DRIS e da qualidade pós-colheita de frutos no Submédio São Francisco [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2002.

Raj GB, Rao AP. Identification of yield-limiting nutrients in mango through DRIS indices. Commun Soil Sci Plant Anal. 2006;37:1761-74. <https://doi.org/10.1080/00103620600710587>.

Silva DJ, Quaggio JA, Pinto PA da C, Pinto AC de Q, Magalhães AF de J. Nutrição e adubação. In: Genu PJ de C, Pinto AC de Q, editores. A cultura da mangueira. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; 2002. p. 191-221.

Silva DJ, Wadt PGS. Normas DRIS log-transformadas e planilha de cálculo para avaliação do estado nutricional de mangueiras Tommy Atkins. Petrolina: Embrapa Semiárido; 2020. 10 p. (Embrapa Semiárido. Circular Técnica, 120).

Wadt PGS. Análise foliar como ferramenta para a recomendação de adubação. In:

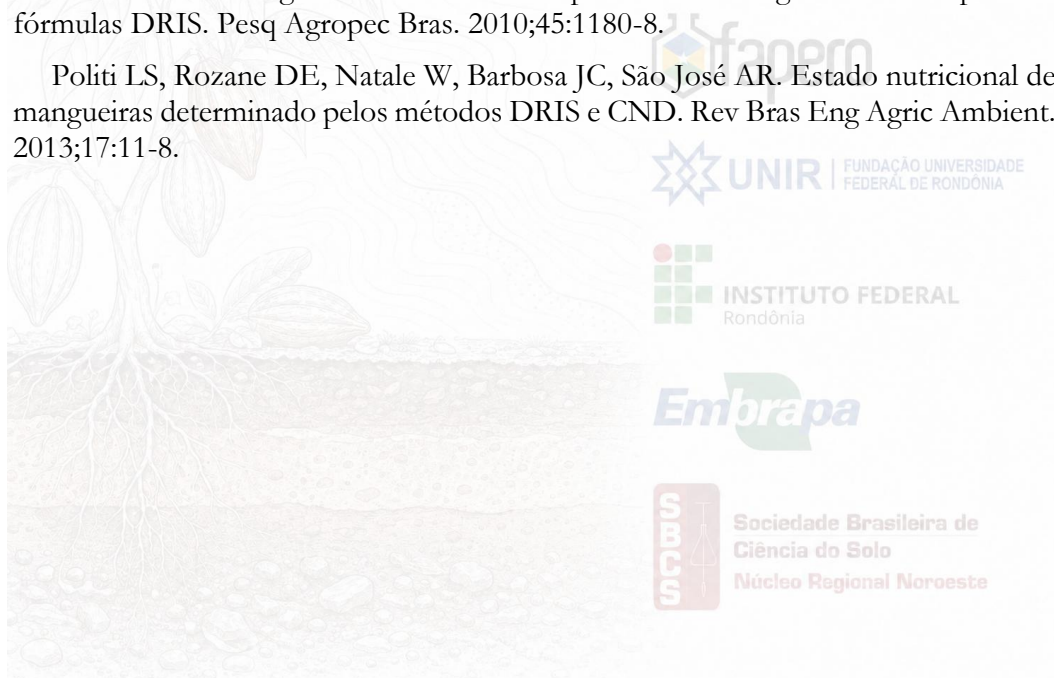
Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32.; 2009; Fortaleza. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios: anais. Viçosa: SBCS; Fortaleza: UFC; 2009. 50 p. 1 CD-ROM.

Wadt PGS, Silva DJ. Normas multivariadas para avaliação do estado nutricional de mangueiras cultivar Tommy Atkins, pelo método da Composição da Diagnose Nutricional. Porto Velho: Embrapa Rondônia; 2020. (Comunicado Técnico, 412).

Wadt PGS, Silva DJ, Maia CE, Tomé Júnior JB, Pinto PA da C, Machado PLO de A. Modelagem de funções no cálculo dos índices DRIS. Pesq Agropec Bras. 2007;42:57-64.

Wadt PGS, Silva DJ, Maia CE, Tomé Júnior JB, Pinto PA da C, Machado PLO de A. Acurácia do diagnóstico nutricional de pomares de mangueiras obtido por três fórmulas DRIS. Pesq Agropec Bras. 2010;45:1180-8.

Politi LS, Rozane DE, Natale W, Barbosa JC, São José AR. Estado nutricional de mangueiras determinado pelos métodos DRIS e CND. Rev Bras Eng Agric Ambient. 2013;17:11-8.



CINCO ANOS DA UMIPI CACAU EM RONDÔNIA: RESULTADOS DA COOPERAÇÃO EMBRAPA–CEPLAC PARA PESQUISA, INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA CADEIA CACAUUEIRA

FIVE YEARS OF UMIPI CACAO IN RONDÔNIA: OUTCOMES OF EMBRAPA–CEPLAC COOPERATION IN RESEARCH, INNOVATION, AND DEVELOPMENT OF THE CACAO VALUE CHAIN

Paulo Guilherme Salvador Wadt, Pesquisador, Embrapa Rondônia

Destaque: A UMIPI Cacau ampliou a pesquisa e a articulação institucional em Rondônia; o novo ciclo oferece oportunidade para integrar resultados, fortalecer planejamento e ampliar a inovação na cadeia cacauueira

Highlight: UMIPI Cacao expanded research and institutional coordination in Rondônia; the new cycle offers an opportunity to integrate results, strengthen planning, and expand innovation across the cacao value chain.

Resumo

A Unidade Mista de Pesquisa e Inovação em Cacau — UMIPI Cacau foi instituída como arranjo de cooperação entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — Embrapa e a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira — CEPLAC, com a finalidade de integrar competências, infraestrutura e agendas de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para a cacauicultura brasileira. Este trabalho sistematiza e analisa a contribuição dos primeiros cinco anos de implementação da UMIPI Cacau em Rondônia, considerando ativos e entregas estruturantes, produção técnico-científica, captação de recursos externos, difusão de conhecimentos e articulação institucional da cadeia produtiva. A cooperação ampliou

e conferiu maior dinamismo à agenda de pesquisa em cacau no Estado, com avanços na conservação e gestão do germoplasma, caracterização genética, diagnose nutricional, recomendação de adubação, sistemas agroflorestais, seleção clonal, qualidade de amêndoas, pós-colheita, sanidade e propagação vegetativa. Entre os resultados estruturantes destacam-se a organização integral do Banco Ativo de Germoplasma de Cacau de Ouro Preto do Oeste em banco de dados relacional, a participação de acessos de Rondônia em iniciativas de genotipagem, o desenvolvimento do sistema Fertiliza Cacau, a formação de redes de pesquisa e a manutenção de equipe de bolsistas vinculada aos projetos. A UMIPI também favoreceu a estruturação de projetos financiados pelo CNPq, MAPA, FAPERO e outras fundações estaduais, a realização de eventos técnico-científicos e a aproximação entre instituições de pesquisa, universidades, assistência técnica, órgãos de fomento, produtores e organizações setoriais. Entre os desdobramentos institucionais associados a esse ambiente de articulação destacam-se o Polo Cacau Amazônico e a integração com programas de desenvolvimento regional, capacitação e assistência técnica. A experiência do primeiro ciclo evidenciou, ainda, oportunidades para consolidar instrumentos de planejamento e fortalecer as instâncias de governança previstas no Acordo de Cooperação Técnica, acompanhando o crescimento da carteira de projetos e das redes envolvidas. Conclui-se que a UMIPI Cacau consolidou em Rondônia uma base técnica e institucional relevante para pesquisa e inovação em cacau e que a nova etapa de vigência do ACT oferece oportunidade para integrar capacidades já mobilizadas, estabelecer prioridades compartilhadas, aprimorar mecanismos de acompanhamento e ampliar o impacto da cooperação Embrapa–CEPLAC.

Palavras-chave: cacauicultura amazônica; cooperação interinstitucional; pesquisa e desenvolvimento; recursos genéticos; inovação agropecuária; governança institucional.

Abstract

The Joint Cacao Research and Innovation Unit — UMIPI Cacao was established as a cooperative arrangement between the Brazilian Agricultural Research Corporation — Embrapa and the Executive Commission for the Cacao Farming Plan — CEPLAC to integrate expertise, infrastructure, and research, development, innovation, and technology transfer agendas for the Brazilian cacao sector. This study systematizes and analyzes the contribution of the first five years of UMIPI Cacao implementation in Rondônia, considering structural assets and deliverables, scientific and technical production, external funding, knowledge dissemination, and institutional coordination across the cacao value chain. The cooperation expanded and strengthened the cacao research agenda in the state, with advances in germplasm conservation and management, genetic characterization, plant nutritional diagnosis, fertilizer recommendations, agroforestry systems, clone selection, bean quality,

postharvest practices, plant health, and vegetative propagation. Structural results include the complete organization of the Active Cacao Germplasm Bank in Ouro Preto do Oeste in a relational database, the inclusion of Rondônia accessions in genotyping initiatives, development of the Fertiliza Cacao system, formation of research networks, and maintenance of a fellowship-based technical team linked to ongoing projects. UMIPI Cacao also supported projects funded by the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development, the Ministry of Agriculture and Livestock, the Rondônia Research Support Foundation, and other state research foundations, while promoting technical and scientific events and closer interaction among research institutions, universities, extension services, funding agencies, producers, and sectoral organizations. Institutional developments associated with this broader environment of cooperation include the Amazon Cacao Cluster and stronger connections with regional development, professional training, and technical assistance programs. The first cycle also revealed opportunities to consolidate planning instruments and strengthen the governance mechanisms established in the Technical Cooperation Agreement as the project portfolio and institutional network expanded. It is concluded that UMIPI Cacao established a relevant technical and institutional foundation for cacao research and innovation in Rondônia, and that the new cooperation cycle provides an opportunity to integrate existing capacities, establish shared priorities, improve monitoring mechanisms, and increase the impact of Embrapa–CEPLAC cooperation.

Keywords: Amazonian cacao production; interinstitutional cooperation; research and development; genetic resources; agricultural innovation; institutional governance.

Concepção institucional da UMIPI Cacao

A UMIPI Cacao foi concebida no contexto da Lei de Inovação Tecnológica e do Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação, que ampliaram as possibilidades de cooperação entre instituições científicas e tecnológicas, órgãos públicos, empresas, agências de fomento e organizações parceiras. Esse ambiente jurídico favoreceu a constituição de alianças estratégicas, redes e arranjos multi-institucionais destinados a compartilhar competências, infraestrutura e recursos na execução de atividades de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia.

No Acordo de Cooperação Técnica firmado entre a Embrapa e o Ministério da Agricultura, por intermédio da CEPLAC, a UMIPI Cacao foi definida como instrumento de união de esforços entre instituições com atuação reconhecida em PD&I. Sua concepção não correspondeu à criação de uma nova pessoa jurídica ou unidade administrativa convencional, mas à formação de uma plataforma cooperativa, territorialmente distribuída e orientada por objetivos comuns, com atuação prevista em laboratórios, campos experimentais e coleções de germoplasma, especialmente nos estados da Bahia, Pará e Rondônia.

O desenho do ACT previu uma estrutura de gestão compartilhada, composta pelo

Comitê de Gestão Estratégica e pelo Comitê Técnico Executivo, além de instrumentos de planejamento e acompanhamento, como o Plano de Ação Estratégico e os Planos Anuais de Trabalho. Esses mecanismos foram concebidos para orientar prioridades, organizar projetos, acompanhar resultados, articular equipes e apoiar a busca de recursos. Assim, o acordo estabeleceu as bases institucionais para uma plataforma de governança, planejamento e execução de PD&I em cacau.

A lógica da UMIPI Cacau partiu da complementaridade entre os ativos institucionais. A CEPLAC aportou experiência histórica na cacaucultura, infraestrutura experimental, coleções de germoplasma e conhecimento aplicado à produção, enquanto a Embrapa contribuiu com redes temáticas nacionais, competências especializadas, sistemas corporativos de PD&I, mecanismos de transferência de tecnologia e capacidade de articulação multi-institucional. A integração dessas capacidades criou condições para ampliar a escala e a diversidade das iniciativas voltadas à conservação, melhoramento, sanidade, propagação, manejo do solo e da nutrição, sistemas agroflorestais, qualidade de amêndoas, pós-colheita e agregação de valor.

Evolução da UMIPI Cacau em Rondônia

Em Rondônia, a implementação da UMIPI Cacau encontrou uma base favorável formada pela Estação Experimental de Ouro Preto do Oeste, pelo Banco Ativo de Germoplasma de Cacau da CEPLAC, pela Embrapa Rondônia e por instituições estaduais e federais de ensino, pesquisa, assistência técnica e fomento. A principal contribuição do arranjo foi conectar esses ativos a uma agenda cooperativa mais ampla, aproximando competências que anteriormente se expressavam em iniciativas institucionais ou projetos específicos.

Ao longo do primeiro ciclo, a atuação evoluiu de uma fase inicial de articulação e identificação de oportunidades para uma carteira mais diversificada de projetos, publicações, ações de curadoria de germoplasma, atividades experimentais, eventos técnico-científicos e cooperações com universidades, serviços de assistência técnica e organizações do setor produtivo. Essa trajetória demonstra um processo progressivo de amadurecimento institucional, no qual a capacidade de mobilização regional se ampliou à medida que novas fontes de financiamento, redes de pesquisa e demandas da cadeia produtiva foram incorporadas.

O primeiro ciclo também evidenciou a natureza nacional da UMIPI. A integração com ações conduzidas pela Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, pela Embrapa Amazônia Oriental e por equipes da CEPLAC em outros estados permitiu aproximar Rondônia de iniciativas em genotipagem, micropropagação, sanidade, conservação e avaliação de materiais genéticos. Essas conexões são relevantes porque a inovação em cacau depende de redes capazes de compartilhar recursos genéticos, protocolos, dados e competências entre diferentes ambientes de produção.

Ao completar os primeiros cinco anos, o ACT alcançou um marco de maturação. O Termo Aditivo nº 01 prorrogou sua vigência por mais 60 meses, de 16 de novembro de 2025 a 16 de novembro de 2030. A prorrogação cria uma oportunidade para consolidar os avanços do primeiro ciclo, integrar iniciativas já estruturadas e organizar o novo período em torno de prioridades, entregas e mecanismos de acompanhamento compartilhados.

Ativos e resultados estruturantes da cooperação em Rondônia

A contribuição da UMIPI Cacau em Rondônia pode ser demonstrada não apenas pelo número de publicações ou projetos captados, mas também por ativos e entregas que ampliaram a capacidade regional de pesquisa e inovação. Esses resultados são particularmente importantes porque permanecem disponíveis para novos projetos, para a formação de recursos humanos e para a transferência de tecnologia.

Conservação, organização e uso do germoplasma

O Banco Ativo de Germoplasma de Cacau da CEPLAC em Ouro Preto do Oeste passou por um processo de organização, identificação e digitalização que resultou na catalogação integral do acervo em banco de dados relacional. Esse avanço fortaleceu a rastreabilidade dos acessos, a curadoria da coleção e a possibilidade de integrar informações de campo, dados fitobotânicos, características agronômicas, imagens e resultados de caracterização genética. O projeto CatBagCacau deu continuidade a esse processo, transformando a gestão da coleção em um componente tecnológico da própria estratégia de conservação e uso do germoplasma.

A inserção do acervo de Rondônia em redes nacionais também ampliou o valor científico da coleção. A Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia realizou a genotipagem de aproximadamente 3.100 acessos de cacaueteiro, incluindo 293 materiais de Rondônia e acessos da Bahia. Para Rondônia, esse resultado cria condições para aprofundar análises de identidade genética, diversidade, redundância e complementaridade do BAG, além de apoiar decisões sobre conservação, multiplicação e uso em programas de melhoramento.

A mesma articulação nacional vem gerando avanços em propagação e sanidade. A Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia encontra-se em fase avançada de definição de protocolo de micropropagação de cacaueteiro para os clones CCN 51 e PS 1319, resultado que poderá apoiar futuras ações de multiplicação de materiais superiores em Rondônia. No eixo fitossanitário, a quarentena e a limpeza sanitária de materiais destinados a testes de tolerância à monilíase reforçam a importância de integrar conservação, trânsito seguro de germoplasma e preparação da cadeia produtiva para riscos fitossanitários emergentes.

Manejo nutricional e produtos tecnológicos

Na área de manejo do solo e nutrição de plantas, a cooperação permitiu integrar bases de dados regionais, monitoramento de lavouras comerciais, métodos de diagnose nutricional e critérios para recomendação de corretivos e fertilizantes. O desenvolvimento de normas preliminares de Diagnose da Composição Nutricional (CND), a avaliação do estado nutricional de lavouras em diferentes condições de manejo e a incorporação do conceito de adubação modular balanceada contribuíram para estruturar uma abordagem regional de manejo nutricional do cacau. Esses avanços também foram sistematizados na publicação “Manejo nutricional e produtos tecnológicos”, disponibilizada no repositório Zenodo (Wadt, 2026), como parte da documentação técnico-científica associada a essa linha de atuação da UMIPI Cacau.

A evolução dessa agenda permitiu avançar da geração de informações sobre fertilidade do solo e estado nutricional das plantas para o desenvolvimento de soluções aplicáveis à tomada de decisão. Nesse processo, o sistema FertilizaCacau constitui um dos produtos tecnológicos concretos associados às ações desenvolvidas no contexto da UMIPI Cacau em Rondônia. A ferramenta integra resultados de análise de solo, diagnose foliar e produtividade, utilizando essas informações para estabelecer recomendações de calagem e adubação ajustáveis ao balanço nutricional da lavoura e às condições de manejo. A abordagem incorpora normas nutricionais regionais e critérios de recomendação construídos a partir de dados obtidos em lavouras comerciais de Rondônia. Estudos relacionados a essa linha de pesquisa confirmam a utilização de dados foliares, atributos do solo e produtividade na estruturação do FertilizaCacau.

O desenvolvimento do FertilizaCacau representa, assim, a transformação de resultados de pesquisa em uma solução tecnológica destinada ao apoio à assistência técnica. Além de sistematizar o processo de recomendação, a ferramenta amplia a rastreabilidade das decisões agronômicas e permite que normas, critérios e módulos de adubação sejam progressivamente atualizados à medida que novos dados experimentais e de lavouras comerciais sejam incorporados. Dessa forma, o manejo nutricional constitui um exemplo da trajetória da UMIPI Cacau em Rondônia na qual a integração entre pesquisa, bases de dados regionais e desenvolvimento tecnológico resultou em produto com aplicação direta no planejamento do manejo de lavouras cacaueiras..

Sistemas produtivos e validação regional

A UMIPI Cacau também contribuiu para ampliar a experimentação em sistemas produtivos adaptados às condições amazônicas. Em Ouro Preto do Oeste foi implantado ensaio de competição envolvendo bananeiras e cacaueiros, permitindo avaliar cultivares de bananeira e plátanos como componentes de sistemas agroflorestais e como alternativa de sombreamento temporário e diversificação de renda. A inclusão de indicadores de saúde do solo amplia a capacidade de interpretar

esses sistemas de forma integrada.

Outras experiências da rede nacional oferecem referências úteis para Rondônia. Em Altamira, no Pará, a Embrapa Amazônia Oriental implantou uma coleção de genótipos de cacauero fora da estrutura tradicional da CEPLAC e estabeleceu experimentos de competição de clones e híbridos em condições irrigadas e de sequeiro. A experiência reforça a importância de manter redes regionais de avaliação genética e de conduzir os ensaios com protocolos padronizados, permitindo que resultados de diferentes ambientes sejam comparados e utilizados na recomendação de materiais.

Recursos humanos, redes e capacidade operacional

O fortalecimento da capacidade operacional também constitui resultado do primeiro ciclo. No período recente, as ações vinculadas à UMIPI em Rondônia contaram com cinco bolsistas, sendo dois pesquisadores doutores e três profissionais de apoio técnico. Essa equipe ampliou a capacidade de executar atividades de campo, organizar dados, acompanhar projetos e dar continuidade às ações de conservação e experimentação.

A articulação entre pesquisadores foi formalizada também por meio de grupo registrado no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq, reunindo profissionais da Embrapa, universidades federais e institutos federais, com integrantes de Rondônia, Pará, Amazonas, São Paulo e Minas Gerais. Essa rede favorece a formulação de propostas, o intercâmbio de metodologias e a formação de equipes multidisciplinares, ampliando a inserção de Rondônia em projetos de alcance amazônico e nacional.

Produção técnico-científica associada à UMIPI Cacau em Rondônia e à agenda regional de pesquisa em cacau

A produção técnico-científica constitui uma evidência objetiva da capacidade do arranjo de transformar infraestrutura, coleções, dados e redes de colaboração em conhecimento aplicado. A implementação da UMIPI permitiu integrar ativos institucionais já existentes a novas oportunidades de cooperação e financiamento, ampliando a diversidade temática e a visibilidade da pesquisa em cacau realizada a partir de Rondônia.

Os trabalhos diretamente vinculados à UMIPI abrangem conservação e gestão de germoplasma, diagnose nutricional, recomendação de adubação, sistemas agroflorestais, qualidade de amêndoas, seleção clonal e tecnologias de informação aplicadas à curadoria de coleções (Tabela 1). Na linha de recursos genéticos, os estudos sobre distribuição de coletas, levantamento e realocação de acessos e digitalização do BAG fortaleceram a documentação e o uso estratégico da coleção de Ouro Preto do Oeste.

Na linha de nutrição de plantas, a elaboração de normas CND preliminares e de critérios de recomendação de adubação permitiu articular pesquisa de campo, diagnóstico nutricional e ferramentas de suporte à decisão. Em paralelo, os estudos sobre sistemas agroflorestais ampliaram a agenda para modelos produtivos diversificados e adaptados às condições amazônicas.

A produção científica de 2025 e 2026 evidencia a consolidação de redes de pesquisa capazes de gerar artigos em periódicos internacionais. Traspadini et al. (2025) demonstraram a interação entre seleção clonal, fermentação e perfil bioquímico e nutricional de amêndoas produzidas no sudoeste da Amazônia. Em 2026, a mesma rede mostrou que a seleção de clones adaptados deve considerar simultaneamente produtividade, equilíbrio nutricional e tolerância à vassoura-de-bruxa. Na área de biotecnologia, Oliveira et al. (2025) avançaram no conhecimento sobre embriogênese somática e regeneração de cacauero, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de propagação clonal.

Tabela 1. Produção técnico-científica associada à UMIPI Cacau em Rondônia e à agenda amazônica de pesquisa em cacau.

Publicação	Instituições	Relação com a UMIPI
OLIVEIRA ET AL (2025): Histochemical And Morphoanatomical Features Underlying Somatic Embryogenesis And Regeneration In Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	UnB, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, CNPq/Embrapa	Resultado de rede/articulação da UMIPI
TRASPADINI ET AL (2025): Fermentation And Clone Selection Modulate The Biochemical And Nutritional Profile Of Cocoa Beans Grown In The Southwestern Amazon	UNESP, Embrapa Rondônia, UNIR, UFAM	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia
BURITY ET AL (2024): Distribuição Espacial Da Coleta De Germoplasma De Cacau Na Amazônia Brasileira	UFRPE, Embrapa Rondônia, USP	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia
WERDAM ET AL (2024): Realocação Da Coleção De Germoplasma De Cacau Da Ceplac Na Estação Experimental De Ouro Preto Do Oeste: Quadras 09 E 10.	CEPLAC, Embrapa Rondônia	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia
WADT ET AL (2024): Normas Cnd Preliminares Para A Avaliação Do Estado Nutricional De Lavouras Cacaueiras Em Rondônia	Embrapa Rondônia, Embrapa Solos, SENAR/RO. UNIR, UNESP,	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia
SOARES ET AL (2024):	UNIR, Embrapa Rondônia,	Vínculo direto com a agenda

Publicação	Instituições	Relação com a UMIPI
Levantamento Preliminar Do Bag Cacau Em Ouro Preto Do Oeste – Rondônia Para Fins De Caracterização Genética	CEPLAC	da UMIPI em Rondônia
SOUZA et al (2024): Crescimento De Progenies De Meio-Irmãos De Cacau De Populações Nativas	UFAC	Contribuição correlata à agenda amazônica
WERDAM et al (2024): Levantamento Preliminar Da Coleção De Germoplasma De Cacau Em Ouro Preto Do Oeste, Rondônia	CEPLAC, USP, Embrapa Rondônia	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia
CORREIA & ALMEIDA (2024): Sistemas Agroflorestais Com Cacaueiros E Essências Florestais: Desempenho Agronômico, Clonagem E Análise Econômica	CEPLAC	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia
WADT & DELARME LINDA (2024): Manejo Nutricional De Cacaueiros: Recomendação De Adubação Para Melhoria Da Qualidade E Rendimento Na Fase Produtiva	Embrapa Rondônia, UNIR	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia
ALVES et al (2024): Prospecção De Cacaueiro Nativo Nas Margens Do Rio Purus Em Manoel Urbano, Acre	UNIR	Contribuição correlata à agenda amazônica
SANTOS et al (2024): Análise Física Das Amêndoas De Cacau Das Ilhas De Várzea Do Baixo Tocantins Submetidas A Diferentes Tipos De Secagem	UFRA, MEG	Contribuição correlata à agenda amazônica
WADT & WERDAM (2024): Implementação De Tecnologias De Informação Para A Melhoria Da Gestão De Coleções De Germoplasma De Cacau Em Rondônia	Embrapa Rondônia, CEPLAC	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia
SALES et al (2024): Crescimento De Mudanças De Cacaueiro Nativo, Acre, Brasil	UFAC	Contribuição correlata à agenda amazônica
PRADO & WADT (2024): Pesquisas Em Nutrição De Plantas Para A Bioeconomia Do Cacaueiro: Estado Atual E Perspectivas	UNESP, Embrapa Rondônia	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia
TRASPADINI et al. (2026): Cacao clones modulate pod	UNESP, Embrapa Rondônia, UNIR, UFAM	Vínculo direto com a agenda da UMIPI em Rondônia

Publicação	Instituições	Relação com a UMIPI
tolerance to witches' broom and nutritional imbalances, enhancing cocoa production in the Amazon		

Captação de recursos externos e consolidação da carteira de PD&I em cacau

A captação de recursos externos foi outro resultado relevante da evolução da UMIPI Cacau em Rondônia. A cooperação contribuiu para transformar demandas técnicas em projetos estruturados, com objetivos, equipes, instituições parceiras e produtos definidos. Mais do que substituir recursos institucionais, o financiamento externo permitiu ampliar a escala das ações, incorporar novas competências e dar continuidade a linhas de pesquisa consideradas estratégicas para a cadeia produtiva.

A carteira passou a reunir fontes nacionais, regionais e estaduais, incluindo CNPq, MAPA, FAPERO, FAPEAM e FAPESP (Tabela 2). A presença de diferentes financiadores demonstra capacidade de formular propostas competitivas e de conectar a agenda de Rondônia a redes amazônicas e nacionais. A FAPERO teve papel particularmente relevante ao financiar projetos de digitalização do BAG, recomendação de adubação, sistemas agroflorestais e recuperação sustentável da cadeia cacauceira.

Tabela 2. Projetos com financiamento externo e principais avanços associados à agenda da UMIPI Cacau em Rondônia.

Projeto / liderança	Executora e parceiros	Financiamento	Situação e entregas/avanços observados
Aduba Fácil Cacau – bases para o manejo nutricional da moderna lavoura cacauceira Liderança: Paulo Guilherme Salvador Wadt	Embrapa Rondônia; parceiros: CEPLAC, SENAR-RO	CNPq	Gerou bases de dados, critérios diagnósticos e o sistema Fertiliza Cacau, produto tecnológico concluído para apoiar recomendações modulares e balanceadas de calagem e adubação.
Recomendação de Adubação para Sistemas de Produção Cacauceira a Pleno Sol Liderança: Elaine de Almeida Delarmelinda	UNIR; parceiros: Embrapa Rondônia, CEPLAC, UFAM, UFAC	FAPERO	Monitoramento de lavouras comerciais, normas CND preliminares e integração entre fertilidade do solo, diagnose foliar, produtividade e manejo para aperfeiçoar recomendações regionais.
Catálogo Digital do Banco Ativo de Germoplasma de Cacau da CEPLAC em	CEPLAC; parceiros: Embrapa	FAPERO	BAG integralmente catalogado e identificado em banco de dados relacional;

Projeto / liderança	Executora e parceiros	Financiamento	Situação e entregas/avanços observados
Rondônia — CatBagCacau Liderança: Paulo Guilherme Salvador Wadt	Rondônia e Universidade Federal do Amazonas	FAPERO	avanço da rastreabilidade, digitalização, curadoria e estruturação do catálogo digital.
Cultivares de Bananeira em Sistemas Agroflorestais com Cacaueiros: Tecnologia Verde em Rondônia Liderança: Paulo Guilherme Salvador Wadt	CEPLAC; parceiros: Embrapa Cerrados, Embrapa Rondônia, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco e Universidade Federal Rural de Pernambuco		Ensaio de competição implantado em Ouro Preto do Oeste, com avaliação de cultivares de bananeira e plátanos em consórcio com cacaueiros e uso do BioAS como indicador de saúde do solo.
Estratégias agrônômicas para recuperação sustentável da cadeia cacaueira no sudoeste da Amazônia Liderança: Sylviane Beck Ribeiro; Douglas Marcelo Pinheiro da Silva; Renato de Mello Prado	UNIR, UFAM, UNESP; parceiros: Embrapa Rondônia, Ceplac	FAPERO, FAPEAM, FAPESP	Rede interestadual consolidada e resultados publicados sobre seleção clonal, fermentação, perfil bioquímico/nutricional, produtividade, equilíbrio nutricional e tolerância à vassoura-de-bruxa.
Sistematização de indicadores de produção e características agrônômicas da lavoura cacaueira na Amazônia Liderança: Paulo Guilherme Salvador Wadt	Embrapa Rondônia; parceiros: CEPLAC	MAPA	Estruturação e integração de indicadores de manejo, fertilidade, estado nutricional e produtividade, com suporte ao desenvolvimento de critérios de diagnose e recomendação para condições amazônicas.

A Tabela 2 destaca o objetivo formal dos projetos das entregas ou avanços já associados à execução. Essa distinção é importante porque a captação de recursos representa, por si só, um indicador de capacidade institucional, mas os impactos científico e tecnológico dependem da execução continuada e da conversão dos objetivos em dados, protocolos, publicações, produtos e recomendações.

O conjunto de projetos mostra complementaridade entre linhas de atuação. A nutrição do cacaueiro avançou do diagnóstico para ferramentas de recomendação; a gestão do germoplasma evoluiu para sistemas de dados e catálogo digital; os sistemas agroflorestais passaram a incorporar avaliações de cultivares e saúde do solo; e a seleção clonal foi conectada à qualidade de amêndoas, sanidade e desempenho

nutricional. Essa convergência reduz a fragmentação temática e favorece uma agenda territorial de inovação.

Articulação institucional, difusão técnico-científica e visibilidade pública

A contribuição da UMIPI Cacau não se restringiu à produção científica e à captação de projetos. A realização de eventos, oficinas, visitas técnicas e mesas de articulação ampliou a circulação do conhecimento e criou espaços de diálogo entre pesquisadores, técnicos, produtores, gestores públicos, instituições de fomento, assistência técnica, organizações setoriais e agentes de mercado.

Tabela 3. Eventos e atividades de difusão associados à agenda da UMIPI Cacau em Rondônia.

Evento / período	Principais conteúdos	Contribuição para a agenda da UMIPI
II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia – Ouro Preto do Oeste, 2023	Dia do P&D do Cacau, workshop da cadeia produtiva e debates sobre SAFs, melhoramento, mercado, qualidade, fermentação e materiais clonais.	Reuniu instituições e especialistas, deu visibilidade à agenda de pesquisa e criou ambiente para novos projetos e cooperações.
I Reunião de Ciência do Solo do Núcleo Regional Noroeste – 2024	Visita técnica a lavouras cacaueiras de alta produtividade e discussão sobre recomendação de adubação em diferentes sistemas de manejo.	Aproximou a agenda de manejo do solo e nutrição das demandas de técnicos e produtores.
III Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia – Cacoal, 2025	Minicurso, dia de campo, conferências, oficinas, mesas-redondas e pôsteres sobre genética, propagação, pós-colheita, polinização, adubação, rastreabilidade, EUDR, mercados e governança.	Ampliou a agenda da UMIPI para qualidade, sustentabilidade, acesso a mercados, inclusão social e governança territorial.
13ª Rondônia Rural Show Internacional – Ji-Paraná, 2026	Painel “Catálogo Digital do Cacau e UMIPI Cacau” no Espaço Inovação.	Demonstrou continuidade e visibilidade pública da agenda no novo ciclo do ACT, aproximando pesquisa, gestão pública e cadeia produtiva.

Repercussão na mídia institucional

A presença da UMIPI Cacau em canais institucionais de comunicação também constitui indicador de visibilidade pública. Em 11 de outubro de 2023, a Embrapa Rondônia publicou a notícia “Projeto visa melhorar produtividade de cacau em Rondônia”, destacando a produção de sementes e mudas como foco das pesquisas realizadas no âmbito da UMIPI Cacau entre CEPLAC e Embrapa. A matéria contribuiu para apresentar ao público a cooperação e sua relação com demandas concretas da produção regional.

No novo ciclo do ACT, a programação da 13ª Rondônia Rural Show Internacional incluiu, em 28 de maio de 2026, o painel “Catálogo Digital do Cacau e UMIPI Cacau”, promovido no Espaço Inovação. A presença da iniciativa em um dos principais eventos agropecuários do Estado demonstra continuidade das ações e amplia a interlocução com gestores, produtores, empresas e instituições parceiras. Esses registros de mídia não substituem indicadores científicos ou tecnológicos, mas ajudam a documentar a capacidade da UMIPI de comunicar resultados e inserir sua agenda em espaços públicos estratégicos.

Articulação institucional e governança territorial da cacauicultura

Além dos resultados diretamente expressos em publicações, projetos e eventos, a atuação desenvolvida no contexto da UMIPI Cacau contribuiu para ampliar a articulação institucional da cadeia do cacau em Rondônia. O arranjo favoreceu a conexão entre pesquisa, formação acadêmica, assistência técnica, fomento, gestão pública, produtores e organizações setoriais, criando um ambiente de cooperação mais amplo do que a relação bilateral entre Embrapa e CEPLAC.

Nesse contexto, destaca-se a criação e implementação do Polo Cacau Amazônico no âmbito do Programa Rotas de Integração Nacional, do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, em articulação com a SEAGRI/RO. O Polo passou a funcionar como espaço de convergência para visitas técnicas, reuniões, definição de prioridades e aproximação entre pesquisa, produção, assistência técnica, agregação de valor e desenvolvimento regional. A inserção na Rota do Cacau também contribuiu para tratar a cultura como componente de bioeconomia, geração de renda, recomposição produtiva e desenvolvimento territorial.

Também foram relevantes os instrumentos de cooperação e articulações envolvendo CEPLAC, UNIR, SENAR-RO e instituições de apoio. A aproximação com a UNIR fortaleceu a formação de recursos humanos e a integração entre pós-graduação, pesquisa e extensão. A interface com o SENAR-RO ampliou a possibilidade de levar recomendações técnicas, capacitação e validação de tecnologias a produtores, aproveitando a capilaridade da assistência técnica continuada.

Alerta-se, contudo, que esses desdobramentos devem ser interpretados com cautela quanto à atribuição causal. A UMIPI não é responsável isoladamente pela

governança territorial da cadeia, mas contribuiu para criar conexões, agendas e oportunidades que favoreceram a formação de uma rede mais articulada.

Consolidação institucional e perspectivas para o novo ciclo da UMIPI Cacao

A experiência acumulada durante os primeiros cinco anos demonstra que a cooperação entre Embrapa e CEPLAC criou condições favoráveis para ampliar a agenda de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia relacionada à cacauicultura em Rondônia. O crescimento da carteira de projetos, do número de parceiros e das áreas temáticas também cria oportunidades para consolidar mecanismos de planejamento, coordenação e integração previstos no ACT.

Ao longo do primeiro ciclo, esses mecanismos alcançaram diferentes níveis de operacionalização nos territórios de atuação, refletindo as particularidades regionais e o caráter progressivo de implantação do arranjo. Em Rondônia, a execução se apoiou fortemente na articulação entre equipes técnicas, infraestrutura existente, instituições parceiras e oportunidades de financiamento, com elevada capacidade de mobilização e geração de resultados.

A prioridade para o novo ciclo é consolidar e integrar as capacidades já mobilizadas, associando a experiência acumulada a instrumentos mais sistemáticos de planejamento, acompanhamento e avaliação de resultados. Planos anuais e plurianuais podem organizar projetos em torno de objetivos comuns, explicitar entregas, definir responsabilidades e facilitar o monitoramento, sem transformar a governança em um fim administrativo em si mesma.

O fortalecimento do Comitê de Gestão Estratégica e do Comitê Técnico Executivo poderá favorecer maior integração entre Rondônia, Pará e Bahia, respeitando as particularidades de cada território. A diversidade de infraestrutura, coleções, ambientes, sistemas produtivos e competências é uma vantagem do caráter nacional da UMIPI; sua integração pode estimular projetos conjuntos, compartilhamento de protocolos e dados, intercâmbio de materiais e construção de uma agenda nacional de PD&I em cacao.

Para Rondônia, algumas prioridades se mostram particularmente relevantes: consolidar o Banco Ativo de Germoplasma como plataforma de conservação e inovação; integrar genotipagem, caracterização fenotípica e informações agrônomicas; avançar na propagação de materiais superiores e na produção de sementes híbridas de irmãos completos; fortalecer a rede de ensaios de competição e validação regional; ampliar a aplicação do Fertiliza Cacao e de ferramentas de manejo nutricional; dar continuidade aos estudos com sistemas agroflorestais; e integrar sanidade, qualidade de amêndoas, rastreabilidade e mercados às decisões de pesquisa.

Também é estratégica a articulação com o projeto Transforma Cacao RO e com o Polo Cacao Amazônico. Essas iniciativas podem oferecer escala territorial, recursos

e interfaces com produtores, viveiros, assistência técnica e políticas públicas. A UMIPI Cacau pode atuar como componente técnico-científico desse ecossistema, evitando sobreposição de esforços e orientando suas contribuições para lacunas nas quais a pesquisa e a inovação sejam efetivamente necessárias.

A experiência de outros estados deve ser utilizada de forma complementar. Os avanços em micropropagação e genotipagem conduzidos pela Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, bem como as experiências de avaliação de genótipos no Pará, podem ser incorporados a uma agenda de validação e multiplicação de materiais para Rondônia. O ganho institucional ocorrerá quando essas ações deixarem de ser iniciativas isoladas e passarem a compor fluxos integrados de conservação, caracterização, saneamento, propagação, avaliação regional e transferência de materiais qualificados.

A prorrogação do ACT até 2030 constitui, portanto, uma oportunidade de evolução institucional. A nova etapa oferece condições para consolidar resultados, conectar capacidades e transformar a experiência acumulada em planejamento integrado. A maior regularidade das instâncias de governança, associada à definição de prioridades, indicadores e mecanismos de acompanhamento, poderá ampliar a efetividade das ações e demonstrar com maior clareza os resultados técnicos, científicos, econômicos e sociais da cooperação.

Conclusão

A análise dos primeiros cinco anos da UMIPI Cacau em Rondônia evidencia que a cooperação entre Embrapa e CEPLAC contribuiu para estabelecer uma base técnica e institucional relevante para o desenvolvimento da pesquisa, da inovação e da transferência de tecnologia relacionadas à cacauicultura. Essa contribuição se expressa em ativos estruturantes, produção técnico-científica, carteira de projetos financiados, equipes mobilizadas, organização do germoplasma, desenvolvimento de ferramentas de manejo, experimentação em sistemas produtivos e formação de redes de colaboração.

Os resultados alcançados abrangem componentes estratégicos da cadeia, incluindo conservação e gestão de germoplasma, caracterização genética, manejo nutricional, sistemas agroflorestais, propagação de plantas, seleção de materiais genéticos, sanidade, qualidade de amêndoas e pós-colheita. Paralelamente, a cooperação favoreceu a aproximação entre instituições de pesquisa, universidades, assistência técnica, agências de fomento, produtores e organizações do setor produtivo, ampliando a inserção de Rondônia em iniciativas regionais e nacionais de PD&I em cacau.

O primeiro ciclo também demonstra que a ampliação das ações torna oportuno consolidar os instrumentos de planejamento e as instâncias de governança previstas no ACT. Esse movimento deve ser entendido como etapa de maturação do arranjo, orientada à integração de capacidades já mobilizadas, à definição de prioridades



compartilhadas e à melhoria do acompanhamento das entregas, acompanhando a ampliação da escala e da complexidade da cooperação.

A prorrogação do ACT por mais cinco anos oferece condições para transformar a experiência acumulada em uma agenda ainda mais integrada e orientada a resultados. Em Rondônia, a existência de infraestrutura experimental, banco de germoplasma organizado, carteira de projetos, ferramentas tecnológicas, pesquisadores e bolsistas mobilizados e uma rede crescente de parceiros constitui base concreta para essa nova etapa.

Assim, os primeiros cinco anos podem ser interpretados como uma fase de implantação, mobilização e formação de uma base técnico-institucional. O período 2025–2030 oferece a oportunidade de avançar para maior integração estratégica, na qual planejamento, governança, pesquisa e transferência de tecnologia se reforcem mutuamente. A prioridade consiste em converter a diversidade de iniciativas já estabelecidas em um portfólio coerente de entregas, ampliando a contribuição da UMIPI Cacau para a competitividade, a sustentabilidade e a inovação da cacauicultura de Rondônia e do Brasil.

Referências

ALVES, A. de M.; SILVA, R. F. da; PEREIRA, J. A. da S.; SANTOS, V. B. dos; SILVA, N. R. S. da. Prospecção de cacauzeiro nativo nas margens do Rio Purus em Manoel Urbano, Acre. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 271-272.

BRASIL. Decreto nº 9.283, de 7 de fevereiro de 2018. Regulamenta a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, a Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016, e dispositivos relacionados ao Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BRASIL. Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2004.

BRASIL. Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. Brasília, DF: Presidência da República, 2016.

BURITY, K. T. L.; WADT, P. G. S.; FIGUEIRA, A. Distribuição espacial da coleta de germoplasma de cacau na Amazônia brasileira. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade

Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 113-125.

CORRÊA, F. L. de O.; ALMEIDA, C. M. V. C. de. Sistemas agroflorestais com cacauzeiros e essências florestais: desempenho agrônomo, clonagem e análise econômica. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 191-196.

EMBRAPA. Catálogo Digital do Cacau e UMIPI Cacau – Espaço Inovação – 13ª Rondônia Rural Show Internacional. Ji-Paraná, 28 maio 2026. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-eventos/-/evento/504588/catalogo-digital-do-cacau-e-umipi-cacau---espaco-inovacao---13-rrsi>. Acesso em: 15 set. 2026.

EMBRAPA. Projeto visa melhorar produtividade de cacau em Rondônia. Embrapa Rondônia, 11 out. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/web/rondonia/busca-de-noticias/-/noticia/84003035/projeto-visa-melhorar-produtividade-de-cacau-em-rondonia>. Acesso em: 15 set. 2026.

OLIVEIRA, L. P. L. de; SILVA-CARDOSO, I. M. de A.; SOUZA, A. L. X. de; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Histochemical and morphoanatomical features underlying somatic embryogenesis and regeneration in cacao (*Theobroma cacao* L.). Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), v. 162, art. 86, 2025. DOI: 10.1007/s11240-025-03214-z.

PRADO, R. de M.; WADT, P. G. S. Pesquisas em nutrição de plantas para a bioeconomia do cacauzeiro: estado atual e perspectivas. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 305-306.

SALES, N. C. da C.; ALBUQUERQUE, H. N. de; NOGUEIRA, I. da C.; SANTOS, V. B. dos; PEREIRA, J. A. da S. Crescimento de mudas de cacauzeiro nativo, Acre, Brasil. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 293-294.

SANTOS, D. do E. S. dos; NASCIMENTO, E. W. R. C.; SILVA, M. A. P. da; TRINDADE, M. J. de S.; SILVA, J. F. B. R. da; VILHENA, M. do P. S. P. Análise física das amêndoas de cacau das ilhas de várzea do Baixo Tocantins submetidas a diferentes tipos de secagem. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto

Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 287-289.

SOARES, G. E. C.; WADT, L. H. de O.; WADT, P. G. S. Levantamento preliminar do BAG Cacao em Ouro Preto do Oeste – Rondônia para fins de caracterização genética. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 153-159.

SOUZA, G. do N.; ALBUQUERQUE, H. N. de; NOGUEIRA, I. da C.; SANTOS, V. B. dos; PEREIRA, J. A. da S. Crescimento de progênies de meio-irmãos de cacao de populações nativas. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 161-168.

TRASPADINI, E. I. F.; PRADO, R. de M.; REIS, E. G.; GRATÃO, P. L.; WADT, P. G. S.; RIBEIRO, S. B.; SILVA, D. M. P. da. Fermentation and clone selection modulate the biochemical and nutritional profile of cocoa beans grown in the southwestern Amazon. *Scientific Reports*, v. 15, art. 43999, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-27795-z.

TRASPADINI, E. I. F.; PRADO, R. de M.; WADT, P. G. S.; GRATÃO, P. L.; RIBEIRO, S. B.; SILVA, D. M. P. da. Cacao clones modulate pod tolerance to witches' broom and nutritional imbalances, enhancing cocoa production in the Amazon. *Scientific Reports*, v. 16, art. 9997, 2026. DOI: 10.1038/s41598-026-40483-w.

WADT, P. G. S. DRIS Cacao - Integrated System for Diagnosis and Recommendation of Fertilization for Cacao Trees. Version 20240223. Zenodo, 2026. Software. Disponível em: <https://zenodo.org/records/22761991>. Acesso em: 15 set. 2026.

WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; PÉREZ, D. V. Manejo nutricional de cacaueiros: recomendação de adubação para melhoria da qualidade e rendimento na fase produtiva. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 239-253.

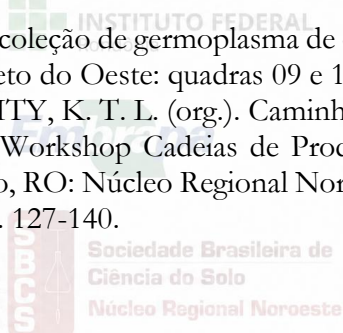
WADT, P. G. S.; PÉREZ, D. V.; TURCATO, C. S.; JESUS, A. G. de; SILVA, J. G. da; SILVA, A. F.; SANTOS, M. J. L. dos; SPIROTTTO, E. de O.; RODRIGUES, B.; RIBEIRO, C. de O.; SANTOS, L. M. dos; COSTA, R. F.; DELARMELINDA, E. de A.; PRADO, R. de M. Normas CND preliminares para a avaliação do estado

nutricional de lavouras cacaueiras em Rondônia. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 141-149.

WADT, P. G. S.; WERDAM, N. Implementação de tecnologias de informação para a melhoria da gestão de coleções de germoplasma de cacau em Rondônia. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 295-296.

WERDAM, N.; CORREIA, L. M. B. M.; WADT, P. G. S. Levantamento preliminar da coleção de germoplasma de cacau em Ouro Preto do Oeste, Rondônia. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 179-188.

WERDAM, N.; WADT, P. G. S. Realocação da coleção de germoplasma de cacau da CEPLAC na Estação Experimental de Ouro Preto do Oeste: quadras 09 e 10. In: WADT, P. G. S.; DELARMELINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. (org.). Caminhos da produção agroflorestal na Amazônia: anais do II Workshop Cadeias de Produção Agroflorestal Prioritárias da Amazônia. Porto Velho, RO: Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 127-140.



ECOLOGICAL POTENTIAL AND KNOWLEDGE GAPS OF *SAMANEA TUBULOSA* (BORDÃO-DE-VELHO) FOR SILVOPASTORAL SYSTEM IN THE AMAZON BIOME

POTENCIAL ECOLÓGICO E LACUNAS DE CONHECIMENTO SOBRE *SAMANEA TUBULOSA* (BORDÃO-DE-VELHO) PARA SISTEMA SILVIPASTORIL NO BIOMA AMAZÔNIA

Henrique Nery Cipriani, Embrapa Florestas, Colombo, Paraná, Brazil, e-mail: henrique.cipriani@embrapa.br; Ana Karina Dias Salman, Embrapa Rondônia, Porto Velho, Rondônia, Brazil, e-mail: ana.salman@embrapa.br.

Destaque: A leguminosa nativa Samanea tubulosa demonstra potencial como componente de sistemas silvipastoris amazônicos, aumentando a produtividade das pastagens e atributos-chave da fertilidade do solo, além de fornecer forragem potencialmente valiosa. Contudo, dados sobre fixação de nitrogênio, sequestro de carbono e desempenho econômico em condições regionais ainda são limitados.

Highlight: Samanea tubulosa shows considerable potential as a native leguminous component of Amazonian silvopastoral systems by enhancing pasture productivity and key soil fertility attributes beneath its canopy, while also providing potentially valuable fodder. However, quantitative data on nitrogen fixation rates, long-term carbon sequestration, and economic performance under regional conditions remain limited.

Resumo

Os sistemas silvipastoris (SSP) são cada vez mais reconhecidos por sua capacidade de melhorar o bem-estar e a produtividade animal, contribuindo simultaneamente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na produção pecuária. A integração de leguminosas arbóreas nativas, como a *Samanea tubulosa* (bordão-de-velho), oferece um caminho promissor para a transição de monoculturas exóticas

para paisagens ecologicamente mais resilientes. Esta revisão sintetiza as evidências atuais de campo e experimentais sobre o potencial agroflorestal da *S. tubulosa*, com ênfase em suas características de propagação, melhorias nas condições edáficas, qualidade de forragem e benefícios mais amplos em nível sistêmico. Estudos recentes indicam que a presença de *S. tubulosa* em pastagens está associada ao aumento da fertilidade do solo sob sua copa, caracterizada por maiores concentrações de cálcio, soma de bases trocáveis e saturação de bases. Além disso, os sistemas silvopastoris que incorporam essa espécie apresentam maior diversidade alfa microbiana do solo do que os eucaliptos exóticos, indicando um maior potencial para o aprimoramento do funcionamento do ecossistema subterrâneo. Em termos de integração com a pecuária, a presença de *S. tubulosa* tem sido associada ao maior acúmulo de matéria seca na forragem e a maiores concentrações de proteína bruta em gramíneas forrageiras como *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) *brizantha*. Pesquisas com *S. tubulosa* e espécies congêneres (particularmente *S. saman*) demonstraram alto valor nutritivo da forragem e concentrações favoráveis de proteína bruta na folhagem e nas vagens. Avaliações nutricionais detalhadas de *S. tubulosa* ainda são escassas. Apesar dessas vantagens, diversas lacunas de conhecimento limitam o desenvolvimento de recomendações robustas para adoção em larga escala. Informações quantitativas sobre sequestro de carbono a longo prazo, taxas de crescimento anual das árvores em condições de campo e efeitos diretos no desempenho do gado, incluindo ganho de peso vivo e produção de leite, ainda são limitadas. Uma importante questão não resolvida é a falta de medições diretas da fixação biológica de nitrogênio (FBN) por *S. tubulosa* em solos amazônicos. Pesquisas futuras devem priorizar estudos longitudinais em múltiplos locais, avaliações de nitrogênio baseadas em isótopos estáveis e experimentos de pastoreio controlado para abordar essas lacunas de conhecimento e apoiar a otimização de sistemas silvopastoris baseados nessa espécie.

Palavras-chave: Agrofloresta; Árvores nativas; Intensificação sustentável; Qualidade da forragem; Revisão de escopo; Saúde do solo.

Abstract

Silvopastoral systems (SPS) are increasingly recognized for their ability to enhance animal welfare and productivity while contributing to the mitigation of greenhouse gas (GHG) emissions in livestock production. Integrating native leguminous trees such as *Samanea tubulosa* (bordão-de-velho) offers a promising pathway for transitioning from exotic monocultures to more ecologically resilient landscapes. This review synthesizes current field and experimental evidence on the agroforestry potential of *S. tubulosa*, with emphasis on its propagation characteristics, canopy-mediated improvements in edaphic conditions, forage contributions, and broader system-level benefits. Recent studies indicate that the presence of *S. tubulosa* in pastures is associated with enhanced soil fertility beneath its canopy, characterized by higher calcium concentrations, sum of exchangeable bases, and base saturation. In

addition, silvopastoral systems incorporating this species harbor greater soil microbial alpha diversity than exotic *Eucalyptus*, indicating a greater potential for enhanced belowground ecosystem functioning. In terms of livestock integration, the presence of *S. tubulosa* has been associated with greater forage dry matter accumulation and higher crude protein concentrations in forage grasses such as *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) *brizantha*. Research on *S. tubulosa* and congeners (particularly *S. saman*), has demonstrated high forage nutritive value and favorable crude protein concentrations in foliage and pods. Detailed nutritional assessments of *S. tubulosa* remain scarce. Despite these advantages, several knowledge gaps limit the development of robust recommendations for large-scale adoption. Quantitative information on long-term carbon sequestration, annual tree growth rates under field conditions, and direct effects on livestock performance, including liveweight gain and milk production, remains limited. A major unresolved issue is the lack of direct measurements of biological nitrogen fixation (BNF) by *S. tubulosa* in Amazonian soils. Future research should prioritize multi-site longitudinal studies, stable isotope-based nitrogen assessments, and controlled grazing experiments to address these knowledge gaps and support the optimization of silvopastoral systems based on this species.

Keywords: Agroforestry; Forage quality; Native trees; Scoping review; Soil health; Sustainable intensification.

Introduction

In the Amazon region, silvopastoral systems (SPS) represent a sustainable land-use strategy that enhances ecosystem service provision through carbon sequestration, improved soil health, and reduced greenhouse gas emissions. Consequently, these integrated systems can facilitate the transformation of degraded pastures into productive, climate-resilient landscapes (Greene et al., 2023; Oliveira et al., 2023).

Samanea tubulosa has attracted considerable attention as a native tree species for integration into agroforestry and silvopastoral systems across Brazil and neighboring tropical regions (Carvalho, 2007; Oliveira and Luz, 2012). Reviews and taxonomic treatments of the genus *Samanea* highlight its wide tropical distribution and multipurpose value (Carvalho, 2007; Barbosa, 2014; Jetana et al., 2018). In Brazil, studies on *S. tubulosa* have focused on field evaluations in Acre, seed germination, nursery management and ruminant feed supplementation, thereby establishing the foundation for current knowledge of its propagation, silvicultural performance and potential for animal nutrition (Giachini et al., 2010; Oliveira and Luz, 2012; Pérez-Márquez et al., 2025).

Species within the genus *Samanea*, including *S. tubulosa* and the closely related *S. saman*, are leguminous trees characterized by broad, umbrella-shaped canopies and well-documented ethnobotanical importance and multipurpose value throughout the tropics (Carvalho, 2007; Jetana et al., 2018; Sarabia et al., 2023). While reports

describe a broad tropical distribution of species within the genus *Samanea*, most empirical field studies and nursery experiments involving *S. tubulosa* have been conducted in the Brazilian Amazon, providing evidence of its adaptability and potential utility in agroforestry and reforestation systems (Andrade et al., 2012; Oliveira and Luz, 2012; Olival et al., 2021; Olival et al., 2022; Cipriani et al., 2024).

Despite its recognized potential, significant knowledge gaps persist. While extensive information is available for *S. saman* and other species within the genus *Samanea*, comprehensive morphological and population genetic studies focused specifically on *S. tubulosa* in Amazonian populations remain scarce. Consequently, detailed species-level distribution maps and formal taxonomic treatments for the Brazilian Amazon are still limited. Moreover, its widespread distribution in Brazil may result in large genetic differentiation, which may complicate the development of standardized nursery protocols and silvicultural management for large-scale planting programs, thereby underscoring the need for comprehensive ecological, genetic, and silvicultural research.

Methodology

This scoping review was conducted in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) guidelines. To capture the multifaceted role of *Samanea tubulosa* in Amazonian silvopastoral systems, this study was guided by four broad exploratory research questions addressing: (1) taxonomy, distribution, and ecology; (2) soil improvement and biological nitrogen fixation; (3) fodder quality and livestock integration; and (4) ecosystem services and research gaps at the system level. This comprehensive framework facilitated the integration of ecological, agronomic, zootechnical, and socio-economic dimensions essential for the design and management of silvopastoral systems.

A comprehensive literature search was conducted in May 2026 using the Dimensions database. To maximize literature coverage, the exact search string "*Samanea tubulosa*" was queried within the full text of documents rather than being restricted to titles, abstracts, and keywords. No a priori restrictions were imposed on language, publication date, or document type. The search yielded 285 records.

To refine the study pool, a manual screening process was conducted. Studies were excluded if they met any of the following criteria: (1) irrelevant subject matter; (2) exclusive focus on urban forestry, ornamental horticulture, or landscape architecture without clear relevance to agricultural, agroforestry, or silvopastoral systems; (3) absence of primary empirical data or rigorous evidence synthesis (e.g., opinion articles, editorials, or news reports); (4) focus on non-target species without providing transferable insights relevant to *S. tubulosa*; or (5) unavailability of the full text through institutional subscriptions or open-access repositories. After duplicate removal and application of the eligibility criteria, 24 studies were ultimately included in the final



Figure 1. Graphical abstract

Data were extracted and synthesized using a qualitative narrative synthesis and thematic analysis approach, which is well suited to the substantial heterogeneity in study designs, methodologies, and ecological contexts represented in the reviewed literature. Given the exploratory nature of this review and the paucity of standardized outcome metrics across studies, neither meta-analysis nor quantitative effect-size synthesis was considered appropriate. Finally, evidence from closely related species, including *S. saman* and *Albizia* spp., was incorporated where relevant to strengthen the discussion and contextualize findings for *S. tubulosa*.

Silvicultural Characteristics and Ecological Interactions

Current evidence highlights the resilience of *Samanea tubulosa* when integrated into mixed-species pastures, its interactions with understory herbaceous vegetation, and the development of effective seedling production and nursery management practices (Andrade et al., 2012; Oliveira and Luz, 2012; Cruz et al., 2021; Olival et al., 2021). Regarding climatic adaptation and habitat suitability, *S. tubulosa* has been successfully incorporated into Amazonian and other tropical agroforestry systems, demonstrating broad adaptability to humid tropical environments (Carvalho, 2007). Furthermore, available evidence from published studies and agroforestry field trials consistently supports the role of *Samanea* species as effective structural components of

silvopastoral systems, contributing to system stability, ecological functionality, and productive integration (Andrade et al., 2012; Oliveira and Luz, 2012; Cipriani et al., 2024; Oliveira et al., 2024).

Regarding edaphic requirements and soil interactions, field trials conducted in the states of Acre, Mato Grosso and Rondônia revealed that the presence of *S. tubulosa* in pastures significantly enhances several chemical fertility attributes beneath its canopy (Oliveira and Luz, 2012; A. D. A. Olival et al., 2021; Cipriani et al., 2025). This effect is particularly marked by localized increases in calcium concentrations, sum of bases, and base saturation compared to open pasture monocultures, suggesting a critical nutrient-cycling and soil-melioration capacity. Seedling production can be considered non-limiting for *S. tubulosa*, since its dormancy can be easily overcome by mechanical methods and it presents a relatively fast initial growth (Giachini et al., 2010; Oliveira et al., 2012; Custodio et al., 2019; Cruz et al., 2021).

However, significant knowledge gaps and inconsistencies remain in the available literature. A key limitation concerns the scarcity of long-term growth data for *S. tubulosa* under field conditions representative of Amazonian production systems, particularly regarding mean annual increments in height and diameter at breast height (DBH) (Olival et al., 2021; Cipriani et al., 2024). This deficiency limits the development of robust predictive growth models needed for accurate silvopastoral system design and management. Consequently, long-term, site-specific field experiments are still required to better characterize the variability in growth performance, productivity, and competitive interactions exhibited by this species across different environmental conditions.

Soil Improvement and Nitrogen Dynamics

Field and comparative studies have documented enhanced soil fertility beneath tree canopies and improved soil biological indicators where *Samanea tubulosa* is integrated into production systems (Oliveira and Luz, 2012; Olival et al., 2021b; Cipriani et al., 2025). However, direct measurements of biological nitrogen fixation (BNF) by *S. tubulosa* remain limited or absent in the available literature (Martín-Alonso et al., 2021). Consequently, although evidence related to litter-mediated nutrient cycling, sub-canopy soil chemistry, and microbial community responses suggests a positive role for the species in pasture rehabilitation, substantial knowledge gaps persist regarding its contribution to whole-system nitrogen budgets and nutrient dynamics.

Regarding canopy-mediated changes in soil properties, field experiments conducted in the state of Acre demonstrated significant increases in soil calcium (Ca), sum of exchangeable bases (SB), and base saturation (V%) beneath *S. tubulosa* canopies compared with adjacent open pastures (Oliveira and Luz, 2012). This localized nutrient enrichment is likely reinforced by nutrient return through litterfall. Although species-specific data for *S. tubulosa* in Amazonian environments remain scarce, studies involving closely related *Samanea* and *Albizia* species indicate that litter

decomposition can release substantial amounts of nitrogen (N) and phosphorus (P), thereby contributing to nutrient cycling and soil fertility maintenance (Devendar et al., 2022; Saducos, 2024).

Beyond its effects on soil chemical fertility, *S. tubulosa* appears to contribute positively to soil biological functioning and microbial diversity. Recent studies conducted in integrated production systems reported significantly greater soil microbial alpha diversity and more favorable microbial bioindicators in systems incorporating *S. tubulosa* compared with *Eucalyptus*-dominated systems (Cipriani et al., 2025). These findings suggest that the inclusion of native *Samanea* trees may provide important biological benefits for soil quality and ecosystem functioning relative to systems based predominantly on exotic tree species.

As a leguminous genus within the Fabaceae, *Samanea* is capable of forming symbiotic associations with nitrogen-fixing rhizobia (Qadri et al., 2007). Nevertheless, the reviewed literature provides no direct measurements of biological nitrogen fixation (BNF) by *S. tubulosa* under Amazonian conditions, including estimates of the proportion of nitrogen derived from the atmosphere (Ndfa), acetylene reduction activity (ARA), or assessments based on the natural abundance of ^{15}N . This lack of quantitative BNF data constitutes a critical knowledge gap and limits a comprehensive evaluation of the species contribution to nitrogen cycling in silvopastoral systems.

Despite multiple lines of indirect evidence, including sub-canopy nutrient accumulation, litter decomposition patterns reported for related *Samanea* species, and enhanced soil microbial diversity, there remains insufficient empirical evidence to quantify biological nitrogen fixation rates in *S. tubulosa* under Amazonian conditions. Furthermore, the temporal dynamics of litter decomposition, nutrient release rates under Amazonian seasonal climatic conditions, and the net long-term effects on nitrogen availability in understory pastures remain poorly understood. Addressing these knowledge gaps is essential for elucidating the mechanisms through which *S. tubulosa* contributes to soil fertility enhancement and ecosystem functioning in silvopastoral systems.

Forage Production and Tree–Livestock Interactions

Field experiments conducted in Acre State, Brazil, together with forage quality studies, indicate positive effects of *Samanea tubulosa* on both forage biomass production and nutritional quality beneath its canopy (Mendes et al., 2023; Meira et al., 2026). In a controlled silvopastoral experiment, the integration of *S. tubulosa* into pasture systems increased dry matter (DM) accumulation rates and enhanced crude protein (CP) concentrations in associated forage grasses, particularly *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) *brizantha*.

Nutritional analyses indicate that *S. tubulosa* provides forage resources of moderate

to high nutritional value. Mendes et al. (2023) reported crude protein (CP) concentrations of 20.76% in leaves and 11.53% in fruits, while acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), and ether extract (EE) values ranged from 2.93% to 41.01%, depending on the plant component evaluated. Additional studies reported fruit CP concentrations between 14.3% and 15.99%, ADF between 16.07% and 25.17%, NDF between 25.8% and 38.9%, and EE between 0.3% and 10.1% (Olival et al., 2021a; Pérez-Márquez et al., 2025; Meira et al., 2026). These findings support the potential of *S. tubulosa* leaves and fruits as nutritionally valuable feed supplements for ruminant production systems.

These nutritional attributes are consistent with evidence from in vitro fermentation studies, which have demonstrated satisfactory ruminal degradability and limited anti-nutritional effects associated with condensed tannins, indicating that *Samanea* foliage and fruits can be utilized by ruminants without substantial impairment of digestive processes when consumed in moderate amounts (Ojeda et al., 2012; Morais et al., 2025). Beyond their nutritional contribution, *Samanea* species also play a valuable structural role in silvopastoral systems. Their broad canopies provide natural shade and shelter, improving the thermal environment experienced by grazing animals and potentially enhancing welfare and productive performance (Andrade et al., 2012; Oliveira and Luz, 2012; Cipriani et al., 2023a, 2023b).

However, the conversion of forage quality data into practical livestock management recommendations is constrained by the limited availability of animal performance studies. While existing evidence supports the nutritional value of *S. tubulosa* fruits, reports of foliage palatability remain inconsistent. As a result, the relative suitability of fruits and foliage as feed resources has yet to be clearly established. Additional controlled feeding experiments are therefore needed to determine optimal utilization strategies and quantify their effects on animal intake, performance, and welfare.

Consequently, a critical evidence gap persists between the documented agronomic benefits of *S. tubulosa* and their translation into measurable livestock production outcomes. Only two studies identified in this review evaluated direct animal responses, with reported benefits including increased average daily gain (ADG) in beef cattle (Meira et al., 2026) and reduced methane emissions from sheep receiving fruit supplementation (Pérez-Márquez et al., 2025). Evidence remains absent from poultry, swine, and aquaculture systems. As a result, further controlled studies are needed to determine the extent to which improvements in forage quality and pasture conditions translate into enhanced animal productivity, welfare, and environmental performance across different production systems.

Potential toxicological risks

Although *S. tubulosa* is widely recognized for its forage value, particularly the high acceptance of its fruits by cattle, potential toxicological effects should also be

considered. In addition to its nutritional attributes, pharmacological studies have reported analgesic and anti-inflammatory activity in mice (Alixandre et al., 2022). Conversely, experimental studies in rats have identified moderate toxicity, potentially associated with flavonoids and other secondary metabolites, resulting in alterations to reproductive parameters and offspring development (Araújo et al., 2015; Sales et al., 2015). Nevertheless, caution is warranted when extrapolating these findings to cattle in silvopastoral systems. Reports of potential abortifacient effects in cows from the Amazon–Cerrado ecotone are largely based on producer observations and field reports and have not yet been validated through controlled studies in ruminants (Costa et al., 2011).

Evidence regarding toxicity in *S. tubulosa* remains limited and suggests that poisoning events are associated with particular environmental and management conditions. Field observations indicate that the ingestion of rain-soaked or partially fermented fruits may increase the risk of intoxication, possibly due to enhanced palatability and subsequent overconsumption. In support of this hypothesis, a case report documented acute intoxication in a dairy cow following the ingestion of large quantities of pods and seeds, with severe pathological lesions reported in the liver, kidneys, and lungs (Costa et al., 2019). However, additional controlled studies are required to clarify the mechanisms, risk factors, and incidence of poisoning under field conditions.

Therefore, while the species remains a viable option for supplementation due to its high acceptability by animals, management practices in silvopastoral systems should involve restricting animal access to fruits during periods of intense rainfall or when pods accumulate and undergo decomposition, thereby minimizing the risk of exposure to phytotoxins such as alkaloids and phenolic compounds. Furthermore, current evidence highlights the need for further in vivo studies to better understand the toxic potential of this species, its dose-dependent effects, and the specific mechanisms of action associated with different plant organs in ruminants.

Implications for System Management and Future Research Priorities

While current literature highlights the ecological and socio-economic potential of *Samanea tubulosa*, it also reveals substantial knowledge gaps regarding long-term carbon dynamics, quantitative assessments of biological nitrogen fixation, livestock performance, and regional socio-economic barriers to adoption (Melloto and Laura, 2009; Kichel et al., 2014; Oliveira et al., 2024; Mavisoy et al., 2025; Pérez-Márquez et al., 2025). As a structural component of Amazonian silvopastoral systems, *S. tubulosa* provides a wide range of ecosystem services; however, it also presents operational challenges that require targeted silvicultural and economic studies (Kichel et al., 2014; Sarabia et al., 2023).

From an environmental perspective, tree-inclusive systems in Amazonian landscapes generally exhibit higher aboveground biomass and carbon stocks than

conventional pastures (Melloto and Laura, 2009; Bolfe, 2020; Mavisoy et al., 2025). Nevertheless, the long-term contribution of *S. tubulosa* to carbon sequestration remains insufficiently quantified.

Beyond carbon dynamics, the incorporation of this native legume enhances belowground biodiversity, as integrated systems containing *S. tubulosa* exhibit higher soil microbial alpha diversity than systems dominated by exotic species such as *Eucalyptus* spp. (Cipriani et al., 2025). At the landscape scale, native tree retention also buffers local microclimatic conditions and promotes soil functional restoration (Kichel et al., 2014; Bolfe, 2020; Cipriani et al., 2025). This microclimatic regulation provides thermal buffering and shade, thereby reducing livestock heat stress and improving animal welfare. However, the magnitude of these benefits is strongly influenced by tree density and spatial arrangement within the system (Souza et al., 2019; Magalhães et al., 2020; Schneider et al., 2021).

From a socio-economic perspective, financial modeling of integrated systems in Brazil indicates that agroforestry and silvopastoral configurations can generate higher internal rates of return (IRR) and improved livelihood outcomes than conventional pasture monocultures (Vinholis et al., 2015; Daniel et al., 2019; Schneider et al., 2021). Nonetheless, because few economic analyses have evaluated *S. tubulosa* separately, producer-level economic outcomes associated with this species remain uncertain. This uncertainty is further compounded by operational and management challenges, including substantial provenance-related variation in seed germination, intense competition from pasture grasses during early establishment, and the lack of standardized recommendations for planting density and stocking rates resulting from insufficient productivity data (Valentim et al., 2010; Dias-Filho, 2026).

Advancing the use of *S. tubulosa* in silvopastoral systems will require targeted research efforts focused on four key areas:

1. **Quantification of Biological Nitrogen Fixation:** Establishing robust estimates of biological nitrogen fixation using ^{15}N natural abundance, ^{15}N labeling techniques, and acetylene reduction assays (ARA) across diverse Amazonian soil conditions and seasonal gradients (Boddey et al., 2008).

2. **Long-Term Carbon Sequestration and Biomass Dynamics:** Establishing permanent monitoring plots to quantify annual DBH increment, tree volume growth, and biomass accumulation across plant tissues, enabling accurate assessments of long-term carbon storage by *S. tubulosa* (Mavisoy et al., 2025).

3. **Controlled Livestock Performance Trials:** Conducting rigorously controlled grazing and feeding trials to quantify dry matter intake (DMI), in vivo digestibility, average daily gain (ADG), milk yield, and enteric methane (CH_4) emissions under silvopastoral conditions (Jetana et al., 2018; Pérez-Márquez et al., 2025; Meira et al., 2026).

4. **Socio-Economic and Adoption Modeling:** Evaluating the economic viability of *S. tubulosa*-based silvopastoral systems through region-specific

assessments across Amazonian municipalities, while identifying socio-economic, technical, and institutional barriers to adoption among smallholders and commercial producers (Daniel et al., 2019; Vinholis et al., 2021; Chiarotto et al., 2022; Olival et al., 2022).

Ultimately, while localized positive effects on soil fertility and understory forage are well documented, the persistent lack of species-specific quantitative data prevents the development of evidence-based management guidelines for *S. tubulosa*. Systematic, multi-site, and cross-disciplinary research efforts remain essential to address these critical knowledge gaps and support the large-scale adoption of the species across Amazonian landscapes.

Conclusions

Samanea tubulosa emerges as a promising native tree species for Amazonian silvopastoral systems. The evidence reviewed indicates that its presence can improve understory forage productivity and quality, enhance soil chemical fertility, and promote soil biological functioning through increased microbial diversity. These attributes highlight its potential contribution to the ecological sustainability and multifunctionality of livestock production systems in the Amazon.

Despite its considerable ecological and productive potential, the broader adoption of *S. tubulosa* remains limited by significant knowledge gaps. Key uncertainties persist regarding biological nitrogen fixation, long-term biomass and carbon dynamics, and livestock productivity responses under controlled silvopastoral conditions. Addressing these limitations through coordinated, long-term, and interdisciplinary research efforts is essential for generating the evidence base needed to guide management recommendations and support the large-scale implementation of *S. tubulosa*-based silvopastoral systems across the Brazilian Amazon.

Acknowledgements

The authors acknowledge the use of AI-assisted tools during manuscript preparation. SciSpace was used to support literature searches and the preparation of an initial draft of the review. OpenAI ChatGPT was used to assist with language editing, including grammar, spelling, stylistic refinement, and readability enhancement, as well as to support the development of the graphical abstract. These tools were employed solely as aids to the writing and illustration process. All literature selection, data interpretation, critical evaluation, conclusion development, and final manuscript revisions were conducted by the authors, who assume full responsibility for the accuracy and integrity of the work.

References

Alixandre TF, Sousa RP, Gomes BS, Silva AH, Neto BPS, Sousa EA, Lima MPD, Lopes EM, Piauilino CA, Nascimento RT, Filho ACR, Almeida FRC, Oliveira FA, Chaves MH, Costa LM, Alves MMM, Costa APR. *Samanea tubulosa* Benth. (Fabaceae):

Antinociceptive effect on acute pain in mice: K⁺ channel and opioid activity ATP. *Anais Acad Bras Cienc.* 2022;94. <https://doi.org/10.1590/0001-376520220210175>

Andrade CMS de, Salman AKD, Oliveira TK de. Guia arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris. Brasília, DF: Embrapa; 2012. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/964703>

Araújo MRL de, Nunes K de F, Costa LV, Figueiredo BNS, Mariano-Souza DP, Ramos AT, Moro SE, Paiva JA de, Spinosa H de S, Maruo VM. Reproductive toxicity of *Samanea tubulosa* on rats. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science.* 2015;52:342-9. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.v52i4p342-349>

Barbosa A de P. Ethnopharmacological aspects of the genus *Samanea* Merrill (Fabaceae). *Journal of Medicinal Plant Research.* 2014;8:931-4. <https://doi.org/10.5897/JMPR2013.5496>

Boddey RM, Jantalia CP, Zotarelli L, Okito A, Alves BJR, Urquiaga S. Techniques for the Quantification of Plant-Associated Biological Nitrogen Fixation. In: *Biological Nitrogen Fixation: Towards Poverty Alleviation through Sustainable Agriculture*; 2008; Dordrecht. Springer Netherlands; 2008. p. 37-41. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8252-8_12

Bolfe ÉL. Applications of satellite images and field databases to analyze agroforestry systems in Brazil. *IJAERS.* 2020;7. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.74.10>

Carvalho PER. Bordão-de-Velho *Samanea tubulosa*: Taxonomia e Nomenclatura. Embrapa Circular Técnica. 2007:6. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/313870>

Chiarotto ABS, Freitas AS de, Venturella AC, Cipriani HN. A natureza como um tesouro: como atribuir valor na restauração ecológica. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal.* 2022;40. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1152812>

Cipriani HN, Salman AKD, Abreu SRD, Lorga CADF, Carvalho DCT, Cruz PGD. Caracterização do sombreamento de sistemas de integração pecuária-floresta em Porto Velho, Rondônia. *ST IPEF.* 2023a;26:305-9. <https://doi.org/10.18671/sertec.v26n48.060>

Cipriani HN, Salman AKD, Pellegrinetti TA, Souza EC, Cruz PG, Tsai SM. Native Tree Species in Silvopastoral System Outperforms *Eucalyptus* in Enhancing Soil Health. 2025. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5195852>

Cipriani HN, Salman AKD, Silva CHSD, Rodrigues ML, Santos ESD, Cruz PGD. Crescimento inicial de *Samanea tubulosa* e *Eucalyptus pellita* em sistemas de integração pecuária-floresta em Porto Velho, Rondônia. *ST IPEF.* 2023b;26:310-4. <https://doi.org/10.18671/sertec.v26n48.061>

Cipriani HN, Salman AKD, Silva JV da, Cruz PG da. Comparação do crescimento

de eucalipto e bordão-de-velho em sistemas IPF na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS [online], 13. – Produção regenerativa e adaptação às mudanças climáticas; 2024; Itacoatiara. Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais; 2024. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1167391>

Costa AMD, Souza DPM de, Cavalcante TV, Araújo VL de, Ramos AT, Maruo VM. Plantas tóxicas de interesse pecuário em região de ecotono Amazônia e cerrado. Parte II: Araguaína, Norte do Tocantins. Acta Veterinaria Brasilica. 2011;5:317-24. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1414514>

Costa WC, Freitas JV, Estevam DS, Silva TC, Manrique WG. Intoxicação aguda pela ingestão de *Samanea tubulosa* em bovino. Ars Veterinaria. 2019;35:106-8. <https://doi.org/10.15361/2175-0106.2019v35n3p106-108>

Cruz ED, Silva AR, Oliveira TK de. Germinação de sementes de espécies amazônicas: bordão-de-velho [*Samanea tubulosa* (Benth.) Barneby & J.W. Grimes]. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; 2021. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1131538>

Custodio DCS, Farias MHA, Silva EK da, Silva MB, Figueiredo LHA, Fogaça CA, Barbosa DAF. Tratamentos para superação de dormência em sementes de *Samanea tubulosa* (Benth.) & J.W. Grimes. In: Zuffo AM, editor. A Produção do Conhecimento nas Ciências Agrárias e Ambientais 5. Ponta Grossa (PR): Atena Editora; 2019. p. 168-75. . <https://doi.org/10.22533/at.ed.88319260419>

Daniel O, Carvalho RP de, Heid DM, Matos FA. Sustentabilidade econômica de sistemas silvipastoris com eucalipto focados na produção de madeira sólida. In: Bungenstab DJ, Almeida RG de, Laura VA, Balbino LC, Ferreira AD, editors. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa; 2019. p. 503-24.

<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202386/1/ILPF-inovacao-com-integracao-de-lavoura-pecuaria-e-floresta-2019.pdf>

Devendar E, Swaminathan, C, Kannan SV, Kannan P, Bharathi MJ. Evaluating Leaf Litter Decomposition Rate of Multipurpose TreeSpecies using Litter Bag Technique. Indian Journal of Ecology. 2022;49. <https://doi.org/10.55362/IJE/2022/3701>

Dias-Filho MB. Transformation of Brazilian Amazon cattle ranching: a historical and sustainable perspective. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; 2026. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1184166/1/TransformationBrazilianAmazon.pdf>

Giachini RM, Lobo FA, e Albuquerque MCF, Ortíz CER. Influence of scarification and temperature on seed germination of *Samanea tubulosa* (Benth.) Barneby & J.W. Grimes (seven shells). Acta Amazonica. 2010;40:75-80. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672010000100010>

Greene H, Kazanski CE, Kaufman J, Steinberg E, Johnson K, Cook-Patton SC, Fargione J. Silvopasture offers climate change mitigation and profit potential for farmers in the eastern United States. *Front Sustain Food Syst.* 2023;7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1158459>

Jetana T, Thongruay S, Srisakwattana K. Rain tree pod (*Samanea saman*), the miracle feed for ruminants. *Thai Journal of Veterinary Medicine.* 2018;48 (Suppl):139-41. https://www.researchgate.net/publication/327930700_Rain_tree_pod_Samanea_saman_the_miracle_feed_for_ruminants

Kichel AN, Costa JAA da, Almeida RG de, Paulino VT. Sistemas de Integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF)- Experiências no Brasil. *Boletim de Indústria Animal.* 2014;71:94-105. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1007118>

Magalhães CAS, Zolin CA, Lulu J, Lopes LB, Furtini IV, Vendrusculo LG, Zaiatz APSR, Pedreira BC, Pezzopane JRM. Improvement of thermal comfort indices in agroforestry systems in the southern Brazilian Amazon. *Journal of Thermal Biology.* 2020;91:102636. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102636>

Martín-Alonso GM, Bustamante-González C, Varela-Nualles M, Pérez-Díaz A, Viñals-Núñez R, Delgado-Álvarez A, Fundora-Sánchez LR. Cuantificación de la fijación biológica del nitrógeno en árboles de sombra de dos cafetales de Cuba. *Cultivos Tropicales.* 2021;42://cu-id.com/2050/v42n2e05

Mavisoy H, Vallejos ARR, Rincón EC, Narváez-Herrera JP, Rosas L, del Socorro Guerra Acosta A, Salcedo AAR, Alban DMA, Chingal C, Figueiro D, de Almeida AM. Carbon balance in dairy cattle silvopastoral production systems in Colombia's Andean-Amazon region. *Agroforest Syst.* 2025;99:136. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01233-5>

Meira VE, Olival AA, De Moraes JPG, Campana M, Del Valle TA. Dietary Bordão-De-Velho (*Samanea tubulosa*) Fruit Improves Grazing Beef Cattle Performance. *New Zealand J Agric Res.* 2026;69. <https://doi.org/10.1002/JAG2.70037>

Melloto AM, Laura VA. Sistemas silvipastoris para bovinos e ovinos. *Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte;* 2009. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/749071>

Mendes I de S, Macêdo PAS de, Rocha TC. Utilização do bordão de velho na dieta de animais de produção na região tocantina do maranhão - composição nutricional das frações comestíveis da *Samanea tubulosa* em diferentes épocas do ano. In: *Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMA SUL - VI SAPIENS – Anais...;* 2023; Imperatriz, MA. UEMA SUL; 2023. <https://www.even3.com.br/anais/vi-semana-academica-de-pesquisa-inovacao-e-extensao-vi-sapiens-382717/738366-utilizacao-do-bordao-de-velho-na-dieta-de->

animais-de-producao-na-regiao-tocantina-do-maranhao---composicao-nutric/

Morais JPG de, Abdalla AL, Olival ADA, Campana M, Facco FB, Del Valle TA. Amazonian Fruit (*Samanea tubulosa*) in Dairy Cattle Diets: In Vitro Fermentation, Gas Production, and Digestibility. Ruminants. 2025;5. <https://doi.org/10.3390/ruminants5040064>

Ojeda Á, Barroso J, Obispo NE, Gil JL, Cegarra R. Composición química, producción de gas in vitro y astringencia en el follaje de *Samanea saman* (Jacq.) Merrill. Pastos y Forrajes. 2012;35:205-2018

Olival A de A, Souza SEX de, Felito RA, Arantes VT. Potencial de espécies arbóreas nativas para a nutrição de bovinos. Revista Brasileira de Agroecologia. 2021a;16:53-9. <https://doi.org/10.33240/rba.v16i1.23195>

Olival A de A, Souza SEXF de, Moraes JPG de, Campana M. Effect of Amazonian tree species on soil and pasture quality in silvopastoral systems. Acta Amazonica. 2021b;51:281-90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1809-4392202004692>

Olival ADA, Oliveira RE de, Sais AC, Souza SEXF de. Conhecimento local de agricultores familiares sobre árvores nativas em pastagens do Portal da Amazônia, MT. Desenvolv Meio Ambiente. 2022;59. <https://doi.org/10.5380/dma.v59i0.76867>

Olival ADA, Souza SEXFD, Moraes JPGD, Campana M. Effect of Amazonian tree species on soil and pasture quality in silvopastoral systems. Acta Amaz. 2021;51:281-90. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202004692>

Oliveira CS de, Santos JCB dos, Silva LFV da, Freitas ADS de, Medeiros EV de, Alves MJG, Dubeux JCB, Lira Junior MA. A scientometrics analysis of silvopastoral systems: what we know and what we need to know? Agroforest Syst. 2024;99:9. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01120-5>

Oliveira DM da S, Tavares RLM, Loss A, Madari BE, Cerri CEP, Alves BJR, Pereira MG, Cherubin MR. Climate-smart agriculture and soil C sequestration in Brazilian Cerrado: a systematic review. Revista Brasileira de Ciência Do Solo. 2023;47. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220055>

Oliveira LM de, Bruno RLA, Alves EU, Sousa DMM, Andrade AP de. Dormancy break in seeds of *Samanea tubulosa* Benth - (Leguminosae-Mimosoideae). Rev Arvore. 2012;36:433-40. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000300005>

Oliveira TK de, Luz SA da. Influência do Bordão-de-velho (*Samanea tubulosa* (Benth) Barnedy; Grimes) na Pastagem e no solo em Sistema Silvopastoril no Acre. Rio Branco: Embrapa Acre; 2012. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/949957>

Pérez-Márquez S, Ovani V, Meira VE, de Azevedo Olival A, Louvandini H, de Moraes JPG, Campana M, Del Valle TA, Mauricio RM, Abdalla AL. Assessing the impact of *Samanea tubulosa* trees on methane emissions and its potential as a feed supplement for ruminants in silvopastoral systems. Agrofor Syst. 2025;99.

<https://doi.org/10.1007/s10457-025-01231-7>

Qadri R, Mahmood A, Athar M. Ultra-structural Studies on Root Nodules of *Samanea saman* (Jacq.) Merr. (Leguminosae). Polish Journal of Microbiology. 2007;56:199-204. <http://www.pjmonline.org/wp-content/uploads/2015/12/vol5632007199.pdf>

Saducos AG. Litterfall variation and soil nutrient dynamics in *Swietenia macrophylla*, *Samanea saman* and *Bambusa blumeana* woodstands: Implications for nutrient cycling and soil fertility. Plant Science Today. 2024;11. <https://doi.org/10.14719/pst.3231>

Sales P, Oliveira JMG, Moura ER, Sousa MRSC, Silva IR, Costa TN, Costa APR. Reproductive toxicity study in wistar rats treated with hydroalcoholic extract of the pods of bordão-de-velho (*Samanea tubulosa* benth). Rev Bras Plantas Med. 2015;17:599-603. https://doi.org/10.1590/1983-084X/13_092

Sarabia L, Solorio F, Galindo F, González P, Fiebrig I, Castro CAS, Torres F, Ku J. Tropical trees and shrubs for healthy agroecosystems, including animal health and welfare. Medicinal Agroecology. CRC Press; 2023. <https://doi.org/10.1201/9781003146902-10>

Schneider P, Rochell V, Plat K, Jaworski A. Circular Approaches in Small-Scale Food Production. CircEconSust. 2021;1:1231-55. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00129-7>

Souza EC de, Salman AKD, Cruz PG da, Veit HM, Carvalho GA de, Silva FRF da, Schmitt E. Thermal comfort and grazing behavior of Girolando heifers in integrated crop-livestock (ICL) and crop-livestock-forest (ICLF) systems. Acta Scientiarum Animal Sciences. 2019;41:e46483-e46483. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.46483>

Valentim JF, Andrade CMS de, Barioni LG. Reconciling Cattle Ranching and Environmental Conservation in the Legal Brazilian Amazon. Rio Branco, AC: Embrapa Acre; 2010. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1109631>

Vinholis MDMB, Souza Filho HMD, Carrer MJ, Barioni Junior W, Bernardo R. Perfil dos adotantes de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta do centro-oeste do estado de São Paulo. Informações Econômicas. 2021;51:1-16. <https://iea.agricultura.sp.gov.br/ftpiea/ie/2020/IE-10-2020.pdf>

Vinholis MMB, Esteves SN, Bernardi AC de C, Oliveira PPA, Pedroso AF, Alves TC, Pezzopane JR. Economic analysis of crop-livestock forest system: the case of Embrapa Cattle Southeast. Proceedings... Brasília: 2015. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1022187/1/PROCIMM BV2015.00025.pdf>

DESAFIOS AGRONÔMICOS NA DOMESTICAÇÃO DA CASTANHEIRA-DA- AMAZÔNIA (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.)

AGRONOMIC CHALLENGES IN THE DOMESTICATION OF THE BRAZIL NUT TREE (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.)

Vanderley José Pereira, Bolsista de Pós-Doutorado FAPERÓ – Embrapa Rondônia. BR 364, km 5,5, sentido Cuiabá, 76815-800, Porto Velho, RO, Brasil. E-mail: vamceres.vanderley@gmail.com; Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Pesquisadora, Embrapa Rondônia. E-mail: lucia.wadt@embrapa.br; Luana Gonçalves Verteiro, Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E-mail: luanagoncalvesverteiro@gmail.com; Elmany Stefany Rodrigues Frisso, Bolsista - Embrapa Rondônia. E-mail: stefany.rodriguesfrisso@gmail.com

Destaque: A domesticação da castanheira-da-amazônia depende da superação conjunta do longo período juvenil, da autoincompatibilidade genética e da baixa eficiência reprodutiva, por meio de propagação clonal, arranjos policlonais e sistemas de cultivo agronomicamente resilientes.

Highlight: The domestication of the Brazil nut tree depends on jointly overcoming its long juvenile period, genetic self-incompatibility, and low reproductive efficiency through clonal propagation, polyclonal planting arrangements, and agronomically resilient production systems.

Resumo

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) possui elevada importância ecológica, econômica e sociocultural, mas sua transição do extrativismo para sistemas de cultivo planejado permanece limitada por gargalos biológicos e tecnológicos. Esta revisão aponta os principais desafios agronômicos da domesticação da espécie, com ênfase na biologia reprodutiva. O principal entrave não se resume à dependência de abelhas de médio e grande porte, mas à baixa eficiência reprodutiva decorrente da

autoincompatibilidade, da necessidade de cruzamentos entre genótipos compatíveis, da reduzida conversão de flores em frutos e do elevado abortamento ao longo do desenvolvimento. Assim, a presença de polinizadores é condição necessária, porém insuficiente, para assegurar produtividade. Também são discutidos o longo período juvenil, os limites da propagação vegetativa e da cultura de tecidos, a produção e qualidade de mudas, a adaptação ecofisiológica ao cultivo, o manejo nutricional, a arquitetura das plantas e os riscos fitossanitários associados ao adensamento. A síntese indica que a domesticação exige integração entre melhoramento genético, desenho policlonal dos pomares, conservação de diversidade, manejo dos polinizadores, protocolos de propagação e sistemas de cultivo resilientes. O avanço da cultura dependerá da validação de recomendações regionais e de estratégias que conciliem produtividade, estabilidade de safra e sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: autoincompatibilidade; eficiência reprodutiva; cultivo; propagação vegetativa; sistemas agroflorestais; melhoramento genético.

Abstract

The Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) is of high ecological, economic, and sociocultural importance, yet its transition from extractivism to planned cultivation remains constrained by biological and technological bottlenecks. This review reorganizes the major agronomic challenges to domestication, emphasizing reproductive biology. The main limitation is not merely dependence on medium- and large-bodied bees, but low reproductive efficiency resulting from self-incompatibility, the need for crosses among genetically compatible genotypes, low flower-to-fruit conversion, and high abortion during fruit development. Pollinator presence is therefore necessary but insufficient to ensure yield. The review also addresses the long juvenile period, limitations of vegetative propagation and tissue culture, seedling production and quality, ecophysiological adaptation, nutrient management, canopy architecture, and phytosanitary risks associated with denser plantings. The synthesis indicates that domestication requires integration among breeding, polyclonal orchard design, conservation of genetic diversity, pollinator management, propagation protocols, and resilient production systems. Progress will depend on regionally validated recommendations and strategies that combine productivity, yield stability, and environmental sustainability.

Keywords: self-incompatibility; reproductive efficiency; cultivation; vegetative propagation; agroforestry systems; genetic improvement.

Introdução

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.; Lecythidaceae) é uma das

espécies mais emblemáticas da Amazônia e constitui fonte de renda para povos indígenas, comunidades tradicionais e famílias extrativistas. Além da relevância econômica, a espécie contribui para a manutenção da estrutura florestal, o estoque de carbono e a conservação da biodiversidade (Wadt et al., 2023). Entretanto, a produção extrativista está sujeita à oscilação interanual de safra, à fragmentação dos habitats, a eventos climáticos extremos e a gargalos de qualidade e segurança do alimento. Nesse contexto, o cultivo planejado passa a ser visto como uma estratégia complementar ao extrativismo, e não como seu substituto.

A domesticação da espécie, contudo, encontra-se em estágio incipiente e envolve desafios interdependentes. Entre eles destacam-se: o longo período juvenil; a baixa eficiência reprodutiva; a dificuldade de multiplicação clonal de genótipos superiores; a ausência de cultivares registradas; a escassez de recomendações consolidadas de adubação e manejo; e a mudança da dinâmica de pragas e doenças em plantios adensados. Esses fatores mostram que o simples estabelecimento de árvores em campo não é suficiente para formar pomares produtivos e previsíveis (Homma et al., 2014; Costa et al., 2022).

Embora as abelhas sejam essenciais para o transporte de pólen, evidências de polinizações controladas demonstram que o gargalo produtivo é mais amplo. A castanheira é autoincompatível e apresenta baixa conversão de flores em frutos mesmo quando há polinização cruzada. A compatibilidade genética entre os parentais, a quantidade e qualidade do pólen depositado, a fecundação dos óvulos e a manutenção dos frutos durante 12 a 14 meses são etapas sucessivas que limitam a produção. Portanto, a incompatibilidade genética e a baixa eficiência reprodutiva são questões centrais para o desenho de plantios e programas de melhoramento (Cavalcante et al., 2023).

Biologia reprodutiva: incompatibilidade genética e baixa eficiência

A floração da castanheira é anual e, em geral, coincide com a transição para o período chuvoso da Amazônia, variando regionalmente entre setembro e março. A formação dos frutos inicia-se no mesmo período, mas a maturação é longa, estendendo-se por aproximadamente 12 a 14 meses. Assim, flores, frutos em desenvolvimento e frutos maduros podem ocorrer simultaneamente na mesma planta. Essa sobreposição amplia a demanda por recursos e torna a produção sensível às condições ambientais de dois ciclos consecutivos (Maués, 2002; Cavalcante et al., 2023).

A antese ocorre predominantemente nas primeiras horas da manhã. O estigma apresenta elevada receptividade durante boa parte do período diurno, enquanto a viabilidade do pólen se concentra principalmente pela manhã. Essa sincronia favorece a polinização, mas não elimina limitações posteriores, pois a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico não garantem a fecundação nem o vingamento do fruto (Maués, 2002; Cavalcante et al., 2023).

A morfologia floral reduz a autopolinização, pois o estigma se encontra acima das anteras. Contudo, a principal barreira é genética. Ensaios de polinização controlada mostram ausência ou taxas muito baixas de frutificação após autopolinização e geitonogamia, enquanto a polinização cruzada entre plantas distintas apresenta maior vingamento. Mesmo assim, os percentuais permanecem baixos e variáveis entre anos, locais e combinações parentais (Cavalcante et al., 2023).

Os grãos de pólen podem germinar e os tubos polínicos crescerem pelo estilete, inclusive nas plantas incompatíveis. Portanto, a baixa frequência de penetração nos óvulos sugere que a incompatibilidade pode se manifestar no ovário ou em etapas pós-zigóticas. Esse padrão é agronomicamente relevante porque impede inferir compatibilidade apenas pela germinação do pólen ou pela presença de tubos polínicos. Para o melhoramento e o planejamento de pomares de sementes, é necessário identificar combinações compatíveis por meio de cruzamentos controlados e acompanhamento até a formação de frutos maduros (Cavalcante et al., 2023).

A baixa produtividade decorre de uma sequência de filtros. Primeiro, a flor precisa receber pólen viável de outro genótipo. Em seguida, os tubos polínicos devem competir, alcançar o ovário e fecundar número suficiente de óvulos. Depois, os frutos recém-formados precisam ser mantidos durante um ciclo de desenvolvimento superior a um ano. Em áreas de floresta e cultivo, apenas pequena fração das flores se transforma em frutos, e parte expressiva dos frutos jovens é abortada antes da maturidade (Cavalcante et al., 2023).

Consequentemente, a eficiência reprodutiva não deve ser avaliada apenas pelo número de visitas de abelhas ou pelo vingamento inicial. Indicadores mais completos incluem: deposição de pólen no estigma; germinação e crescimento de tubos polínicos; fecundação dos óvulos; vingamento aos 30, 60 e 120 dias; sobrevivência dos frutos até a maturação; número de sementes por fruto; e qualidade das sementes. Essa abordagem permite separar limitações de polinização, incompatibilidade genética, nutrição e estresses ambientais (Cavalcante et al., 2023).

Polinizadores: condição necessária, mas não suficiente

As flores possuem um capuz formado por estaminódios concrecidos, que restringe o acesso aos recursos florais. Abelhas de médio e grande porte, como espécies de *Bombus*, *Centris*, *Epicharis*, *Eulaema* e *Xylocopa*, conseguem abrir a flor e transportar pólen entre árvores. A diversidade e a abundância desses visitantes variam com a paisagem, a disponibilidade de recursos e os locais de nidificação (Maués, 2002; Cavalcante et al., 2023).

A conservação de polinizadores continua essencial, sobretudo porque a espécie depende de polinização cruzada. Entretanto, não se deve atribuir automaticamente a baixa frutificação à ausência de “polinizadores específicos”. Diferentes espécies

podem atuar como polinizadores efetivos ou ocasionais, e a presença de visitas não informa, por si só, a origem e a compatibilidade do pólen. Em plantios clonais, a movimentação de abelhas entre flores do mesmo clone pode resultar em geitonogamia ou cruzamentos geneticamente equivalentes, sem ganho reprodutivo (Cavalcante et al., 2023).

Desenho de pomares e melhoramento genético

O desenho dos plantios deve maximizar o encontro entre genótipos compatíveis. Isso implica evitar grandes blocos monoclonais, distribuir vários clones ao longo da área e intercalar materiais de diferentes origens. Arranjos policlonais em linhas alternadas ou mosaicos podem reduzir a distância entre potenciais doadores e receptores de pólen. Contudo, a diversidade nominal de clones não garante compatibilidade: a definição do arranjo deve ser apoiada por testes de cruzamento e, futuramente, por marcadores associados ao sistema de incompatibilidade (Cavalcante et al., 2023).

Programas de melhoramento devem selecionar não apenas árvores produtivas, mas também genótipos com floração sincronizada, ampla compatibilidade cruzada, boa retenção de frutos, estabilidade produtiva e qualidade de amêndoas. A seleção baseada em produção individual, sem controle do parentesco e da compatibilidade, pode gerar pomares geneticamente estreitos e pouco eficientes (Cavalcante et al., 2023; Costa et al., 2022).

3. Período juvenil e antecipação da produção

O longo período juvenil é um dos principais entraves econômicos. Árvores originadas de sementes podem levar mais de uma década para iniciar produção em cultivo, e o intervalo é ainda maior em condições florestais. Esse tempo prolonga o retorno do investimento e torna a seleção genética lenta, pois cada ciclo de avaliação demanda muitos anos (Homma et al., 2014).

A enxertia com propágulos de plantas adultas permite reduzir o tempo até a frutificação, com registros de produção inicial em aproximadamente cinco a oito anos. O benefício, entretanto, depende de elevada qualidade das mudas e da compatibilidade entre enxerto e porta-enxerto. Além disso, a antecipação da floração não resolve isoladamente a baixa eficiência reprodutiva; pomares precoces também precisam de arranjos genéticos compatíveis, manejo nutricional e condições adequadas para retenção de frutos (Homma et al., 2014; Ribeiro et al., 2008).

Propagação, produção de mudas e melhoramento genético

As sementes apresentam germinação lenta e desuniforme, exigindo remoção parcial

ou total do tegumento e condições controladas de umidade e temperatura. A sensibilidade à dessecação e a perda de viabilidade dificultam o armazenamento prolongado. Em viveiro, o rápido crescimento da raiz pivotante demanda recipientes com volume, profundidade e tempo de permanência adequados. A restrição física pode causar enovelamento, desvio da raiz principal e deformações persistentes, reduzindo a qualidade funcional da muda no campo (Müller, 1982; Silva et al., 2009; Rego et al., 2019; Brasil, 2024).

Assim, o padrão de muda deve considerar não apenas altura e diâmetro do colo, mas integridade da raiz pivotante, distribuição das raízes laterais, relação parte aérea/raiz, estado nutricional e ausência de pragas e doenças (Rego et al., 2019).

A enxertia por garfagem em fenda cheia e a borbúlia por placa são técnicas historicamente empregadas. O pegamento varia com a época, o estado fisiológico do material, a posição do ramo na planta-matriz, o preparo prévio das gemas, a habilidade do enxertador e as condições de viveiro. A oxidação fenólica, o desalinhamento cambial e incompatibilidades tardias podem comprometer a união vascular (Pinheiro, 1967; Müller, 1982; Ribeiro et al., 2005).

O uso de propágulos de árvores adultas acrescenta o desafio do envelhecimento ontogênico. Podas de rejuvenescimento, indução de brotações basais e subenxertias sucessivas são estratégias promissoras, mas ainda carecem de protocolos padronizados. Também é necessário avaliar a interação entre clone-copa e porta-enxerto, incluindo vigor, arquitetura, precocidade, tolerância a estresses e longevidade da união (Ribeiro et al., 2005).

O enraizamento de estacas é mais viável em materiais juvenis ou rejuvenescidos. Reguladores de crescimento, como o ácido indol-3-butírico, e microrganismos promotores de crescimento podem estimular a formação de raízes. O principal gargalo permanece no enraizamento de tecidos adultos provenientes de árvores superiores, frequentemente afetados por baixa competência rizogênica e necrose na base das estacas (Ribeiro et al., 2023a).

A cultura de tecidos avançou no estabelecimento de segmentos nodais, indução de calos e formação de embriões somáticos. Entretanto, a contaminação por microrganismos endofíticos e a recalcitrância na maturação e conversão dos embriões limitam a produção de plantas completas. A micropropagação ainda é uma frente experimental, importante para conservação e multiplicação de materiais, mas não disponível como tecnologia comercial de rotina (Santos et al., 2013).

A clonagem de poucos materiais superiores facilita a padronização, mas aumenta a vulnerabilidade a pragas, doenças e eventos climáticos. Para a castanheira, a redução da diversidade traz ainda um risco reprodutivo: clones incompatíveis ou aparentados podem apresentar baixo cruzamento efetivo. Portanto, a base genética dos pomares deve ser ampla, com materiais de diferentes procedências e compatibilidade comprovada (Costa et al., 2022; Cavalcante et al., 2023).

Ecofisiologia, nutrição e sistemas de cultivo

Plantas jovens respondem à intensidade luminosa e à disponibilidade hídrica. A exposição abrupta ao sol pleno pode aumentar a temperatura foliar, a demanda evaporativa e o fechamento estomático, reduzindo a assimilação de carbono. O sombreamento parcial e temporário pode favorecer o estabelecimento inicial, desde que seja manejado para evitar competição excessiva e permitir que a castanheira alcance gradualmente condições de maior luminosidade (Morais et al., 2007; Souza et al., 2017; Costa et al., 2022).

Os solos amazônicos frequentemente apresentam acidez elevada, baixa disponibilidade de fósforo e desequilíbrios de bases e micronutrientes. A calagem e a adubação devem ser definidas com base em análise de solo, idade das plantas, sistema de cultivo e metas de crescimento. Fósforo, boro e zinco merecem atenção, mas doses excessivas podem causar desequilíbrios. Ainda faltam curvas de resposta, níveis críticos foliares e recomendações regionais consolidadas para diferentes fases da cultura (Ferreira et al., 2016; Costa et al., 2022).

Monocultivos facilitam mecanização, adubação e padronização de operações, mas podem aumentar a exposição a estresses microclimáticos, reduzir a diversidade de recursos para a fauna e favorecer a propagação de pragas e doenças. Além disso, o espaçamento de plantio da castanheira é amplo e deixa uma área que pode ser aproveitada por outras culturas.

Sistemas agroflorestais (SAFs) podem proteger plantas jovens, diversificar a renda durante o período juvenil, promover ciclagem de nutrientes e manter maior heterogeneidade ambiental (Souza et al., 2017; Costa et al., 2022). Os SAFs não devem, contudo, ser tratados como solução universal. O desempenho depende da combinação de espécies, do espaçamento, da competição por água e nutrientes e do manejo do sombreamento. O princípio central é ajustar o sistema às fases ontogenéticas da castanheira e preservar condições para fluxo de pólen entre genótipos compatíveis (Costa et al., 2022).

A forte dominância apical e o grande porte dificultam tratamentos culturais e colheita. Podas de formação podem corrigir bifurcações e favorecer uma arquitetura mais segura; podas sanitárias removem ramos doentes e reduzem fontes de inóculo. Como os efeitos de podas intensas sobre floração, frutificação e cicatrização ainda são pouco conhecidos, as intervenções devem ser graduais, registradas e avaliadas ao longo do tempo (Costa et al., 2022).

Fitossanidade

A distribuição natural das árvores na floresta nativa e a biodiversidade existente evitam a ocorrência de pragas e doenças. No entanto, em plantios padronizados, a proximidade entre copas e raízes modifica o microclima e facilita a disseminação de

insetos e patógenos. Estudos de compilação indicam quase duas centenas de espécies interagindo com a cultura, destacando-se a ocorrência de pragas como os besouros enroladores-de-folhas, brocas, lagartas desfolhadoras, formigas cortadeiras, manchas foliares, tombamento de mudas, cancos, podridões e nematoides (Albuquerque, 1999; Santos-Silva et al., 2017; Martins e Silva et al., 2021; Adaime et al., 2023; Martins e Silva et al., 2023).

Além dos danos diretos na fase vegetativa em campo, a sustentabilidade sanitária da cultura é fortemente impactada por pragas pós-colheita que comprometem a integridade das amêndoas durante o armazenamento. Dentre essas, destacam-se a traça-das-farinhas (*Plodia interpunctella*) e o besouro-da-farinha (*Tribolium castaneum*), cujas larvas e adultos escavam galerias e produzem teias com excrementos nas sementes, provocando perdas quantitativas de matéria seca e depreciação qualitativa do produto final (Adaime et al., 2023). O risco é agravado em lotes com trincas na casca resultantes do beneficiamento ou mantidos sob condições inadequadas de umidade e ventilação, ambiente que também favorece a ocorrência ocasional da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) em armazéns (Santos-Silva et al., 2017; Adaime et al., 2023). Paralelamente às injúrias mecânicas causadas por insetos-praga, a proliferação de fungos filamentosos representa um dos principais entraves fitossanitários e de segurança alimentar da cultura, especialmente nas fases de pré e pós-colheita. Lesões foliares e podridões causadas por gêneros como *Phytophthora*, *Colletotrichum* e *Lasiodyplodia* em campo fragilizam os tecidos vegetais, enquanto fungos oportunistas toxigênicos, predominantemente das espécies *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*, colonizam o ouriço e as amêndoas sob condições elevadas de umidade e temperatura (Freitas-Silva, Venâncio, 2011; Baquião et al., 2012; Santos-Silva et al., 2017; Ribeiro et al., 2023b). Essa infecção fúngica pode levar à biossíntese de aflatoxinas (micotoxinas altamente hepatotóxicas e carcinogênicas), cujos limites máximos permitidos são rigorosamente regulamentados no comércio internacional. Assim, a prevenção da contaminação por micotoxinas exige o recolhimento rápido dos frutos do chão da floresta ou do cultivo, a secagem adequada e a manutenção da integridade física das cascas, impedindo a porta de entrada para esses patógenos (SIMÕES, 2004; Santos-Silva et al., 2017; Adaime et al., 2023; Ribeiro et al., 2023b).

O manejo deve ser preventivo e integrado, fundamentando-se no uso de mudas saudáveis, diversidade genética, espaçamento adequado, podas sanitárias, manejo do solo e eliminação de focos de infecção. A consolidação do Manejo Integrado de Pragas (MIP) em plantios homogêneos requer o monitoramento constante, como o uso de armadilhas etanólicas de interceptação de voo para acompanhamento sistemático de coleobrocas, e a conservação de inimigos naturais, a exemplo dos parasitoides nativos (dípteros *Tachinidae* e micro-himenópteros) que atuam no controle biológico de surtos de desfolhadores (Santos-Silva et al., 2017; Adaime et al., 2023; Martins e Silva et al., 2021; Martins e Silva et al., 2023). A dependência do controle químico é inadequada e inviável, tanto pela escassez de produtos registrados para a cultura quanto pelos riscos aos polinizadores nativos e à segurança do alimento. Por fim, os programas de melhoramento genético devem incorporar a resistência ou tolerância a estresses

bióticos como critério essencial de seleção (Santos-Silva et al., 2017; Simões, 2004; Adaime et al., 2023; Ribeiro et al., 2023b).

Prioridades de Pesquisa e Inovação

- Caracterizar a compatibilidade genética entre clones, com acompanhamento desde a polinização até a maturação dos frutos.
- Quantificar os componentes da eficiência reprodutiva e distinguir limitações por falta de pólen, incompatibilidade, fecundação, nutrição e abortamento.
- Desenvolver arranjos policlonais validados para diferentes escalas de plantio e paisagens.
- Associar dados fenológicos, genéticos e climáticos à previsão de produção e à estabilidade de safra.
- Padronizar protocolos de enxertia, rejuvenescimento, miniestaquia e cultura de tecidos.
- Definir padrões funcionais de qualidade de mudas, especialmente para o sistema radicular.
- Estabelecer recomendações regionais de calagem, adubação, irrigação, sombreamento e poda.
- Implantar redes de monitoramento de pragas e doenças e avançar no registro de estratégias de controle compatíveis com a conservação de polinizadores.
- Ampliar bancos de germoplasma e programas de melhoramento com base genética ampla.

Considerações Finais

A domesticação da castanheira-da-amazônia exige abandonar a ideia de que a produtividade será resolvida apenas com maior densidade de árvores, antecipação da floração ou presença de abelhas. O principal desafio é integrar as etapas do processo produtivo, desde a seleção e multiplicação dos materiais até a compatibilidade genética, a fecundação, a retenção de frutos e a estabilidade de produção (Cavalcante et al., 2023; Costa et al., 2022).

A polinização por abelhas de médio e grande porte é indispensável, mas sua eficiência depende do fluxo de pólen entre genótipos compatíveis. Por isso, pomares policlonais, diversidade genética e conhecimento das combinações parentais devem ocupar posição central no melhoramento e no planejamento dos plantios.

Paralelamente, a enxertia, a qualidade das mudas, o manejo nutricional, os sistemas de cultivo e a fitossanidade precisam ser validados em protocolos regionais e integrados (Cavalcante et al., 2023).

O caminho mais promissor não é reproduzir modelos simplificados de monocultura, mas construir sistemas produtivos que combinem previsibilidade agrônômica, resiliência genética, conservação ambiental e complementaridade com o extrativismo e os modos de vida amazônicos (Homma et al., 2014; Costa et al., 2022).

Referências

ADAIME, R. et al. Insetos-praga de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) na Amazônia brasileira. In: WADT, L. H. O.; MAROCCOLO, J. F.; GUEDES, M. C.; SILVA, K. E. (ed.). **Castanha-da-amazônia: estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor: ecologia e manejo de castanhas nativas**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. v. 3, p. 239-248.

ALBUQUERQUE, F. C. Doenças da cultura da castanheira-do-brasil. In: DUARTE, M. de L. R. (Ed.). **Doenças de plantas no trópico úmido brasileiro. I. Plantas industriais**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. p. 25-31.

BAQUIÃO, A. C. et al. Mycoflora and mycotoxins in field samples of Brazil nuts. *Food Control*, v. 28, n. 2, p. 224-229, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA, 2024.

CAVALCANTE, M. C. et al. Biologia floral e polinização de *Bertholletia excelsa* na Amazônia brasileira. In: WADT, L. H. O.; MAROCCOLO, J. F.; GUEDES, M. C.; SILVA, K. E. (ed.). **Castanha-da-amazônia: estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor: ecologia e manejo de castanhas nativas**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. v. 3, p. 145-173.

COSTA, K. C. P. et al. Advances in Brazil Nut Tree Ecophysiology: Linking Abiotic Factors to Tree Growth and Fruit Production. *Current Forestry Reports*, v. 8, p. 90-110, 2022. .

FERREIRA, M. J. et al. Nutrient deficiency in seedlings of *Bertholletia excelsa*: growth, biochemical and physiological responses. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, p. 354-362, 2016.

FREITAS-SILVA, O; VENÂNCIO, A. Brazil nuts: Benefits and risks associated with contamination by fungi and mycotoxins. *Food Research International*, v. 44, n. 5, p. 1434-1440, 2011.

HOMMA, A. K. O. et al. Castanha-do-pará: os desafios do extrativismo para plantios agrícolas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, v. 9, p. 293-306, 2014.

MARTINS E SILVA, M. H. et al. Cerambycidae em plantio homogêneo de *Bertholletia excelsa* no norte de Mato Grosso. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 43, e202002146, p. 1-9, 2023.

MARTINS e SILVA, M. H. et al. Coleoborers (Curculionidae: Scolytinae) in native and homogeneous systems of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in the Southern Amazon, Brazil. PLoS ONE, v. 16, n. 1, e0234287, p. 1-15, 2021.

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

MORAIS, R. R. et al. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll a fluorescence in Amazonian tropical tree species. Revista Árvore, v. 31, p. 959-966, 2007.

MÜLLER, C. H. Quebra da dormência da semente e enxertia em castanha-do-brasil. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1982. 40 p.

PINHEIRO, E. Propagação vegetativa da castanheira (*Bertholletia excelsa* H.B.K.): observações preliminares. Belém, PA: IPEAN, 1967.

REGO, G. M. et al. Produção de mudas de *Bertholletia excelsa* em resposta à origem da semente e posição no interior do fruto. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 14, p. 1-9, 2019.

RIBEIRO, G. D. et al. Enxertia em fruteiras. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2005. (Documentos / Embrapa Rondônia; 92). 8p.

RIBEIRO, J. C. D. et al. Vegetative propagation by mini-cuttings of Brazil nut *Bertholletia excelsa* Bonpl. with the aid of rhizobacteria mixes. Research, Society and Development, v. 12, e6612641947, 2023a.

RIBEIRO, M. S. S. et al. Fungos e micotoxinas: estratégias de controle. In: WADT, L. H. de O.; MAROCCOLO, J. F.; GUEDES, M. C.; SILVA, K. E. da (Ed.). Castanha-da-amazônia: estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor: pós-coleta e tecnologia de alimentos. Brasília, DF: Embrapa, 2023b. v. 2, cap. 1, p. 17-35.

SANTOS, M. R. A. et al. Indução de calos em sementes imaturas de *Bertholletia excelsa*. Journal of Biotechnology and Biodiversity, v. 4, p. 283-289, 2013.

SANTOS-SILVA, L. et al. The Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (Lecythidaceae)): Importance and biological interactions. Scientific Electronic Archives, v. 10, n. 6, p. 71-84, 2017.

SILVA, A. N. et al. Germinação de sementes de castanha-do-pará armazenadas em areia úmida. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, p. 1363-1368, 2009.

SIMÕES, A. V. Impactos de tecnologias alternativas e do manejo da castanha-do-

Brasil (*Bertholletia excelsa*, Humb. & Bonpl., 1808) no controle da contaminação por aflatoxinas em sua cadeia produtiva. 2004. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências Agrárias, Manaus, 2004.

SOUZA, C. S. C. R. et al. Biomassa, crescimento e respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. submetidas a diferentes níveis de irradiância. *Ciência Florestal*, v. 27, p. 557-569, 2017.

WADT, L. H. O.; MAROCCOLO, J. F.; GUEDES, M. C.; SILVA, K. E. (ed.). Castanha-da-amazônia: estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor: aspectos sociais, econômicos e organizacionais. Brasília, DF: Embrapa, 2023. v. 1



IMPACTO DE DIFERENTES USOS DA TERRA NO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM CAMPO NOVO DE RONDÔNIA, RO

IMPACT OF DIFFERENT LAND USES ON SOIL ORGANIC MATTER CONTENT IN CAMPO NOVO DE RONDÔNIA, BRAZIL

Daniel Carlos Machado, Departamento de Ciência do Solo, FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil; Reginaldo Ribeiro dos Santos, Departamento de Produção Animal, UNIVERSIDADE BRASIL, Descalvado, SP, Brasil; Fabrício da Silva Vasconcelos; Wanderley José de Melo, Departamento de Produção Animal, UNIVERSIDADE BRASIL, Descalvado, SP, Brasil; Gabriel Maurício Peruca de Melo, Departamento de Produção Animal, UNIVERSIDADE BRASIL, Descalvado, SP, Brasil; Liandra Maria Abaker Bertipaglia, Departamento de Produção Animal, UNIVERSIDADE BRASIL, Descalvado, SP, Brasil

Destaque: A pastagem recente manteve maior teor de matéria orgânica, enquanto o cultivo de café apresentou menor valor, indicando sensibilidade da matéria orgânica ao uso e ao manejo do solo amazônico.

Highlight: Recent pasture maintained the highest soil organic matter content, whereas coffee cultivation showed the lowest value, indicating the sensitivity of soil organic matter to land use and management in Amazonian soils.

Resumo

A matéria orgânica do solo (MOS) é um indicador relevante da qualidade do solo e da resposta dos agroecossistemas às práticas de uso e manejo. Este estudo avaliou o efeito de diferentes usos da terra sobre o teor de MOS em área de assentamento rural na Amazônia rondoniense. O experimento foi conduzido no assentamento Altamira, em Campo Novo de Rondônia, RO, em delineamento inteiramente casualizado, com cinco usos da terra: mata nativa (MTN), pastagem degradada com mais de 20 anos (PTD), milho cultivado por dois anos em sistema convencional (MIL), café

implantado em área anteriormente ocupada por pastagem (CAF) e pastagem recente, estabelecida três anos após o desmatamento, sem uso de fogo (PTR). Amostras compostas de solo foram obtidas na camada de 0,0-0,2 m, a partir de amostras simples coletadas em zigue-zague, e processadas como terra fina seca ao ar. O teor de MOS foi determinado conforme Camargo et al. (2009). Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Houve diferença significativa entre os usos da terra. A pastagem recente apresentou o maior teor de MOS ($26,70 \pm 2,95 \text{ g dm}^{-3}$), enquanto o cultivo de café apresentou o menor valor ($17,51 \pm 3,08 \text{ g dm}^{-3}$). A mata nativa apresentou teor intermediário ($20,47 \pm 1,65 \text{ g dm}^{-3}$), estatisticamente semelhante a PTD, MIL e CAF, mas inferior a PTR. Os resultados indicam que a MOS em solos amazônicos é influenciada pelo histórico de conversão da vegetação e pelo manejo pós-desmatamento, com maior preservação em área recentemente convertida para pastagem e menor teor em área cultivada com café.

Palavras-chave: decomposição da matéria orgânica; manejo do solo; práticas conservacionistas; solos amazônicos.

Abstract

Soil organic matter (SOM) is a relevant indicator of soil quality and of agroecosystem responses to land use and management practices. This study evaluated the effect of different land uses on SOM content in a rural settlement area in the Amazon region of Rondônia, Brazil. The experiment was conducted in the Altamira settlement, Campo Novo de Rondônia, using a completely randomized design with five land uses: native forest (MTN), degraded pasture older than 20 years (PTD), corn cultivated for two years under a conventional system (MIL), coffee established in an area previously used as pasture (CAF), and recent pasture established three years after deforestation without burning (PTR). Composite soil samples were obtained from the 0.0-0.2 m layer from simple samples collected in a zigzag pattern and processed as air-dried fine soil. SOM content was determined according to Camargo et al. (2009). Data were subjected to analysis of variance, and means were compared by Tukey's test at 5%. Land use significantly affected SOM content. Recent pasture showed the highest SOM content ($26.70 \pm 2.95 \text{ g dm}^{-3}$), whereas coffee cultivation showed the lowest value ($17.51 \pm 3.08 \text{ g dm}^{-3}$). Native forest showed an intermediate SOM content ($20.47 \pm 1.65 \text{ g dm}^{-3}$), statistically similar to PTD, MIL, and CAF, but lower than PTR. The results indicate that SOM in Amazonian soils is affected by vegetation conversion history and post-deforestation management, with greater preservation in recently converted pasture and lower content in the coffee-growing area.

Keywords: organic matter decomposition; soil management; conservation practices; Amazonian soils.

Introdução

A expansão agropecuária e a mudança no uso da terra impõem pressões sobre a fertilidade do solo na Amazônia, sobretudo quando a conversão da vegetação nativa ocorre sem práticas adequadas de manejo. Em solos tropicais úmidos, a MOS tem papel central na manutenção de atributos físicos, químicos e biológicos, influenciando agregação, disponibilidade de nutrientes, retenção de água e atividade biológica. Em áreas amazônicas convertidas para uso agrícola ou pecuário, os efeitos sobre a MOS dependem do histórico de uso, da intensidade de revolvimento, da cobertura do solo, da reposição de resíduos orgânicos e do nível de degradação da área (Luizão et al., 2009). Estudos sobre conversão de floresta para pastagem indicam que os estoques e teores de carbono e nitrogênio do solo podem variar nos primeiros anos após o desmatamento, refletindo tanto a herança da biomassa florestal quanto as perdas associadas à decomposição acelerada e ao manejo inadequado (Neill et al., 1997; Cerri et al., 2004). Assim, a avaliação do teor de MOS em diferentes usos da terra contribui para orientar práticas de manejo sustentável em assentamentos rurais amazônicos.

Objetivos

Avaliar como diferentes usos da terra e sistemas de manejo afetam o teor de matéria orgânica do solo em área de assentamento rural na região amazônica de Rondônia, comparando áreas sob mata nativa, pastagens, cultivo de milho e cultivo de café.

Método

O estudo foi realizado no assentamento Altamira, município de Campo Novo de Rondônia, RO, em clima tropical superúmido, com temperaturas médias entre 23,5 °C e 26,0 °C e precipitação anual entre 1.800 mm e 1.900 mm. Foram avaliados cinco usos da terra: MTN, solo sob mata nativa; PTD, pastagem degradada com mais de 20 anos, sob pastejo contínuo, sem correção nem adubação; MIL, área cultivada com milho por dois anos em sistema convencional, após uso anterior como pastagem; CAF, área de café implantada em área anteriormente ocupada por pastagem; e PTR, pastagem recente, estabelecida três anos após o desmatamento, sem uso de fogo. A amostragem foi realizada na camada de 0,0-0,2 m. Em cada área, amostras simples foram coletadas em pontos aleatórios, seguindo percurso em zigue-zague, e reunidas para formar amostras compostas. Nas áreas de milho e café, as coletas foram feitas nas entrelinhas das plantas. As amostras foram secas ao ar e à sombra por 48 h, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm. O teor de MOS foi determinado em terra fina seca ao ar conforme Camargo et al. (2009). Os dados foram submetidos à ANOVA, e, quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Resultados e discussão

Os teores de MOS diferiram entre os usos da terra avaliados. O maior teor foi observado em PTR ($26,70 \pm 2,95 \text{ g dm}^{-3}$), e o menor, em CAF ($17,51 \pm 3,08 \text{ g dm}^{-3}$), com diferença significativa entre esses usos. A mata nativa apresentou teor intermediário ($20,47 \pm 1,65 \text{ g dm}^{-3}$), estatisticamente semelhante a PTD, MIL e CAF, mas inferior a PTR. O maior teor de MOS na pastagem recente pode estar relacionado à influência residual da biomassa florestal removida e à presença de resíduos orgânicos remanescentes após a conversão da área, condição também relatada para pastagens jovens na Amazônia (Neill et al., 1997). O menor teor observado no café sugere maior exposição do solo a processos de perda e decomposição da matéria orgânica, possivelmente associados ao espaçamento entrelinhas, à menor cobertura do solo e ao histórico de manejo. Em ambientes tropicais úmidos, temperatura e umidade favorecem a rápida decomposição da MOS; por isso, cobertura vegetal, aporte contínuo de resíduos e menor revolvimento são decisivos para reduzir perdas de carbono e preservar a fertilidade do solo (Cerri et al., 2004; Luizão et al., 2009).

Conclusões

O uso da terra influenciou significativamente o teor de matéria orgânica do solo no assentamento avaliado. A pastagem recente apresentou os maiores teores de MOS, provavelmente devido à contribuição residual da biomassa florestal e à conversão sem uso de fogo. O cultivo de café apresentou os menores teores, indicando maior vulnerabilidade da MOS quando o solo permanece mais exposto ou submetido a manejo insuficiente para repor resíduos orgânicos. Os resultados reforçam que, em solos amazônicos, o manejo pós-desmatamento é determinante para a conservação da MOS e deve priorizar cobertura permanente do solo, aporte de resíduos orgânicos e práticas que reduzam erosão, revolvimento excessivo e degradação física.

Referências

Camargo OA, Moniz AC, Jorge JA, Valadares JMAS. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas: Instituto Agrônomo; 2009. (Boletim Técnico, 106).

Cerri CEP, Paustian K, Bernoux M, Victoria RL, Melillo JM, Cerri CC. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. *Glob Chang Biol.* 2004;10:815-32. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00759.x>

Luizão FJ, Fearnside PM, Cerri CEP, Lehmann J. The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems. *Geophys Monogr Ser.* 2009;186:311-36. <https://doi.org/10.1029/2008GM000742>

Neill C, Melillo JM, Steudler PA, Cerri CC, Moraes JFL de, Piccolo MC, Brito MMP. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. Ecol Appl. 1997;7:1216-25. <https://doi.org/10.2307/2641209>



CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E BROMATOLÓGICAS DE PASTAGENS EM DIFERENTES SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO NO ESTADO DE RONDÔNIA

PRODUCTIVE AND BROMATOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PASTURES IN DIFFERENT INTEGRATION SYSTEMS IN THE STATE OF RONDÔNIA

Henrique Nery Cipriani, Embrapa Florestas, Colombo, PR, e-mail: henrique.cipriani@embrapa.br; Wellen Sângela Mendes Bezerra, Universidade Federal de Rondônia- UNIR, Porto Velho, RO, e-mail: wellensangela@gmail.com; Ana Karina Dias Salman, Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO, e-mail: ana.salman@embrapa.br

Destaque: A inclusão do componente lavoura em sistemas integrados aumenta a produtividade das pastagens sem comprometer a qualidade da forragem, favorecendo a intensificação sustentável da pecuária na Amazônia.

Highlight: Including the crop component in integrated systems enhances pasture productivity without compromising forage quality, supporting sustainable livestock intensification in the Amazon region.

Resumo

Sistemas de integração são alternativas sustentáveis para intensificar a pecuária na Amazônia, mas a integração pode influenciar características produtivas e bromatológicas das forrageiras. Destarte, este estudo avaliou a produção, a composição bromatológica e o índice de clorofila de pastagens em diferentes sistemas de integração em Porto Velho, RO, durante a estação chuvosa.

Os tratamentos compreenderam: integração pecuária-floresta com eucalipto (IPF-EP) e com *Samanea tubulosa* (IPF-ST), ambos com capim Marandu; integração lavoura-pecuária (ILP); lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e monocultivo (IPY), estes com capim Ipyorã. Avaliaram-se: altura (H), produção de matéria seca (MS) de

forragem (PROD), matéria seca (MS), densidade volumétrica de forragem (DVF), índice de clorofila foliar (ICF), lignina (LIG), celulose (CEL) e fibra em detergente ácido (FDA). Os dados foram submetidos à ANOVA e ao teste LSD ao nível de 5% de significância.

A altura diferiu significativamente entre os sistemas, com ILPF (90,00 cm) e ILP (89,22 cm), apresentando os maiores valores, IPF-EP (79,20 cm) e IPF-ST (78,73 cm), com valores intermediários, e IPY (70,47 cm) com a menor altura. Houve diferença significativa para PROD, com os sistemas ILPF (7,63 t MS ha⁻¹) e ILP (6,04 t MS ha⁻¹) apresentando as maiores produções, não diferindo estatisticamente entre si. O sistema IPF-ST apresentou produção intermediária (5,46 t MS ha⁻¹), enquanto IPF-EP (4,62 t MS ha⁻¹) e IPY (4,40 t MS ha⁻¹) apresentaram os menores valores.

O teor de MS diferiu entre os sistemas, com ILPF apresentando o maior valor (39,47%), seguido por ILP (32,93%), IPF-ST (32,23%) e IPF-EP (31,84%), não havendo diferença entre IPF-ST e IPF-EP. O sistema IPY apresentou o menor teor (25,32%). O ICL apresentou diferença significativa, com os maiores valores observados em IPY (47,32) e IPF-ST (46,90), que não diferiram estatisticamente. O sistema ILP apresentou valor intermediário (42,04), enquanto IPF-EP (38,01) e ILPF (33,61) apresentaram os menores índices. Não houve diferença significativa para DVF, FDA, LIG e CEL, com médias variando de 58,02 a 71,25 kg cm⁻¹ ha⁻¹ (DVF), 41,44 a 49,17% (FDA), 4,25 a 5,03% (LIG) e 36,78 a 44,15% (CEL).

Os sistemas de ILPF e ILP proporcionaram maiores H, PROD e MS, demonstrando maior potencial produtivo nas condições avaliadas, provavelmente devido ao efeito residual da adubação do componente lavoura nas pastagens. O sistema IPF-ST apresentou desempenho intermediário, enquanto o IPF-EP e IPY resultaram em menor produção de forragem. As características bromatológicas FDA, LIG e CEL não foram influenciadas pelos sistemas de integração, sugerindo qualidade nutricional semelhante da forragem entre os sistemas.

Os resultados indicam que a escolha do sistema de integração deve considerar os objetivos produtivos, sendo os sistemas com componente lavoura mais indicados para maximizar a produção de forragem na região de Porto Velho.

Palavras-chave: Amazônia Ocidental, bordão-de-velho, forrageiras tropicais, qualidade de forragem, sistemas silvipastoris.

DIVERSIDADE FILOGENÉTICA DA MICROBIOTA DO SOLO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

PHYLOGENETIC DIVERSITY OF SOIL MICROBIOTA IN SILVOPASTORAL SYSTEMS OF WESTERN AMAZONIA

Henrique Nery Cipriani, Embrapa Florestas, Colombo, PR, e-mail:

henrique.cipriani@embrapa.br; Thierry Alexandre Pellegrinetti, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP; Ana Karina Dias Salman, Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO; Elaine Coimbra de Souza, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, RO; Sin Mui Tsai, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.

Destaque: O uso da espécie nativa Samanea tubulosa em sistemas silvipastoris da Amazônia aumenta a riqueza e a estabilidade filogenética da microbiota do solo em comparação ao eucalipto, destacando o potencial das árvores nativas para promover a saúde do solo e a conservação ambiental na região.

Highlight: Integrating the native tree Samanea tubulosa into Amazonian silvopastoral systems enhances soil microbiota phylogenetic richness and stability compared to Eucalyptus, highlighting the vital role of native species in promoting soil health and environmental conservation in the region.

Resumo

Os sistemas de integração pecuária-floresta (IPFs) equilibram a produção agrícola e a conservação ambiental, mas seu impacto na diversidade microbiana do solo na Amazônia ainda é pouco compreendido. Este estudo utilizou o sequenciamento de 16S rRNA para comparar a diversidade filogenética de comunidades procarióticas do solo em diferentes IPFs, incluindo um arranjo inovador com uma espécie arbórea nativa, *Samanea tubulosa*, (bordão-de-velho, sete-cascas...) para avaliar seu potencial em melhorar a saúde do solo.

Amostras de solo da camada de 0-10 cm foram coletadas em julho de 2022, em

um IPF com *S. tubulosa* (IPF-ST) e um IPF com *Eucalyptus pellita* (IPF-EP), a 0,00 m e 5,25 m de distância das árvores, além de um fragmento de floresta nativa (FN), localizados no Campo Experimental de Porto Velho (Embrapa Rondônia). A diversidade alfa filogenética foi avaliada utilizando o índice de diversidade filogenética de Faith (PD) e o tamanho do efeito padronizado do PD (sesPD).

Para a diversidade beta filogenética, foram calculadas as distâncias UniFrac (Unique Fraction), uma métrica que representa a proporção do comprimento total dos ramos em uma árvore filogenética que leva a organismos de apenas uma das comunidades. Os dados de PD e sesPD foram submetidos à ANOVA, considerando-se um fatorial com tratamento adicional (FN). As distâncias UniFrac foram utilizadas numa PCoA. Para testar a significância estatística das diferenças observadas nos agrupamentos, foi aplicada uma PERMANOVA. Adotou-se o nível de 5 % de significância.

O IPF com *S. tubulosa* apresentou maior riqueza filogenética (PD) do que o IPF-EP a 5,25 m e do que a FN. A distância em relação à linha de árvores não afetou a riqueza filogenética, para o mesmo sistema. Os valores de divergência filogenética (sesPD) foram significativamente mais negativos na FN e no IPF-EP a 5,25 m, sugerindo que as comunidades microbianas nesses ambientes são mais agrupadas filogeneticamente e menos aleatórias, possivelmente devido à pressão seletiva ambiental.

A composição filogenética das comunidades procarióticas do solo foi significativamente diferente entre a maioria dos grupos comparados. Notavelmente, ao comparar as distâncias dentro dos sistemas, apenas o IPF-ST formou um único agrupamento para as distâncias UniFrac ponderada (considera a abundância relativa dos microrganismos) e não ponderada (considera apenas presença/ausência), sugerindo uma maior proporção de filogenia compartilhada dentro deste sistema.

Os resultados mostram que os IPFs alteram a diversidade filogenética do solo e que o uso de *S. tubulosa* melhora essa diversidade em comparação ao eucalipto. Esses achados destacam a importância de considerar a diversidade filogenética para entender os efeitos de diferentes usos da terra na saúde do solo e ressaltam os benefícios significativos da integração de espécies nativas com pastagens na Amazônia.

Palavras-chave: índice de Faith, *Samanea tubulosa*, sistemas de integração pecuária-floresta, UniFrac

SOBRE A SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO E O NÚCLEO REGIONAL NOROESTE

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) é uma entidade científica de abrangência nacional dedicada à promoção, ao desenvolvimento e à difusão da Ciência do Solo no Brasil. Sua trajetória institucional e a atuação de seus associados têm contribuído para a organização da comunidade científica e técnica vinculada ao estudo, ao uso e ao manejo dos solos brasileiros.

Criada em 1947, a SBCS é uma sociedade civil sem fins lucrativos que congrega profissionais e instituições ligados ao ensino, à pesquisa, à extensão, ao setor produtivo e aos órgãos governamentais. Atualmente, reúne cerca de mil associados distribuídos pelas diferentes regiões do País.

Ao longo de sua trajetória, a Sociedade tem contribuído para o desenvolvimento da agropecuária brasileira por meio da geração e da difusão de conhecimentos relacionados, entre outros temas, à caracterização e classificação dos solos, fertilidade, nutrição de plantas, manejo, conservação dos recursos naturais e sustentabilidade dos sistemas de produção. Estudos, métodos de diagnóstico, recomendações técnicas e sistemas de manejo desenvolvidos por seus associados têm sido incorporados às atividades de pesquisa, ensino, extensão e produção agropecuária.

A origem da SBCS está relacionada ao movimento internacional de organização das ciências agrárias e geológicas ocorrido no período posterior à Segunda Guerra Mundial. Durante a IV Conferência Interamericana de Agricultura, realizada em Caracas, em 1945, foi reconhecida a necessidade de criação de uma Sociedade Interamericana de Ciência do Solo, a ser estruturada a partir da formação de sociedades nacionais.

No Brasil, essa proposta ganhou espaço entre profissionais da área de solos que participaram do 2º Congresso Panamericano de Minas e Geologia, realizado em Petrópolis, em 1946, quando foi discutida a conveniência de organizar encontros científicos específicos sobre o tema. A mobilização prosseguiu durante o 5º Congresso Brasileiro de Química, realizado em Porto Alegre, em fevereiro de 1947, ocasião em que foi definida a realização de uma reunião destinada à criação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Essa reunião ocorreu no Rio de Janeiro, entre 6 e 20 de outubro de 1947. Ao final dos trabalhos, na sala de conferências do Instituto de Química Agrícola, atual

Embrapa Solos, no Jardim Botânico, foi realizada a primeira Assembleia Geral, que aprovou formalmente a criação da SBCS.

Para cumprir suas finalidades institucionais, a SBCS promove congressos, simpósios, reuniões científicas e outros eventos especializados destinados ao intercâmbio entre seus associados, à apresentação de trabalhos técnicos e científicos e à difusão de conhecimentos em Ciência do Solo.

No âmbito de sua organização territorial, a Sociedade estrutura-se em núcleos regionais, que aproximam a entidade de seus associados e das demandas específicas de diferentes regiões do País. Nesse contexto, o Núcleo Regional Noroeste foi criado durante reunião do Conselho Diretor da SBCS realizada em 2 de agosto de 2015, em Natal, Rio Grande do Norte.

Antes de sua criação, os estados da Região Norte estavam distribuídos entre os Núcleos Regionais Amazônia Ocidental, formado por Amazonas, Acre, Roraima e Rondônia, e Amazônia Oriental, integrado por Maranhão, Tocantins, Pará e Amapá. A criação do Núcleo Regional Noroeste, abrangendo Acre e Rondônia, decorreu, entre outros fatores, das grandes distâncias geográficas, das dificuldades logísticas de integração e da necessidade de ampliar a atuação regional da SBCS diante das particularidades ambientais e produtivas desses dois estados.

O Núcleo Regional Noroeste tem, portanto, origem no desmembramento do antigo Núcleo Amazônia Ocidental. Atualmente, é constituído pelos associados da SBCS vinculados aos estados do Acre e de Rondônia e atua como instância regional de articulação científica, técnica e institucional da Sociedade.

A diversidade de solos, ambientes e sistemas de produção existentes no Acre e em Rondônia estabelece demandas específicas relacionadas ao levantamento e à classificação de solos, à avaliação da aptidão agrícola das terras, ao manejo da fertilidade, à conservação dos recursos naturais, à recuperação de áreas alteradas, à sustentabilidade dos sistemas agropecuários e à formação de profissionais. Nesse contexto, o Núcleo promove eventos, cursos, publicações, intercâmbio técnico e outras ações destinadas ao desenvolvimento e à difusão da Ciência do Solo na região.

Diretorias e quadro social do Núcleo Regional Noroeste

O Núcleo Regional Noroeste foi formalmente constituído em 23 de março de 2016, em Porto Velho, Rondônia, como entidade científica de âmbito regional, sem fins lucrativos e destinada a representar a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo nos estados do Acre e de Rondônia. Desde então, reúne profissionais vinculados, principalmente, a instituições de pesquisa, ensino, extensão e desenvolvimento agropecuário.

Embora sua constituição jurídica tenha ocorrido em 2016, ata posterior de retificação estabeleceu, para compatibilização com o calendário eleitoral da Diretoria Nacional da SBCS, que o mandato da primeira diretoria seria considerado iniciado

em 5 de agosto de 2015, data correspondente à homologação do Núcleo pela Sociedade, com término em 30 de junho de 2017.

Gestão de 2015 a 2017 — constituição e organização inicial

A primeira diretoria conduziu o processo de constituição jurídica do Núcleo, aprovação do Estatuto, definição da sede e organização administrativa inicial.

Sua composição foi:

Diretor: Alaerto Luiz Marcolan

Primeiro vice-diretor: Luciélcio Manoel da Silva

Segundo vice-diretor: Elizio Ferreira Frade Júnior

Tesoureira: Stella Cristiani Gonçalves Matoso

Secretário: Henrique Nery Cipriani

Gestão de 2017 a 2019 — primeira sucessão diretiva

A segunda diretoria foi eleita na III Assembleia Geral, realizada em 26 de julho de 2017, para mandato até 25 de julho de 2019. Entre as diretrizes estabelecidas para o período estavam a consolidação institucional do Núcleo, a ampliação do quadro associativo, o fortalecimento das coordenadorias temáticas, a realização de eventos científicos regionais e a organização de meios próprios de divulgação técnico-científica.

A diretoria foi composta por:

Diretor: Paulo Guilherme Salvador Wadt

Primeiro vice-diretor: Henrique Nery Cipriani

Segundo vice-diretor: Elizio Ferreira Frade Júnior

Secretária: Karina Thaís Lima Burity

Tesoureira: Marcela Campanharo

O plano de trabalho da gestão também previa ampliar a participação regional em reuniões e congressos da SBCS e estruturar atividades editoriais vinculadas ao Núcleo.

Gestão de 2019 a 2021 — continuidade administrativa e representação regional

Na IV Assembleia Geral, realizada em 28 de junho de 2019, Paulo Guilherme Salvador Wadt foi reconduzido à direção do Núcleo. O mandato foi inicialmente

estabelecido para o período de 26 de julho de 2019 a 30 de junho de 2021.

A composição eleita foi:

Diretor: Paulo Guilherme Salvador Wadt

Primeira vice-diretora: Edilaine Istéfani Franklin Traspadini

Segundo vice-diretor: Edson Alves de Araújo

Secretária: Karina Thaís Lima Burity

Tesoureira: Marcela Campanharo

A composição manteve a representação de profissionais vinculados aos estados de Rondônia e do Acre e deu continuidade às ações administrativas e técnico-científicas desenvolvidas pela gestão anterior.

Reorganização institucional de 2020 a 2021

Em 17 de fevereiro de 2020, durante a V Assembleia Geral, foi aprovada uma reforma estatutária que modificou a estrutura administrativa do Núcleo. Os cargos de diretor, primeiro e segundo vice-diretores, secretário e tesoureiro foram substituídos por uma Diretoria Executiva formada por presidente, vice-presidente e diretor de Gestão, acompanhada de um Conselho Fiscal.

Como disposição transitória, o mandato vigente foi prorrogado até 31 de dezembro de 2021. A estrutura administrativa passou a ser composta por:

Presidente: Paulo Guilherme Salvador Wadt

Vice-presidente: Marcela Campanharo

Diretora de Gestão: Karina Thaís Lima Burity

Conselho Fiscal

Presidente: Elaine de Almeida Delarmelinda Honoré

Conselheira: Edilaine Istéfani Franklin Traspadini

Conselheiro: Henrique Nery Cipriani

A reforma reorganizou as funções executivas, administrativas e de fiscalização e buscou aperfeiçoar os procedimentos eleitorais, financeiros e contábeis, bem como os mecanismos de acompanhamento dos atos de gestão.

Gestão de 2022 a 2025 — modernização e ampliação da capacidade institucional

A VI Assembleia Geral, realizada em 18 de maio de 2021, elegeu a Diretoria Executiva e o Conselho Fiscal para o período de 1º de janeiro de 2022 a 31 de

dezembro de 2025.

A Diretoria Executiva foi constituída por:

Presidente: Karina Thaís Lima Burity

Vice-presidente: Elaine de Almeida Delarmelinda Honoré

O Conselho Fiscal foi composto por:

Presidente: Edilaine Istéfani Franklin Traspadini

Conselheiro: Henrique Nery Cipriani

Conselheiro: Elizio Ferreira Frade Júnior

Paulo Guilherme Salvador Wadt foi posteriormente designado diretor de Gestão, função que exercia, ao menos, desde 2023, conforme registrado na Assembleia Geral Extraordinária que deliberou sobre nova reforma estatutária.

Entre as orientações estabelecidas para a gestão estavam o fortalecimento do Núcleo como espaço regional de divulgação científica e técnica, a ampliação da capacidade de captação de recursos e gestão de projetos, a consolidação de publicações próprias e a realização de eventos técnico-científicos no Acre e em Rondônia.

Em 2023, o Estatuto foi novamente reformulado, com o objetivo de adequar o Núcleo às normas aplicáveis às organizações da sociedade civil, ampliar as possibilidades de estabelecimento de parcerias com o poder público e fortalecer sua atuação em atividades de ciência, tecnologia e inovação. A reforma também estabeleceu mandatos de quatro anos, com início em 1º de janeiro do ano subsequente à eleição.

Gestão de 2026 a 2029 — diretoria atual

A estrutura de governança para o período de 2026 a 2029 foi definida na VII Assembleia Geral, realizada em 28 de setembro de 2025. Diante da ausência de chapa válida no processo eleitoral originalmente aberto, a Assembleia deliberou sobre a composição da Diretoria Executiva e do Conselho Fiscal.

O mandato teve início em 1º de janeiro de 2026 e se encerrará em 31 de dezembro de 2029. A composição é a seguinte:

Presidente: Henrique Nery Cipriani

Vice-presidente: Ricardo Bezerra Hoffmann

Conselho Fiscal

Presidente: Paulo Guilherme Salvador Wadt

Conselheiro: Elizio Ferreira Frade Júnior

Conselheiro: Luís Pedro de Melo Plese

A composição mantém a representação de profissionais vinculados aos estados do Acre e de Rondônia e assegura a continuidade administrativa do Núcleo.

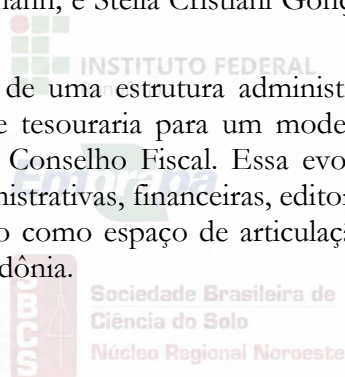
Quadro social atual

O Núcleo Regional Noroeste é constituído pelos associados da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo vinculados aos estados do Acre e de Rondônia. Esse quadro reúne profissionais ligados à pesquisa, ao ensino, à extensão, à assistência técnica e a outras atividades relacionadas à Ciência do Solo e às Ciências Agrárias.

Atualmente, integram o Núcleo:

Alessandro Gois Orrutea; Anderson Cristian Bergamin; Edson Alves de Araújo; Elizio Ferreira Frade Júnior; Erbesson de Souza Brito; Henrique Nery Cipriani; Ivanildo Amorim de Oliveira; Joiada Moreira da Linhares; José Vagner Silva; Lenita Aparecida Conus Venturoso; Luís Pedro de Melo Plese; Lya Januária Vasconcelos Beiruth; Magno Batista Amorim; Murilo Silveira; Paulo Guilherme Salvador Wadt; Renato Epifânio de Souza; Ricardo Bezerra Hoffmann; e Stella Cristiani Gonçalves Matoso.

Ao longo de sua trajetória, o Núcleo passou de uma estrutura administrativa formada por diretoria, vice-diretorias, secretaria e tesouraria para um modelo de governança composto por Diretoria Executiva e Conselho Fiscal. Essa evolução acompanhou a ampliação de suas atribuições administrativas, financeiras, editoriais e técnico-científicas e a consolidação de sua atuação como espaço de articulação da comunidade de Ciência do Solo no Acre e em Rondônia.



III WORKSHOP DE CADEIAS DE PRODUÇÃO AGROFLORESTAIS PRIORITÁRIAS DA AMAZÔNIA

O III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia foi realizado nos dias 4 e 5 de dezembro de 2025, em Cacoal, Rondônia. A programação reuniu atividades técnico-científicas voltadas à cadeia produtiva do cacau, aos sistemas agroflorestais e à inovação no agronegócio amazônico, incluindo dia de campo, minicurso, oficinas, conferências, palestras e mesas-redondas.

As atividades foram realizadas predominantemente nas instalações da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Campus de Cacoal, com atividades complementares no Instituto Federal de Rondônia (IFRO) e em propriedade rural utilizada para o dia de campo.

4 de dezembro de 2025

8h00–11h30 — Dia de campo: Cacaucultura em Rondônia: clones recomendados, técnicas de propagação e de pós-colheita

Coordenação: Nirvani Schroeder Henrique.

Palestrantes/instrutores: Sandra Rita Bartnik Quaresma; André Gusmão de Jesus; João Paulo de Souza Quaresma; e Caio Marcio Vasconcellos Cordeiro de Almeida.

8h00–11h30 — Minicurso: Qualidade e sanidade de amêndoas de cacau

Palestrantes/instrutores: Jean Ramos dos Santos e Magno Batista Amorim.

9h30–11h30 — Oficina: Estratégias para a pecuária sustentável em terras indígenas

Moderação: Suzenir Aguiar da Silva.

Debatedor: Almir Narayamoga Suruí.

9h30–11h30 — Oficina: EUDR — Regulamento da União Europeia contra Desmatamento

Palestrantes: Cristina Fedato e Francesca Capello.

11h30–12h10 — Oficina: Ser mulher no mundo do cacau e chocolate

Palestrantes: Selma Targa; Marli Teodoro; Elis Regina Rodrigues de Souza; Cristiane Tiengo; e Jhanne Franco.

Conferência Principal

15h30–16h10 — Conferência: Centro de Estudos Genéticos e Evolutivos de *Theobroma*

Conferencista: Antonio Figueira.

Moderador: Lúcia Helena de Oliveira Wadt.

Debatedores: Antonio Figueira; Sebastião Machado Oliveira; Gervanio Vicent; e Marcelo Lucian Ferronato.

5 de dezembro de 2025

Workshop: Tecnologias para Alta Produtividade do Cacaueiro Amazônico

Coordenação e moderação: Magno Batista Amorim.

O workshop foi organizado em três apresentações técnico-científicas, seguidas de mesa-redonda.

9h00–9h40 — Conferência: Por que devemos falar dos insetos polinizadores do cacau?

Conferencista: Márcia Maués.

9h40–10h10 — Palestra: Técnicas biotecnológicas no melhoramento do cacaueiro

Palestrante: Vanderley Borges dos Santos.

10h10–10h40 — Palestra: Adubação modular balanceada para lavouras cacaueiras

Palestrante: Paulo Guilherme Salvador Wadt.

11h10–12h00 — Mesa-redonda: Tecnologias para Alta Produtividade do Cacaueiro Amazônico

Moderador: Magno Batista Amorim.

Debatedores: Márcia Maués; Paulo Guilherme Salvador Wadt; Vanderley Borges dos Santos; e Deborah Regina.

Workshop: Inovação para o Agronegócio na Amazônia

Coordenação e moderação: Paulo Guilherme Salvador Wadt.

O workshop compreendeu uma conferência, duas palestras e uma mesa-redonda.

14h30–15h10 — Conferência: Perspectivas da cacauicultura brasileira até o ano de 2050

Conferencista: Jairo Rafael Machado Dias.

15h10–15h40 — Palestra: Cadeia de Valor no Agronegócio: do produtor ao consumidor final

Palestrante: Charles Carminati de Lima.

15h40–16h10 — Palestra: Avaliação de impacto em indicações geográficas

Palestrante: Gleriani Torres Carbone Ferreira.

16h10–17h00 — Mesa-redonda: Inovação para o Agronegócio na Amazônia

Moderador: Paulo Guilherme Salvador Wadt.

Debatedores: Jairo Rafael Machado Dias; Charles Carminati de Lima; Gleriani Torres Carbone Ferreira.

Comissão Organizadora do III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia

A realização do III Workshop de Cadeias de Produção Agroflorestais Prioritárias da Amazônia contou com uma comissão organizadora de caráter interinstitucional, reunindo representantes de instituições de pesquisa, ensino e organizações vinculadas à cadeia produtiva do cacau. Essa composição permitiu distribuir responsabilidades entre coordenação geral, vice-coordenação, atividades de campo e logística, contribuindo para a execução integrada da programação técnico-científica e operacional do evento.

Coordenador do evento

Magno Batista Amorim — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO)

Vice-Coordenador do evento

Charles Carminati de Lima — Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

Vice-Coordenador do evento

Paulo Guilherme Salvador Wadt — Embrapa Rondônia

Coordenadora da Visita Técnica/Dia de Campo

Sandra Rita Bartnik Quaresma — Movimento Pró-Cacau Cacoal

Membro da equipe de logística

Mileni Cassimiro — Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

Membro da equipe de logística e Presidente do Núcleo Regional Noroeste da SBCS

Karina Thais Lima Burity — Núcleo Regional Noroeste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS)

Além dos integrantes formalmente indicados na Comissão Organizadora, a execução do Workshop contou com a colaboração de docentes e discentes da UNIR e do IFRO, assim como de técnicos e analistas de instituições parceiras, entre elas SEBRAE, SENAR e EMATER. Esses colaboradores atuaram em diferentes etapas da organização, apoio logístico, atendimento aos participantes, condução das atividades e suporte à programação técnico-científica.

