

NOTA TÉCNICA

Microbiorrefinarias da biodiversidade: estudo de caso do cacau

Fernanda de Souza Cardoso

Igor Nardi Caxiano

Leonardo Vieira Teixeira

Jeiveison Gobério Maia

Paulo Coutinho

Setembro, 2024

1. Contextualização

O cacau (*Theobroma cacao*) se trata de uma espécie nativa do bioma Amazônico e de grande importância econômica, social e ambiental para a agrobiodiversidade nacional (Souza et al., 2016). O cacaeiro pode atingir de 12 a 15 metros na natureza, porém sua altura costuma ser delimitada a 5 a 8 metros de altura no cultivo. Esta árvore gera fruto alongado cuja coloração e proporções variam de acordo com a variedade do cacau. É composto por uma casca rígida, que representa 80% em massa do fruto, e amêndoas ovóides achatadas que são conectadas entre si por um engajo (denominado sibirra) e recobertas por polpa mucilaginosa de coloração branca e sabor adocicado e ácido. Existe uma substância adocicada que recobre a parte interna da casca e externa da polpa, denominada mel de cacau (SENAR, 2018). Tanto o cacaeiro quanto seu fruto estão apresentados pela Figura 1.

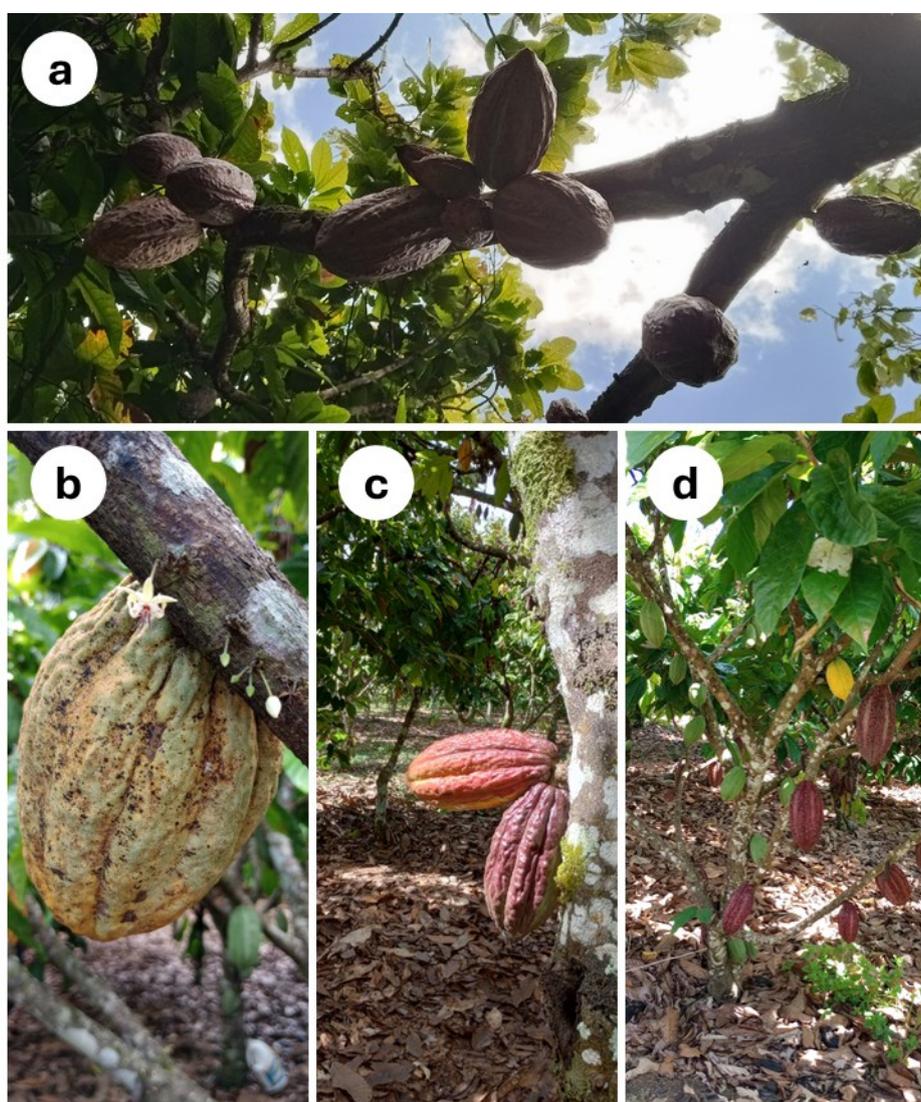


Figura 1. Cacaueiro e seu fruto. (A) Frutos de cacau no topo de um cacaueiro; (B) Fruto de coloração clara ao lado de florescência do cacau; (C) Frutos avermelhados; (D) Cacaueiro com enxertos e produzindo três variedades de cacau de cores distintas.

Autoria própria.

O cacaveiro é uma árvore de grande valia para o bioma amazônico, sendo inclusive empregado na recuperação de áreas degradadas (Venturieri et al., 2022) e em sistemas agroflorestais (SAFs), que se trata de áreas produtivas onde há o manejo de plantas de diferentes características, agrícolas e florestais que interagem entre si em um processo temporal de sucessão direcionada, conforme os objetivos do agricultor (Braga et al., 2022). A Figura 2.a apresenta uma via que divide dois tipos de cultura. A pastagem, localizada à esquerda da estrada de chão de terra, se distingue da variedade de cultivos do SAF localizado à direita, e cujo vasto interior se apresenta da Figura 2.b.

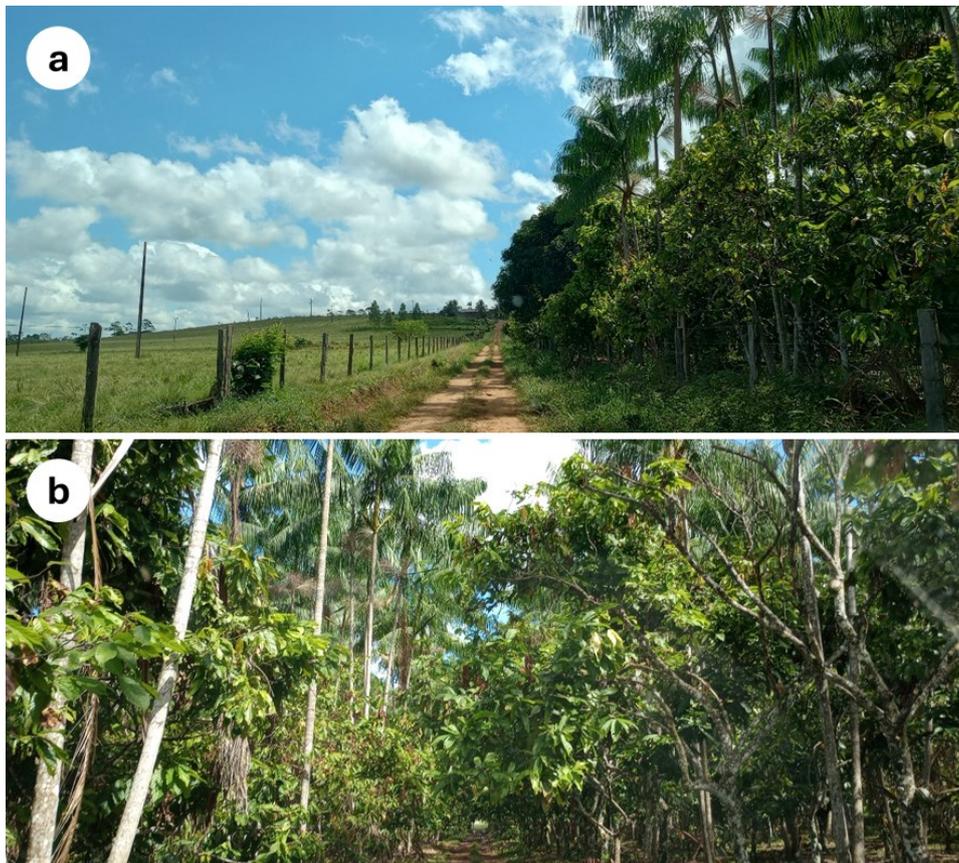
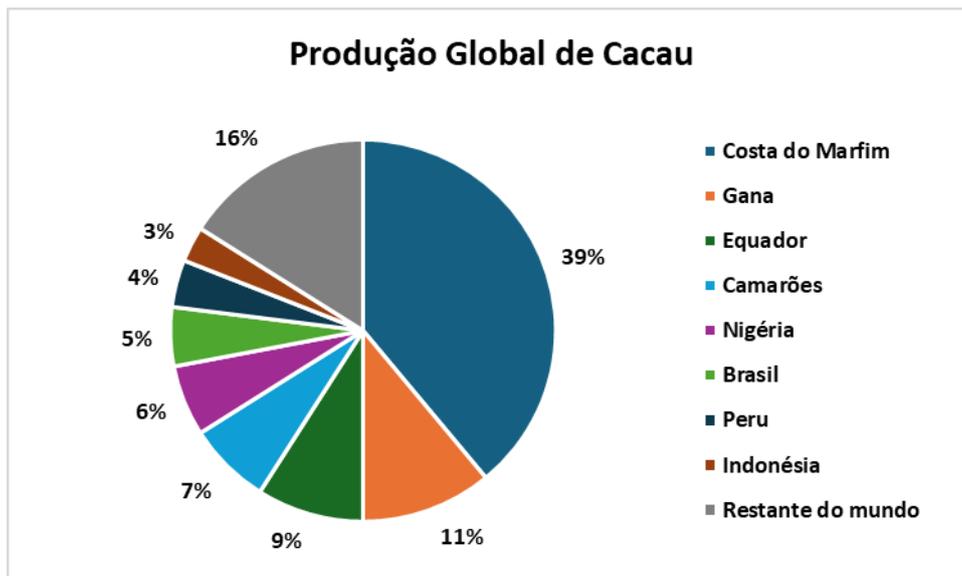


Figura 2. Sistemas Agroflorestais. (A) Distinção visual entre pastagem e SAF; (B) Interior de um SAF contendo cacau. Autoria própria.

Apesar de ser nativo da região norte do país, em 1746, o fruto do cacau foi levado à Bahia e, posteriormente, novas plantações foram introduzidas à África e Ásia. Atualmente, Costa do Marfim é considerado o maior produtor de amêndoas de cacau, sendo responsável por 39% da produção de 2022. O Brasil se posiciona em sexto lugar no ranking de produção, representando apenas 5% da produção mundial (ICCO, 2024) com a produção de 301.026 toneladas de amêndoas (IBGE, 2024), conforme apresentado pela Figura 3.



*Figura 3. Produção mundial de amêndoa de cacau.
Adaptado de ICCO (2024)*

Por muitos anos, a Bahia liderou a produção nacional de cacau. Porém, devido a pragas como a vassoura de bruxa e podridão marrom, sua produção caiu. Atualmente, o maior estado produtor é o Pará, enquanto a Bahia permanece na segunda posição. Juntos, esses estados correspondem a 94% da produção nacional, que ocorre principalmente de junho a agosto e de outubro a dezembro (BRAINER, 2021). É interessante ressaltar que Medicilândia, município do Pará, é responsável por 17% da produção nacional de cacau, seguido por diferentes municípios do Pará, Bahia e Espírito Santo (Figura 4).

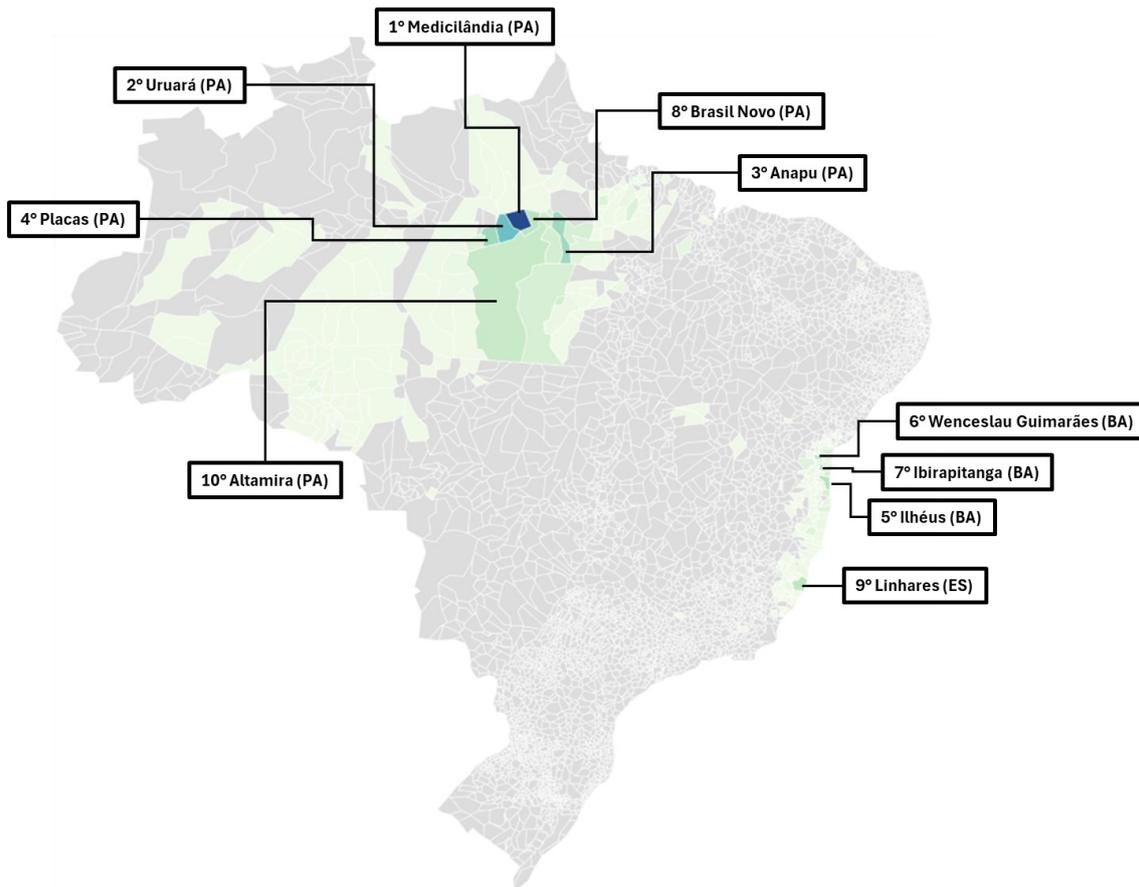


Figura 4. Municípios produtores de cacau e ranqueamento dos 10 maiores produtores.
Adaptado de IBGE (2024)

O principal produto da cadeia do cacau é a amêndoa, que após fermentada e seca é comercializada para a fabricação de chocolate, fármacos e cosméticos. Estima-se que sejam necessários de 15 a 31 frutos para geração de 1 kg de cacau comercial (SENAR, 2018). É interessante ressaltar que as amêndoas correspondem a aproximadamente 10% em massa do fruto e que, em boa parte das cooperativas nacionais, trata-se do único produto obtido a partir do cacau. O Comitê Executivo do Plano do Cacau (CEPLAC) e a Associação Nacional das Indústrias de Processamento de Cacau (AIPC) relatam que, no Brasil, o processamento do fruto para obtenção das amêndoas fermentadas e secas é normalmente feito por cooperativas e/ou na propriedade onde o fruto é cultivado, sendo adquiridas por corporações como Cargill, Barry Callebaut e Olam, que efetuam a torrefação (Rodrigues; Pires, 2004).

Geralmente, o fruto do cacau é higienizado e quebrado para liberar seu conteúdo. A semente revestida pela polpa e conectada à sibirra pode ser levada diretamente a um caixote de madeira para fermentação natural e posterior secagem para obtenção das amêndoas. Porém, com a adição de etapas prévias e relativo baixo investimento, é possível gerar coprodutos que contribuam para a sustentabilidade financeira da cooperativa.

Ao se passar a semente revestida de polpa por um equipamento de separação mecânica com um pouco de água, é possível desagregar a amêndoa do excesso de polpa e da sibirra. A polpa obtida (7% em massa) pode ser congelada e as amêndoas seguem pelo seu fluxo convencional, sendo fermentadas e secas em estufas e/ou lonas ao ar livre. Enquanto isso, a sibirra (4% em massa) pode ser empregada para a fabricação de doces, porém, o mercado limitado e a elevada perecibilidade costumam inviabilizar seu aproveitamento. Já as cascas do cacau, que

representam 78% em massa do fruto, são selecionadas e posicionadas de forma a permitir o escoamento natural do mel de cacau (aproximadamente 1% em massa) para um recipiente higienizado, que posteriormente também pode ser congelado (Cohen et al., 2003; ICCO, 2024).

A Figura 5 apresenta a produção anual dos produtos e coprodutos da cadeia do cacau, permitindo a comparação entre o volume de produção do produto principal (amêndoa fermentada e seca) frente aos demais coprodutos.

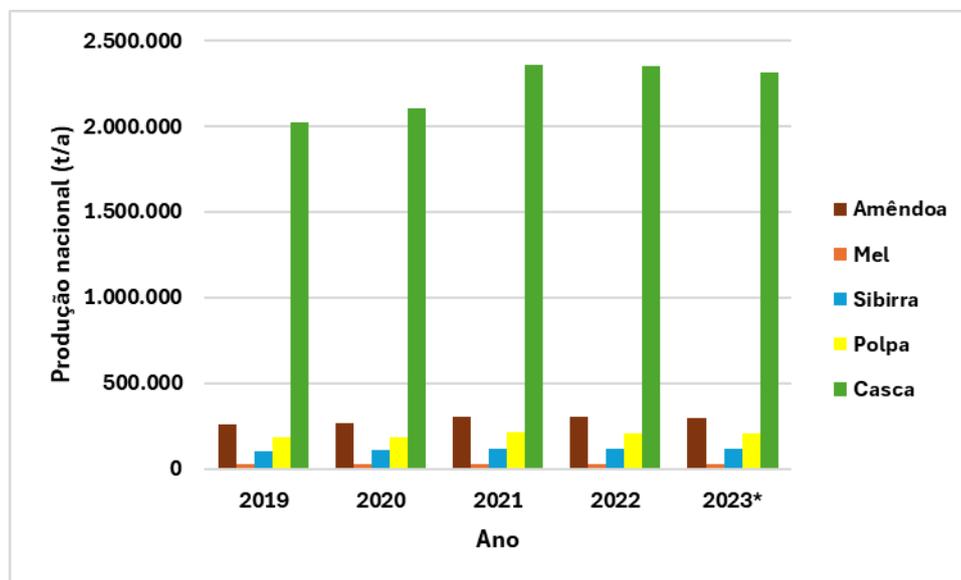


Figura 5. Produção nacional anual de produtos e coprodutos do cacau.

Adaptado de IBGE (2024).

(*) Os dados do último ano são resultados preliminares e podem sofrer alterações até a próxima divulgação do IBGE.

Estima-se que uma cooperativa que processe aproximadamente 1.000 toneladas de cabaça (ou fruto) de cacau por ano é capaz de gerar 10 toneladas de mel congelado, 70 mil litros de polpa congelada, 40 toneladas de doce de sibirra e 100 toneladas de amêndoa. O maior volume de biomassa gerada é da casca, que contabiliza 780 toneladas. Atualmente estes coprodutos são considerados resíduos e podem destinados à produção de adubo por falta de destinações de maior valor agregado, ou dispostos de maneira inapropriada. Nos casos em que a quebra do fruto ocorre concomitantemente à etapa de colheita, as cascas do cacau são frequentemente deixadas no solo das fazendas e contribuem para a proliferação de doenças do cacau.

É possível empregar o aproveitamento integral do fruto do cacau e a agregação de valor aos coprodutos através da aplicação do conceito de biorrefinarias. Biorrefinaria é uma instalação que integra processos de conversão de biomassa em diferentes bioprodutos e/ou bioenergia, com o objetivo de otimizar o uso de recursos e minimizar a geração de resíduos, maximizando os benefícios e o lucro (EMBRAPA Agroenergia, 2024). Através da instalação local de biorrefinarias de pequeno porte, denominadas microbiorrefinarias, e da capacitação das cooperativas em sua operação, é possível viabilizar a geração de um novo portfólio de produtos da cadeia do cacau enquanto promove sua circularidade e permite o acesso dos pequenos produtores a novos mercados tanto nacionais quanto internacionais.

2. Oportunidades de Valorização da Cadeia do Cacau

Como supracitado, a amêndoa é o produto principal da cadeia do cacau. Porém no processamento do fruto é possível obter pelo menos quatro coprodutos que podem ser valorizados e contribuir para a agregação de valor.

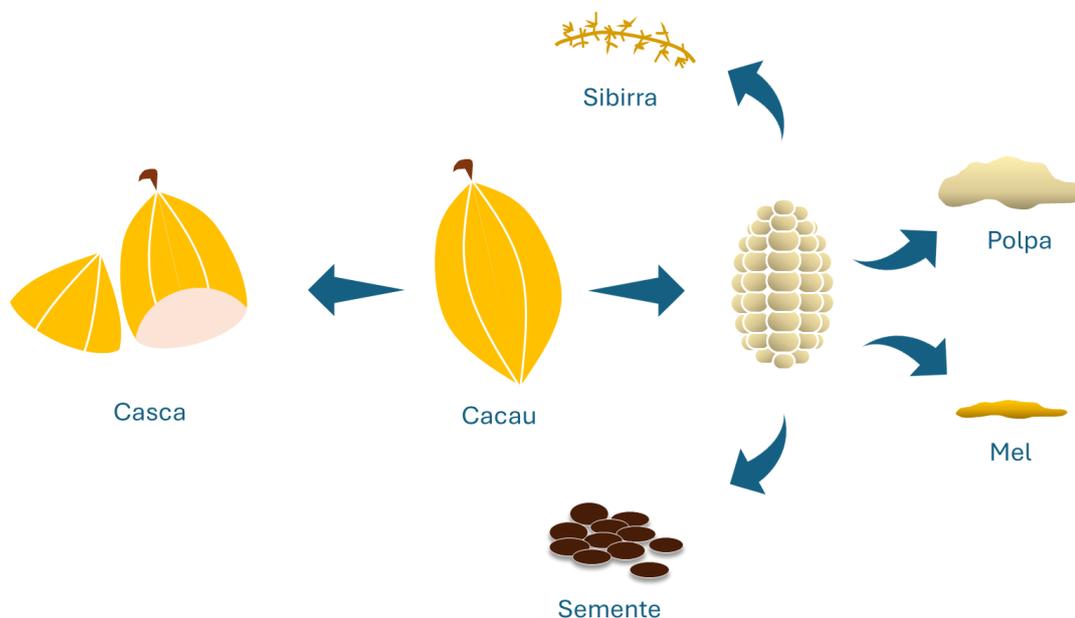


Figura 6. Representação do fruto do cacau, seu produto principal e seus coprodutos.
A autoria é própria.

A polpa e o mel obtidos podem ser congelados, gerando renda local. Estima-se que a polpa congelada possa ser comercializada a R\$ 19,96/kg e o mel de cacau, por R\$ 30/kg. Porém existem tecnologias passíveis de serem aplicadas à polpa e ao mel de cacau a fim de reduzir o teor de água no produto, que traz maior tempo de prateleira à polpa e ao mel e aumenta seu valor agregado, viabilizando inclusive sua comercialização para outros Estados brasileiros e países.

Tecnologias como a pulverização ou atomização (*spray drying*) e liofilização (*freeze drying*) são comumente aplicadas no setor alimentício e farmacêutico. Enquanto a pulverização permite a geração de gotas muito finas e evapora a água (ou outro solvente) presente por meio do aquecimento do ar de secagem, a liofilização se trata de um processo que desseca um produto congelado através de sublimação e remove grande quantidade de água sem danificar o sabor. Por conta disso, produtos liofilizados costumam ser comercializados a valores superiores. Logo, apesar da redução da umidade significativa que reduz a massa do produto final em cerca de 86%, estima-se que polpas liofilizadas de frutas oriundas do bioma Amazônico variem de R\$ 240 a 450 a tonelada, valor muito superior ao de polpas congeladas e com potencial elevado de exportação (MFRural, 2024).

Já a casca do cacau costuma ser disposta incorretamente nas plantações ou empregada diretamente para a produção de adubo e/ou ração animal. Depósitos de patente comprovam estas destinações usuais ([ID202001295](#); [ID201712574](#)) e apresentam outras oportunidades de valorização, como a fabricação de fibras dietéticas alimentícias ([US2004052910](#); [BE1027210](#)), compósitos poliméricos ([KR20240132939](#)), combustíveis ([WO20235906](#); [US2020270539](#)) e inclusive corantes ([WO16013522](#); [JP60043355](#)). A casca também é rica em compostos

antioxidantes, como polifenóis e flavonoides, que podem ajudar no combate aos radicais livres no corpo humano e reduzir o risco de doenças crônicas e também para aplicações cosméticas ([WO23238899](#)).

Estima-se também que cerca de 45% de sua massa seca seja composta por pectina, um polímero amplamente utilizado como gelificantes e estabilizante nos segmentos alimentício, farmacêutico e cosmético ([EP3613297](#); [US2010247582](#)). Tendo em vista o rendimento de extração de pectina, estima-se que seja viável extrair por volta de 19% em massa de pectina do cacau seco (Krishna e Chandrasekara, 2013; Mordor Intelligence, 2024).

Por sua vez, a sibirra pode ser destinada à produção de doces e/ou liofilizada, assim como a polpa e o mel de cacau. Devido ao seu elevado teor de pectina, pode também ser destinada à extração de pectina. Devido à sua elevada perecibilidade, poucos estudos foram identificados para a valorização da sibirra.

3. Estudo de Caso

O Instituto SENAI de Inovação em Biossintéticos e Fibras (ISI B&F), com o apoio do Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia do SENAI (SENAI CIMATEC) e da cooperativa COOPRUCAPEFI, desenvolveu um estudo preliminar da viabilidade técnico-econômica de uma microbiorrefinaria de cacau, com o objetivo de impulsionar iniciativas de valorização da biodiversidade brasileira conciliada ao desenvolvimento tecnológico e geração de renda para pequenos produtores por meio de soluções modulares de pequena escala que geram produtos de alto valor agregado, ao mesmo tempo em que apresentam fácil transporte e operação.

Será empregado como estudo de caso uma cooperativa capaz de processar aproximadamente 1.000 toneladas de fruto de cacau por ano e produz 100 toneladas de amêndoa fermentada e seca. A análise preliminar é baseada em uma metodologia robusta desenvolvida pelo ISI B&F para estudos de viabilidade técnico-econômica em empreendimentos industriais. Nesta avaliação, considerou-se uma configuração de microbiorrefinaria modular para valorização da biomassa de cacau, na qual cada módulo (contido em um contêiner) realiza a extração de produtos de diferentes componentes do fruto de cacau, conforme detalhado na Figura 7.

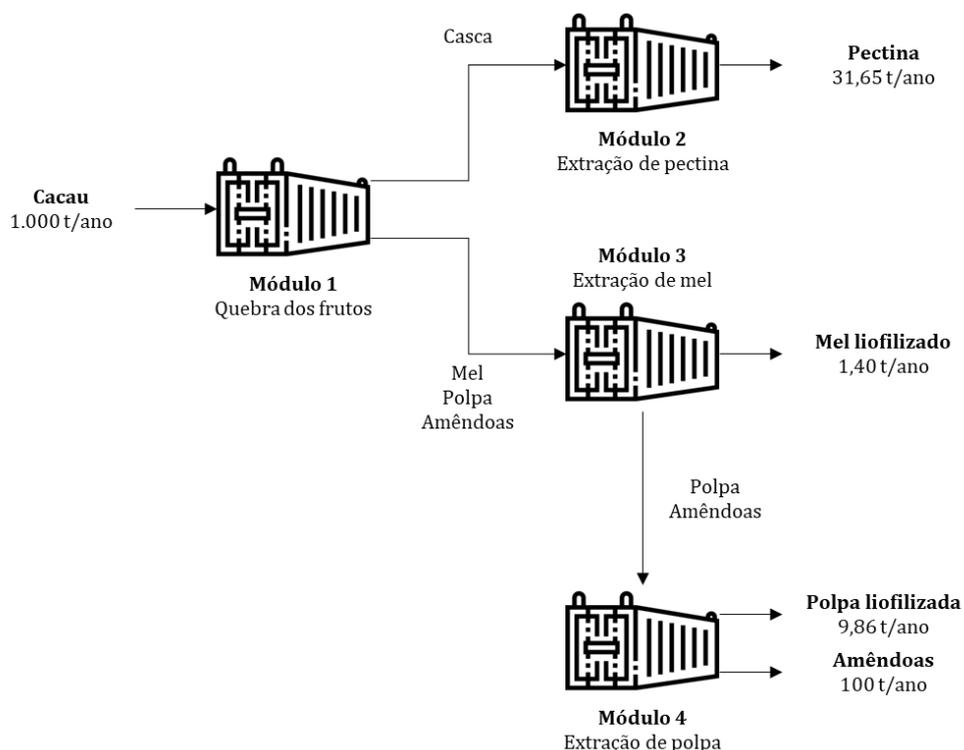
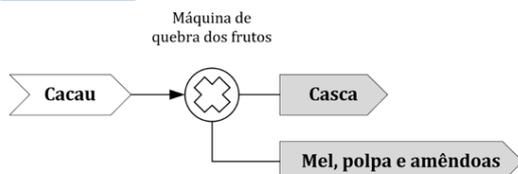


Figura 7. Configuração da microbiorrefinaria de cacau.
Autoria própria.

No Módulo 1, o fruto higienizado do cacau é quebrado de forma mecânica a fim de viabilizar a separação da casca do seu conteúdo, formado por sementes recobertas por mel e polpa. A casca é destinada ao Módulo 2, que permite a extração de pectina com refluxo de solução tampão e precipitação com etanol. Estes módulos estão ilustrados na Figura 8.

Módulo 1



Módulo 2

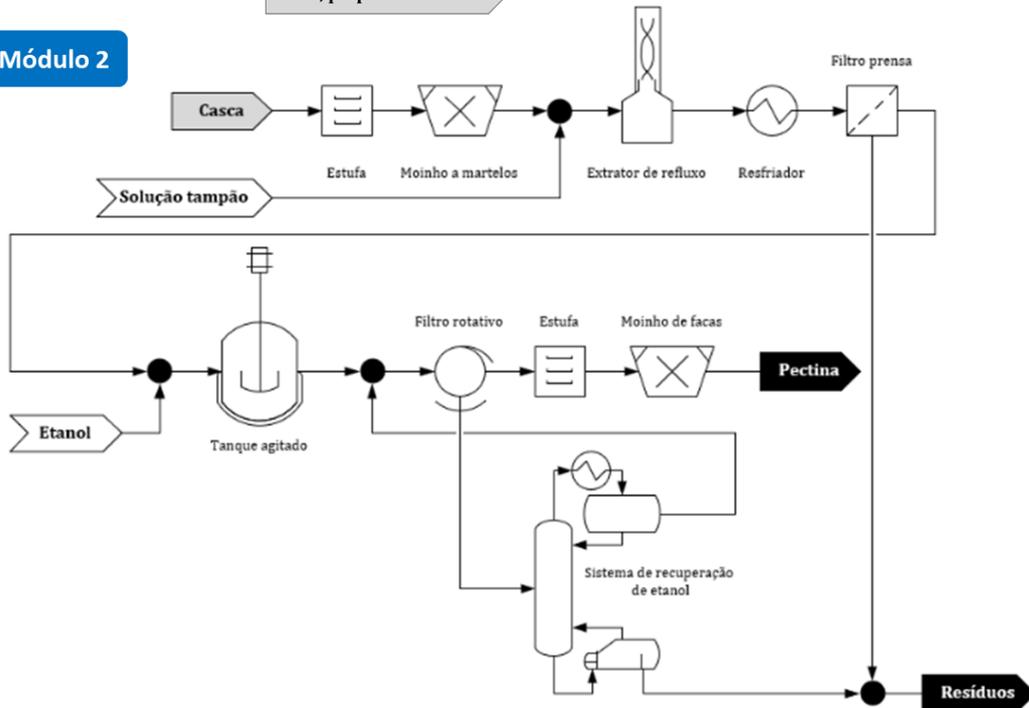
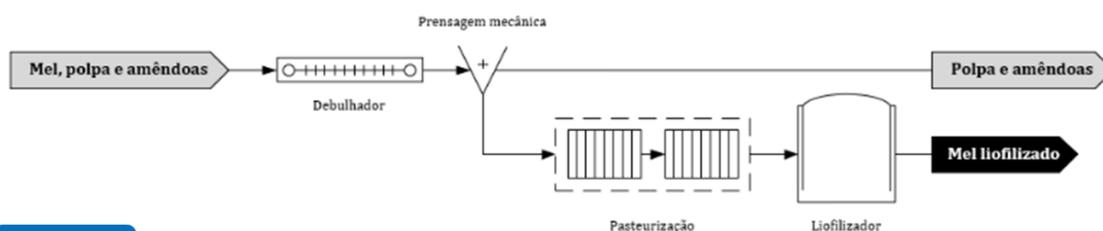


Figura 8. Microbiorrefinaria: detalhamento dos módulos 1 e 2.
Autoria própria.

Por sua vez, a mistura de polpa, mel e amêndoas são destinados ao Módulo 3, que efetua a extração mecânica e liofilização do mel de cacau presente na polpa. Com o mel extraído, as sementes recobertas pela polpa passam pelo Modulo 4, onde ocorre o processo de extração enzimática e liofilização da polpa de cacau para separação da mesma das sementes, que podem ser fermentadas e secas para produção de amêndoas.

Módulo 3



Módulo 4

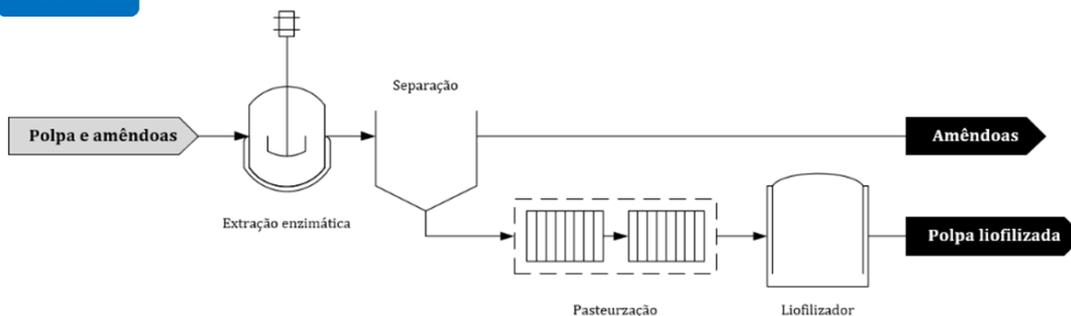


Figura 9. Microbiorrefinaria de cacau: detalhamento dos módulos 3 e 4.
Autoria própria.

A configuração da microbiorrefinaria modular com respeito às operações unitárias e o levantamento preliminar dos rendimentos nos produtos de cacau foram determinados a partir de dados técnicos da literatura científica, além de resultados experimentais de provas de conceito laboratoriais desenvolvidas pelo SENAI CIMATEC. Os custos de investimento e os custos operacionais anuais associados à operação contínua da microbiorrefinaria foram determinados conjuntamente pelo ISI B&F e pelo SENAI CIMATEC com base em custos reais dos equipamentos necessários, além de uma metodologia para estimativa de custos indiretos como adequação dos módulos e instalação de auxiliares de operação como instrumentos e tubulações.

Vale ressaltar que os módulos são independentes, que devem operar de maneira coordenada, apresenta um desafio significativo em termos de integração tecnológica, escalabilidade e reprodutibilidade, pois um dos principais objetivos é garantir que a microbiorrefinaria possa ser replicada em diferentes regiões e escalas, mantendo a eficiência e qualidade. Cada módulo será autossuficiente, com processos integrados que operem em sinergia para assegurar a eficiência e a qualidade dos produtos, minimizando os riscos de falhas na integração que poderiam criar gargalos na cadeia produtiva e comprometer o processo. Vale destacar que as construções modulares são altamente adaptáveis e podem ser rapidamente ajustadas para corrigir problemas, o que aumenta consideravelmente as chances de sucesso.

Para a análise econômico-financeira da microbiorrefinaria, verificou-se que a cooperativa produtora de cacau teria um investimento de R\$ 3,639 MM e uma adição de custos operacionais anuais de R\$ 3,699 MM/ano, com um aumento de 37,3% do lucro líquido devido à obtenção de produtos de maior valor agregado. O período de retorno do investimento neste cenário é menor do que 1 ano, demonstrando o potencial da configuração proposta em aumentar a geração de renda a curto prazo.

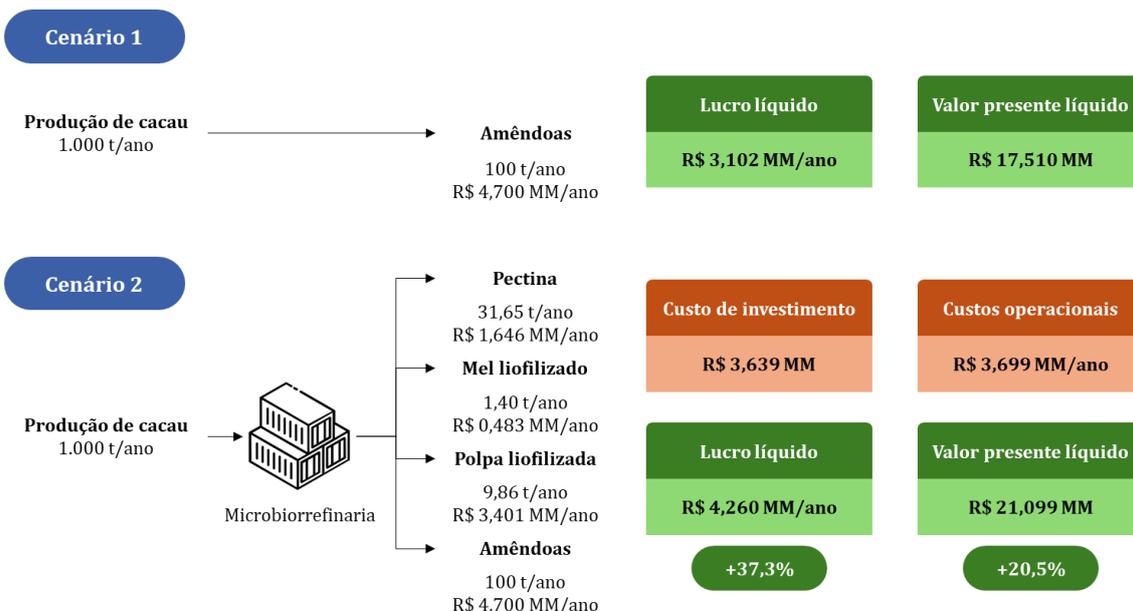


Figura 10. Comparação de cenários de desempenho econômico da biorrefinaria da cadeia de cacau. Autoria própria.

Por fim, reitera-se que a análise em questão consiste em um levantamento **preliminar** com apoio do SENAI CIMATEC e da COOPRUCAPEFI, além de dados da literatura técnico-científica e de informações públicas. Assim sendo, é importante enfatizar a **necessidade de estudos futuros mais aprofundados** para consolidar as principais premissas deste estudo. A seguir, são listados os próximos passos necessários para detalhamento da viabilidade técnico-econômica da microbiorrefinaria de cacau e construção de uma unidade piloto.

- Execução de **prova de conceito em escala laboratorial** (pelo ISI B&F e pelo SENAI CIMATEC) para validação dos rendimentos reportados na literatura;
- **Otimização de processo em escala laboratorial** para obtenção de condições operacionais que maximizem a geração de produtos a partir do cacau e minimizem custos com insumos químicos no processo (e.g., solventes e agentes precipitantes);
- Escalonamento para determinação dos equipamentos e etapas para operação do processo em escala comercial;
- **Consolidação dos fluxogramas de processo** a partir dos resultados de otimização e escalonamento;
- Obtenção dos **balanços de massa e energia** da microbiorrefinaria auxiliada por simulação computacional para determinar de maneira mais assertiva os parâmetros de processo (i.e., consumo de insumos, energia elétrica e utilidades químicas, bem como rendimentos para formação dos produtos);
- **Projeto conceitual** de planta piloto para consolidar a configuração dos equipamentos da microbiorrefinaria em seus módulos, bem como suas dimensões;
- **Projeto básico de engenharia** para detalhamento da microbiorrefinaria e de seus custos de investimento;
- **Construção e operação** de planta piloto com base nas etapas anteriores e no projeto básico;

- **Consolidação do estudo de viabilidade técnico-econômica** ao longo das etapas supracitadas e avaliação final a partir dos resultados de operação da planta piloto.

Com isso, a presente nota demonstra a viabilidade preliminar de implantação de uma microbiorrefinaria capaz de transformar produtos e coprodutos da cadeia do cacau, tradicionalmente subutilizados, em produtos de alto valor agregado através do emprego e tecnologias já consolidadas e sustentáveis para aprimorar a conservação, transporte e comercialização dos coprodutos do cacau. A geração de um novo portfólio de produtos permite que cooperativas e pequenos produtores capacitados atinjam novos mercados nacionais e internacionais, aumentando da receita bruta e contribuindo para a manutenção da floresta em pé. A plantação de novos cacauzeiros em SAFs também tem o potencial de recuperação de áreas degradadas, trazendo diversos benefícios para a biodiversidade do bioma Amazônico e reduzindo a pegada de carbono da cadeia do cacau.

Além disso, microbiorrefinarias em container podem ser modulares e multipropósito. Com isso, podem ser deslocadas facilmente a outras localidades e, através de pequenas adaptações, seria possível sua aplicação para o fortalecimento de outras cadeias como as do bioma Amazônico e/ou em outras localidades.

4. Referências

- BRAGA, D.P.P.; GANDARA, F.B.; GONÇALVES, E.T. NACHTERGAELE, M.F., 2022. Sistemas agroflorestais com cacau: conceitos e motivações. Volume 1 - Piracicaba, SP: Imaflora®, 2022. 28 p.
- BRAINER, 2021. Caderno Setorial do Banco do Nordeste - produção de cacau: Crescer é preciso! Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE, Ano 6, nº 199, Dezembro, 2021.
- COHEN, et. al., 2003. Embrapa. *Processamento Tecnológico das Amêndoas de Cacau e de Cupuaçu*. Belém, PA, p 39.
- CNN Brasil, 2023. Cargill inaugura fábrica de pectina no Brasil, a primeira fora da Europa. < [Cargill inaugura fábrica de pectina no Brasil, a primeira fora da Europa | CNN Brasil](#)>, Acesso em: 19/08/2024.
- EMBRAPA Agroenergia, 2024. Biorrefinarias. Disponível em: < [biorrefinariamodificadoweb.pdf \(embrapa.br\)](#)>. Acesso em: 18/09/2024.
- ICCO, 2024. International Cocoa Organization. Disponível em: < <https://www.icco.org/statistics/>>, Acesso em: 14/09/2024.
- KRISHNA, J. I. G.; CHANDRASEKARAN, M., 2013. Biochemical and nutritional aspects of food processing by-products. In: Valorization of Food Processing By-Products. CRC Press, p. 167.
- Mordor Intelligence, 2024. Pectin Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029). Disponível em: < <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/pectin-market>>, Acesso em: 19/08/2024.
- MFRural, 2024. Açaí Liofilizado. Disponível em: < [Acai Liofilizado | Preço Venda Compra - MF Rural](#)>, Acesso em: 19/08/2024.
- Rodrigues, R; Pires; A. K. (2004). EMBRAPA - Processamento Tecnológico das Amêndoas de Cacau e de Cupuaçu. , Acesso em: 18 de julho de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/406024/1/OrientalDoc178.PDF>
- SENAR (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural). Cacau: produção, manejo e colheita / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – Brasília: Senar, 2018. 145 p; il. 21 cm (Coleção Senar, 215), ISBN: 978-85-7664-197-1
- Souza, C. A. S., Dias, L. A. S. & Aguilar, M. A. G. Importância econômica e social. In Cacau: do plantio à colheita (Editora UFV, MG, 2016).
- Venturieri, A. , Oliveira, R. , Igawa, T. , Fernandes, K. , Adami, M. , Júnior, M. , Almeida, C. , Silva, L. , Cabral, A. , Pinto, J. , Menezes, A. and Sampaio, S. (2022) The Sustainable Expansion of the Cocoa Crop in the State of Pará and Its Contribution to Altered Areas Recovery and Fire Reduction. *Journal of Geographic Information System*, 14, 294-313. doi: 10.4236/jgis.2022.143016.