

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



A nova cadeia produtiva da macaúba para bioprodutos e descarbonização



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroenergia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 46

A nova cadeia produtiva da macaúba para bioprodutos e descarbonização

Simone Palma Fávaro
José Dilcio Rocha

Embrapa Agroenergia
Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº
Ed. Embrapa Agroenergia
Caixa Postal 40315
CEP 70770-901, Brasília, DF
Fone: +55 (61) 3448-1581
Fax: +55 (61) 3448-1589
www.embrapa.br/agroenergia
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações (CLP)

Presidente
Patricia Verardi Abdelnur

Secretária-executiva
Lorena Costa Garcia Calsing

Membros
Alexandre Nunes Cardoso
Betulia de Moraes Souto
João Ricardo Moreira de Almeida
Leonardo Fonseca Valadares
Melissa Braga
Patricia Abrao de Oliveira Molinari
Priscila Seixas Sabaini

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Márcia Maria Pereira de Souza (CRB-1/1441)
Rejane Maria de Oliveira Cechinel Darós (CRB-1/2913)

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Capa e editoração eletrônica
Júlio César da Silva Delfino

Foto da capa
Simone Palma Fávaro

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Fávaro, Simone Palma.

A nova cadeia produtiva da macaúba para bioprodutos e descarbonização / Simone Palma Fávaro, José Dilcio Rocha. – Brasília, DF : Embrapa Agroenergia, 2022.

PDF (31 p.) : il. color – (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-4439 ; 46).

1. Acrocomia aculeata. 2. Crédito de descarbonização. 3. Óleo vegetal. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 633.85

Rejane Maria de Oliveira Cechinel Darós (CRB-1/2913)

© 2022 Embrapa

Autores

Simone Palma Fávaro

Agrônoma, doutora em Ciências de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Agroenergia, simone.favaro@embrapa.br

José Dilcio Rocha

Engenheiro químico, doutor em Engenharia Mecânica, pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Agradecimentos

Agradecemos ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento pelo apoio financeiro por meio do projeto CNPq 400092/2020-4.

Apresentação

Uma parceria entre a Embrapa Territorial e a Embrapa Agroenergia, duas Unidades temáticas da Embrapa, organiza e sintetiza os principais avanços no cultivo da macaúba no Brasil. Os resultados são apresentados nesta publicação, que tem o objetivo de informar aos interessados sobre o estado da arte dessa cultura inovadora, de uma planta muito antiga na vida do brasileiro.

A domesticação da macaúba conta com um enorme esforço de muitos grupos de pesquisas e desenvolvimento, tanto na Embrapa como em universidades brasileiras, de institutos de pesquisas e empresas privadas, incluindo startups, as agritechs. Os públicos-alvo são principalmente investidores, empresas agrícolas, agricultores familiares e o público em geral.

O desenvolvimento de uma nova cadeia produtiva da macaúba trará ao País uma fonte eficiente de óleo vegetal com altas produtividades e baseada em espécie nativa, além da produção de biomassa celulósica e ração. A aplicação de métodos, técnicas e procedimentos que viabilizam o cultivo da macaúba no Brasil e em outros países da região, ou até mesmo em locais não habitados ainda pela macaúba, está relacionada à sua dormência e à taxa de germinação. Essas duas variáveis eram os obstáculos ao melhoramento e à produção de mudas em larga escala para viabilizar os plantios comerciais, e agora não são mais empecilhos.

Nesse novo contexto se insere esta publicação ao oferecer para a sociedade um guia dos caminhos trilhados pela macaúba historicamente e agora de forma cientificamente comprovada. Um paralelo é traçado entre os prós e os contras da macaúba, comparativamente com a palma de óleo, como forma de auxiliar os leitores a entenderem que ambas as culturas perenes têm o seu lugar na agricultura tropical sustentável, tanto para o pequeno como para o grande agricultor, nas mais diversas formas de consórcios com culturas de ciclo curto ou com a pecuária.

Este trabalho contribui para o cumprimento dos Objetivos Estratégicos número 7 e 15, metas 7.a e 15.a, porque o reflorestamento com uma espécie nativa como a Macaúba, que ocorre em vários biomas brasileiros em regime de consórcio com a pecuária carbono neutro e o uso do óleo vegetal para a produção de biocombustível de aviação, irá conservar os recursos naturais e promover as comunidades envolvidas nessa nova cadeia produtiva.

Boa leitura!

Alexandre Alonso Alves
Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia

Sumário

Introdução	11
A macaúba	14
Processamento da macaúba e comparação com a palma de óleo	15
Empresas que trabalham com a cadeia produtiva da macaúba no Brasil	18
A macaúba no Paraguai	19
As geotecnologias e a exploração da macaúba nativa e plantada	20
Mercado potencial para combustível de aviação sustentável	22
Perspectivas para expansão da macaúba no território brasileiro	24
Macaúba e palma de óleo: uma comparação	26
Considerações finais	28
Referências	29

Introdução

A concretização da cultura da macaúba como uma nova cadeia produtiva do agronegócio brasileiro está em curso para atender a bioeconomia de baixo carbono, de inclusão social e de alta rentabilidade. Como uma única planta poderia atender a tantos objetivos? Justamente, esse estudo prospectivo propõe-se a contribuir com elementos para responder a essa questão e alimentar o debate na busca por soluções inteligentes para os desafios postos à humanidade.

A macaúba é uma palmeira encontrada naturalmente no território brasileiro e em outros países da América tropical. A grande discussão mundial nos anos mais recentes tem sido sobre como não devastar o ambiente natural e ao mesmo tempo promover o desenvolvimento e a produção mais limpa. E é, acertadamente, neste cenário que a macaúba surge como uma ferramenta estratégica para compor as inúmeras ações que precisam ser realizadas para perenizar uma vida de qualidade em harmonia com os recursos naturais.

Essa palmeira é uma joia em lapidação. Ela produz óleos (tem óleo na polpa e na amêndoa), proteínas, energia, biocombustíveis, não tem nenhuma toxicidade, sendo alimento de alta qualidade para animais e humanos, se presta muito bem para ser cultivada em sistemas mais complexos onde se colocam lavouras, árvores e até animais no mesmo lugar, ajuda na recuperação de áreas degradadas, inclusive na restauração de nascentes, e dos resíduos da extração dos óleos pode-se fazer até produto para tratamento da água e da pele. O aproveitamento integral e de alto valor agregado da macaúba e seus coprodutos ainda está no nascedouro. Com criatividade, conhecimento e investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, certamente surgirão alternativas inovadoras.

Os óleos ainda são os produtos de maior destaque da macaúba, não só pela quantidade em que são produzidos, mas também por suas qualidades. A soja é a segunda principal fonte de óleo vegetal no mundo. Em primeiro lugar e bem à frente está uma palmeira originária do continente africano, que no Brasil é conhecida por palma de óleo, palma africana ou dendê (*Elaeis guineenses*). A palma de óleo fornece em torno de 45% do óleo vegetal que o planeta consome. A soja contribui com 28% do total produzido. A palma de óleo é a maior cultura perene global, com cerca de 18 milhões de hectares plantados (Ritchie; Roser, 2021). Não é sem motivos que tem toda essa importância, afinal ela detém a mais alta produtividade em termos de massa de óleo produzida por área anualmente entre todas as fontes dessa *commodity*, produzindo de 3 a 5 t.ha⁻¹.ano⁻¹. A principal região produtora de palma de óleo são áreas de floresta tropical úmida, sobretudo nos países do sudoeste asiático (Indonésia, Malásia e Tailândia). No Brasil, apenas cerca de 500 mil ha são cultivados na região amazônica e no Recôncavo Baiano.

No quesito de rendimento de óleo, há perspectivas muito promissoras para a macaúba, podendo até mesmo superar a produtividade da palma de óleo. Mas para isso será necessário, em um primeiro momento, implantar cultivos baseados em plantas selecionadas e, num futuro próximo, naquelas oriundas de programas de melhoramento genético. As plantas de ocorrência natural apresentam muita variabilidade, tanto nas características do fruto quanto no seu rendimento. Portanto, a propagação da macaúba para cultivos comerciais tem que ser pautada em bons materiais para garantir uma média de produção satisfatória. Além, é claro, de seguir as boas práticas agrícolas. As vantagens da macaúba não param por aí. No que diz respeito a terras aptas ao cultivo da macaúba, ela tem outra enorme vantagem territorial em relação à palma de óleo. Por necessitar de menos água do que a palma de óleo, a macaúba encontra condições aptas para seu cultivo em quase todo o território nacional, pois não necessita de tanta água quanto a palma de óleo.

Assim, de largada, a macaúba já ganha essa vantagem de não ser um produto restrito às florestas tropicais úmidas, ou seja, a região amazônica é uma opção e não uma obrigação para o plantio bem-sucedido da macaúba. Outras diferenças entre macaúba e palma de óleo serão abordadas no decorrer do texto.

Mas será que há espaço para a macaúba competir com a palma de óleo? Talvez não seja competir, mas somar. As demandas crescentes por óleos vegetais, a fragilidade da dependência de poucas fontes e o imperativo de modelos produtivos baseados em agricultura regenerativa abrem muitas oportunidades para a macaúba. Uma das molas propulsoras que viabilizarão a domesticação plena da macaúba é o mercado de biocombustíveis, como o diesel verde, o combustível de aviação sustentável, bioquerosene de aviação (bioQAV) e também a produção de hidrogênio. Os segmentos de alimentos e produtos de beleza e higiene também absorvem cada dia mais óleos vegetais. As empresas que adquirem esses insumos atualmente não compram apenas o produto em si, mas sim todo um pacote que envolve a pegada de carbono e todas as conformidades ambientais e sociais associadas à sua produção e logística. A macaúba tem muito a contribuir para este formato de negócios que levará a agroindústria brasileira a um novo patamar de renda e sustentabilidade.

Para se alcançar este status de cultura com expressividade na balança comercial brasileira, a macaúba ainda requer que alguns obstáculos sejam destravados. O principal é confirmar o sucesso dos empreendimentos que já se iniciaram em larga escala e, assim, abrir caminho para que mais empresários embarquem no negócio. Em paralelo, a exploração imediata e coordenada dos inúmeros maciços naturais, dispersos no País, disponibiliza frutos em quantidade para se iniciar o processo de industrialização e traz consigo a possibilidade de um extenso programa de inclusão de agricultores familiares, com destaque para a atuação das mulheres, que geralmente são as agentes do agroextrativismo. Outro ponto muito importante está relacionado à conservação da biodiversidade, já que os agroextrativistas são fundamentais na manutenção da paisagem natural, e, portanto, freiam em boa medida a erosão genética.

A descrição do estado da arte do desenvolvimento da nova cadeia produtiva da macaúba e o uso de ferramentas de espacialização que podem levar a macaúba do extrativismo puro à expansão para cultivos baseados em técnicas de alta produtividade são pontes para alavancar o desenvolvimento em larga escala. O mercado potencial para o desenvolvimento do cultivo e da transformação do óleo da macaúba está associado primeiramente a empresas do setor de produção de óleos vegetais, que pretendem investir no processamento da macaúba e na comercialização dos seus produtos. Nesse segmento, as empresas podem se aproveitar desse estudo prospectivo para auxiliar na construção de arranjos produtivos locais baseados na manutenção das áreas nativas, incorporação no sistema produtivo de famílias extrativistas e na agregação de valor aos coprodutos. Esses arranjos conferem aspectos de sustentabilidade ambiental, social e econômica, que são metas na busca do atendimento das demandas atuais para a comercialização de óleos vegetais e de outros bioprodutos.

Dentro desse novo negócio da macaúba há mais um conjunto de benefícios aos produtores, que não se pode negligenciar. Tratam-se dos chamados pagamentos de serviços ambientais (PSA), para os quais a remuneração está se tornando uma realidade importante para o produtor rural, independentemente do tamanho da propriedade. Esses serviços incluem recuperação de áreas degradadas, manutenção de florestas em pé e nascentes e sistemas agroflorestais com a produção de produtos não madeiráveis para áreas de proteção ambiental. A macaúba atende todos esses serviços.

O setor público é outro agente de interesse na expansão da cultura da macaúba, para a qual uma série de políticas públicas já existentes podem ser aplicadas. Podem ser citados o programa de preço mínimo de produtos da sociobiodiversidade (PGPMbio); o Selo Combustível Social para a aquisição de matéria-prima da agricultura familiar para produção de biodiesel; e o RenovaBio que é um instrumento para assegurar a inserção de biocombustíveis na matriz energética brasileira em paralelo à descarbonização do setor. Na verdade, essas políticas já estão fortemente aderidas à inserção da macaúba na matriz do agronegócio brasileiro e são importantes referendos do Estado para valorizar esses nichos de produção e de mercado.

O conjunto de práticas com menor pegada ambiental e valorização de pequenos agricultores e extrativistas desperta o interesse de empresas ligadas ao comércio de serviços ambientais e de certificações de produtos, para o uso de geotecnologias no mapeamento de maciços de macaúba e identificação dos melhores locais para instalação de unidades fabris.

Outro setor que tem interesse em georreferenciamento de maciços de macaúba são as instituições públicas e privadas ligadas ao monitoramento ambiental. Como exemplo, pode-se citar a plataforma STARLING da AirBus para o monitoramento de desmatamento para dar lugar à produção de palma de óleo em áreas do sudoeste asiático (AirBus, 2021). Esta plataforma foi desenvolvida para uma grande empresa do setor de alimentação que desejava associar seus produtos ao uso de insumos sustentáveis e achou nas ferramentas de geotecnologias grande utilidade e praticidade. Além disso, empresas ligadas ao setor de produção de material de propagação, que dependem intimamente da base genética da espécie para o desenvolvimento de materiais com melhor desempenho e adaptabilidade a regiões específicas, podem se beneficiar grandemente de ferramentas da agricultura 4.0. Plataformas georreferenciadas são um recurso estratégico para se estabelecer locais de coleta e avaliação de desempenho de genótipos.

As empresas que pretendem fazer o cultivo de macaúba em larga escala também dependerão do chamado Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) para estabelecer os locais adequados de produção. Esse instrumento qualifica as áreas aptas ao cultivo para cada espécie com base em dados de fisiologia da planta e de características edafoclimáticas sistematizadas em bases de dados georreferenciadas, de maneira a reduzir o risco de um empreendimento agrícola ser malsucedido por causa da interação planta-ambiente. O Zarc é usado no sistema bancário para a gestão de riscos dos programas de seguro rural. Também influencia na concessão de crédito agrícola, já que o atendimento ao Zarc diminui as chances de uma frustração do empreendimento e, dessa forma, as negociações ficam baseadas em dados mais realísticos. Outro benefício do Zarc é que todo o arcabouço de monitoramento para efeito de avaliação de frustração de safra tem levado ao fomento à inovação de tecnologias que melhoram o desempenho das culturas. Além de servir de referência para o sistema bancário, o Zarc é uma ferramenta essencial na tomada de decisão mesmo por investidores que não dependerão desses recursos. Como a macaúba ainda está nos estágios iniciais de cultivo e há poucos dados de áreas experimentais em plena produção, o mapeamento detalhado de áreas de ocorrência natural será extremamente importante no processo de construção do Zarc, uma vez que é a referência primária das áreas que poderão ser consideradas adequadas ao cultivo, considerando a diversidade fenotípica e genética da espécie. O Zarc da macaúba está sendo desenvolvido pela equipe da Embrapa.

Na fase industrial a macaúba demanda o desenvolvimento de processos de extração de óleo adequados às características próprias do fruto. Os processos convencionais têm levado à obtenção de óleos, sobretudo da polpa, com qualidade muito baixa que não os qualifica para mercados de alta remuneração. Certamente, essas questões serão equacionadas com o desenvolvimento multidisciplinar para se tirar o máximo da qualidade natural dos produtos e coprodutos.

A macaúba

A macaúba é uma palmeira nativa das zonas tropicais e subtropicais do continente americano, desde o México (latitude 20°N), passando pela América Central e pelo Caribe até Paraguai (23°S), Bolívia e Argentina. No Brasil, é encontrada nos biomas Cerrado, Mata Atlântica, Amazônico, Pantanal e na região do semiárido. Há grande variabilidade fenotípica e genotípica no que se denomina comumente como macaúba. De maneira geral, classifica-se como sendo a espécie *Acrocomia aculeata*, incluindo-se os ecotipos *totali*, com maior presença no Pantanal e suas bordas, *esclerocarpa*, predominante no estado de Minas Gerais e no Brasil Central, e *intumescens*, com ocorrência em zonas de semiárido e zona da mata do Nordeste brasileiro (Carvalho, 2008).

Na forma artesanal com pequenos produtores, a macaúba é usada para diversas aplicações em todos os países de ocorrência natural. No âmbito industrial, há um largo espectro de usos já existentes e outros potenciais que envolvem indústrias de alimentos, de cosméticos, de fármacos, oleoquímicos e de biocombustíveis. A Figura 1 mostra todas as partes do coco da macaúba e suas aplicações, conforme o Portal Macaúba, 2018¹.

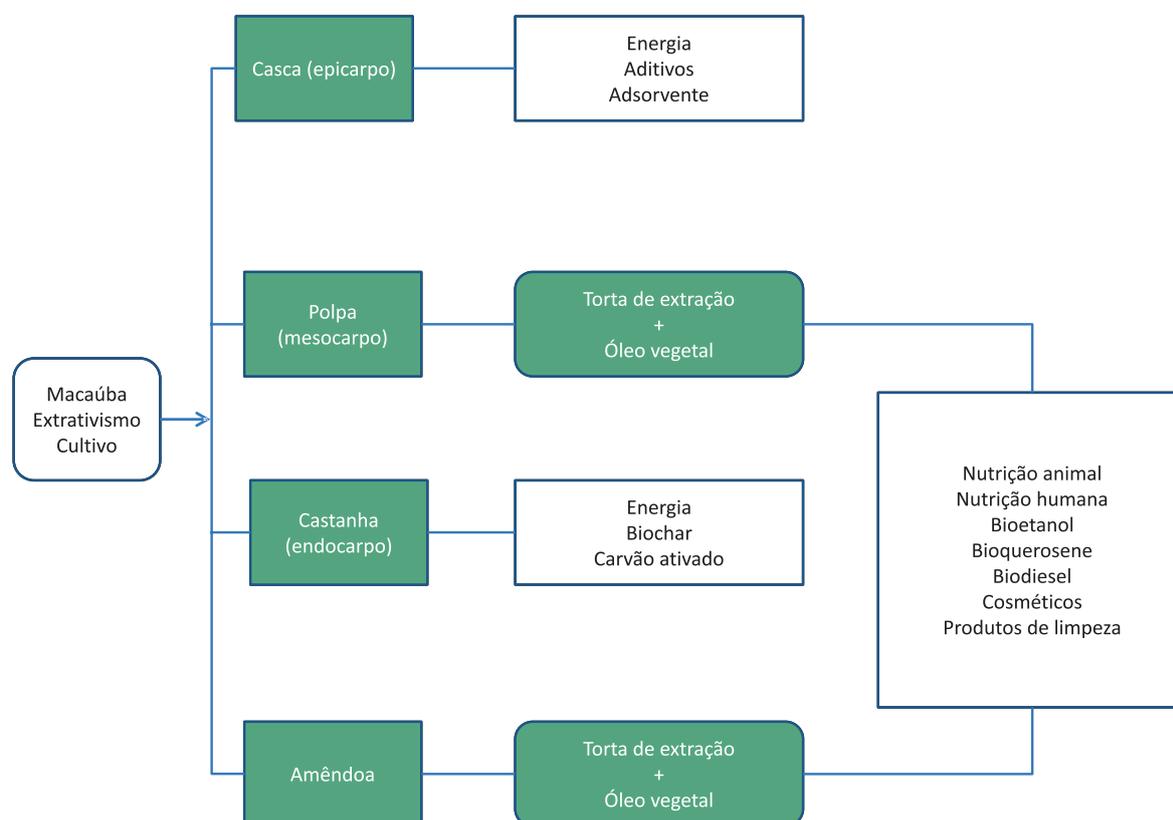


Figura 1. Partes do coco da macaúba e suas aplicações.

Os principais produtos são os óleos de polpa e de amêndoa, cujas composições químicas são bastante distintas e, portanto, encontram aplicações próprias, assim como os óleos da palma africana. O óleo da polpa serve para a produção de biodiesel e outros biocombustíveis, para o consumo humano, frituras, cosméticos e insumos químicos. O óleo da amêndoa tem usos em alimentos, cosméticos, químicos, farmacêuticos e para a síntese de bioquerosene. Os ácidos graxos mais abundantes na palma de óleo e na macaúba estão mostrados na Tabela 1. De maneira geral, o óleo de amêndoa tem a composição mais próxima entre ambas as espécies. O óleo de polpa é mais diferenciado,

¹ Disponível em: http://www.portalmacauba.com.br/2018/01/agricultores-do-norte-de-mg-criam_5.html

com tendência a maior proporção de ácido graxo saturado, principalmente o palmítico, no óleo da palma africana. No entanto, existe muita variabilidade na composição dos ácidos graxos da polpa da macaúba reportada na literatura. Por exemplo, Conceição et al. (2015) relatam valores entre 11% e 22% de ácido palmítico e de 54% a 70% de oleico em frutos de diferentes proveniências.

Processamento da macaúba e comparação com a palma de óleo

Etapas do processamento da macaúba pelo método tradicional, suas frações, balanço de massa com rendimentos, aplicações e possíveis rendas com a venda dos produtos são apresentados na Figura 2. Uma perda de 5% no processamento é considerada. Os valores em dólares americanos são de 2012 e apenas indicativos; o mercado irá regular os valores dos produtos. Alguns efluentes podem também ser produzidos durante o processamento e ser usados para a produção de biogás, por exemplo, como uma forma adicional de aproveitamento (Rural 21, 2012).

O método tradicional de extração de óleos na macaúba baseia-se na secagem dos frutos, que em geral é feita de forma natural, seguida de descascamento, despulpa, prensagem da polpa em prensa tipo *expeller*, quebra e separação do endocarpo e amêndoa, e extração do óleo de polpa também por prensagem. Nesta sequência de operações unitárias, obtém-se uma eficiência de extração ao redor de 50% a 70%, ou seja, até metade do óleo pode ficar nas tortas residuais (Fávaro et al., 2022). Além dessa operação, que precisa ser melhorada, outra etapa a ser otimizada é a da separação do endocarpo e da amêndoa. No processo tradicional é feita por meio de uma solução salina ou com caulim para mudar a densidade do endocarpo e retirar as amêndoas por flotação. Isso implica a sequência de mais duas operações: lavagem e secagem da amêndoa. Portanto, deve-se buscar um processo mecânico eficiente para essa separação.

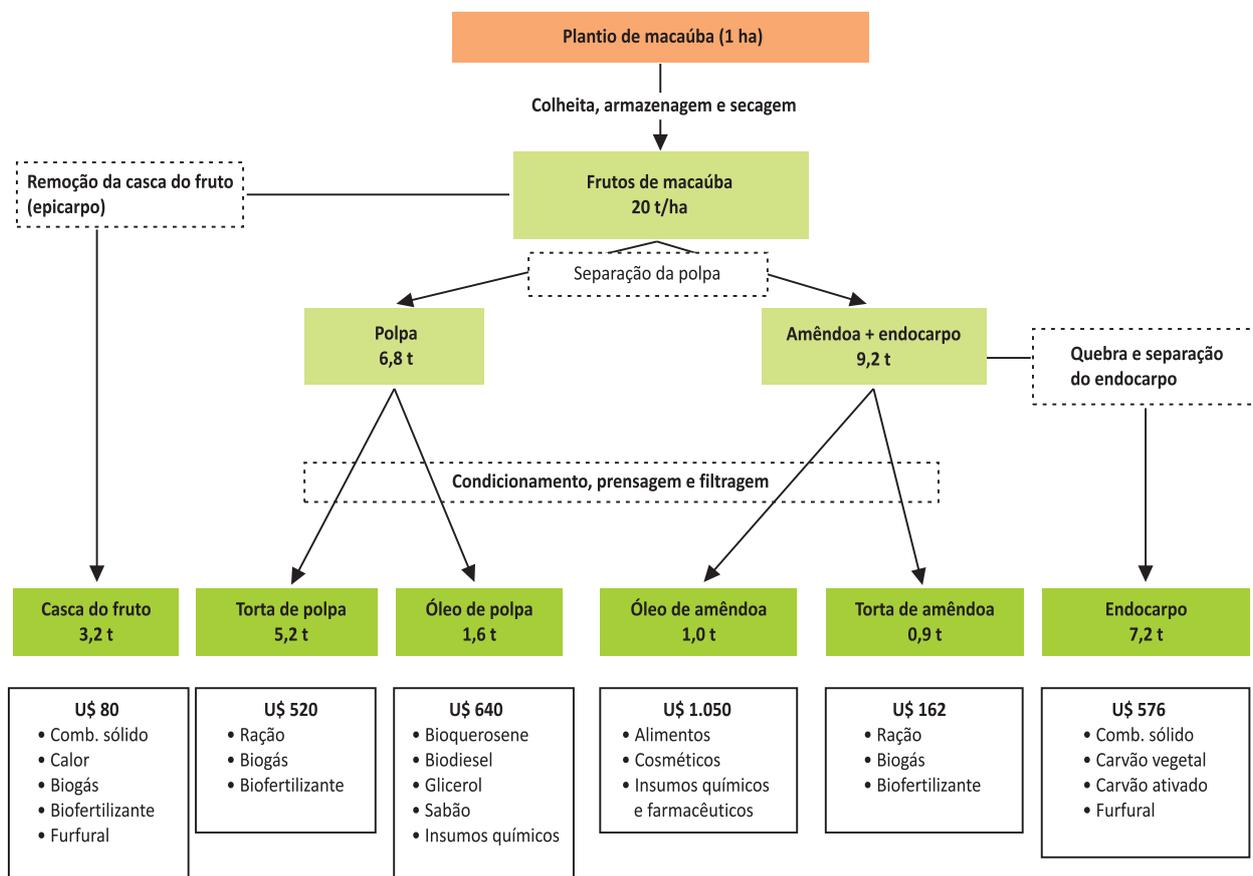


Figura 2. Balanço de massa médio e renda obtida com a venda dos produtos da macaúba. Fonte: Adaptado de Rural 21 (2012).

O desenvolvimento e a adaptação de métodos alternativos para a extração mais eficiente dos óleos da macaúba, sobretudo da polpa, que comporta de 80% a 85% de todo o óleo armazenado no fruto, são necessários para tornar essa cadeia realmente rentável. Um estudo inicial propõe a chamada extração aquosa, cujo princípio se baseia na insolubilidade do óleo em água, para obter o óleo de polpa da macaúba com maior eficiência. Nesse processo os frutos são processados frescos, sem a necessidade de secagem, fazendo-se mistura da polpa com água, e o óleo é separado por métodos mecânicos de centrifugação. Essa tecnologia conhecida como malaxação é muito usada na indústria de extração de azeite de oliva a frio (Fávaro et al., 2022). A eficiência obtida foi da ordem de 74%, e com a adição de enzimas que auxiliam na ruptura das células chegou-se a 89% (Fávaro et al., 2022), valores superiores aos obtidos na prensagem por *expeller*. A prova de conceito dessa tecnologia mostrou-se promissora para a competitividade do setor, não só pela eficiência de extração, mas também pela excelente qualidade do óleo obtido com baixa acidez e oxidação. O fato de não necessitar secar os frutos e a operação em condições brandas favoreceram a preservação da qualidade do óleo.

O processamento moderno da macaúba será mais simplificado em relação ao que se aplica na palma de óleo, em razão das diferenças de anatomia e fisiologia dos frutos. Uma diferença fundamental entre esses frutos está no fato de que, na palma de óleo, os frutos, mesmo quando maduros, não se destacam naturalmente do cacho; são denominados de frutos indeiscentes. Isso implica que o cacho inteiro é colhido e transportado para a planta industrial, e é necessária uma etapa específica para essa separação, comumente chamada de despencamento (Figura 3). Por outro lado, os frutos da macaúba são do tipo deiscentes, ou seja, ao atingir a plena maturidade se destacam do cacho. Esse comportamento dá a opção de se montar uma logística de colheita em que não se necessita fazer o corte do cacho, reduzindo de forma significativa o custo com a mão de obra dessa operação e também no processamento, por não haver a necessidade de despencamento. Essa característica também estende o tempo de vida útil da planta de macaúba, podendo ultrapassar os 40 anos. Na palma de óleo, o plantio geralmente é renovado a cada 25 anos, porque a altura da planta se torna inviável para a colheita.

Outro aspecto que diferencia e favorece grandemente a exploração da macaúba em relação à palma de óleo é a bioquímica do fruto. Nas indústrias processadoras de palma de óleo, o processamento do fruto deve acontecer em até 24 horas após a colheita do cacho, porque a lipase, enzima que faz a liberação de ácidos graxos elevando a acidez, tem alta atividade e pode deteriorar completamente a matéria-prima. Para conter a ação deletéria da lipase, além do rápido processamento dos frutos da palma de óleo, é realizada a esterilização em autoclaves. Nessa operação, o consumo energético é bastante elevado e demanda-se estrutura física de grande porte. Aqui aparece uma outra grande vantagem para a macaúba, pois o seu fruto não acidifica nessa mesma velocidade. Na verdade, estudos têm revelado o benefício em termos de ganhos quantitativos de óleo ao se armazenar os frutos da macaúba por intervalo de cinco a dez dias, em condições de boa aeração, uma vez que o acúmulo de óleo continua após a sua abscisão (separação do fruto) ou após o corte do cacho, sem que a qualidade do óleo se torne imprópria (Evaristo et al., 2016; Fávaro et al., 2018; Tilarun et al., 2019; Tilarun et al., 2022).

A Figura 4 mostra o fluxograma da nova proposta de uma planta industrial usando a extração aquosa para o óleo de polpa de macaúba, uma nova configuração. Não existe a necessidade de secagem dos frutos. A operação de malaxação ocorre com agitação lenta da massa de polpa até a sua homogeneização, provocando a coalescência das gotículas de óleo, o que auxilia a sua extração (Fávaro et al., 2022).

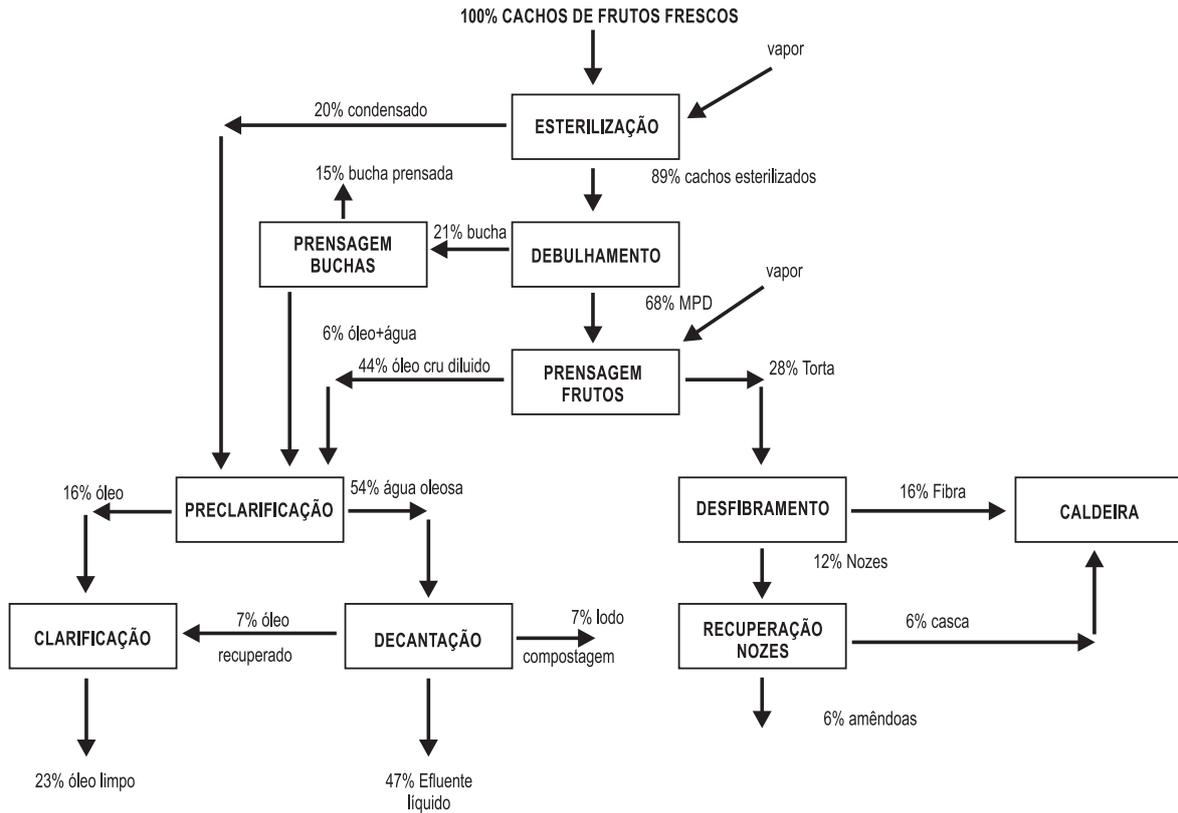


Figura 3. Processo de extração de óleo de palma (polpa e amêndoa) bruto com as principais operações unitárias e rendimentos.

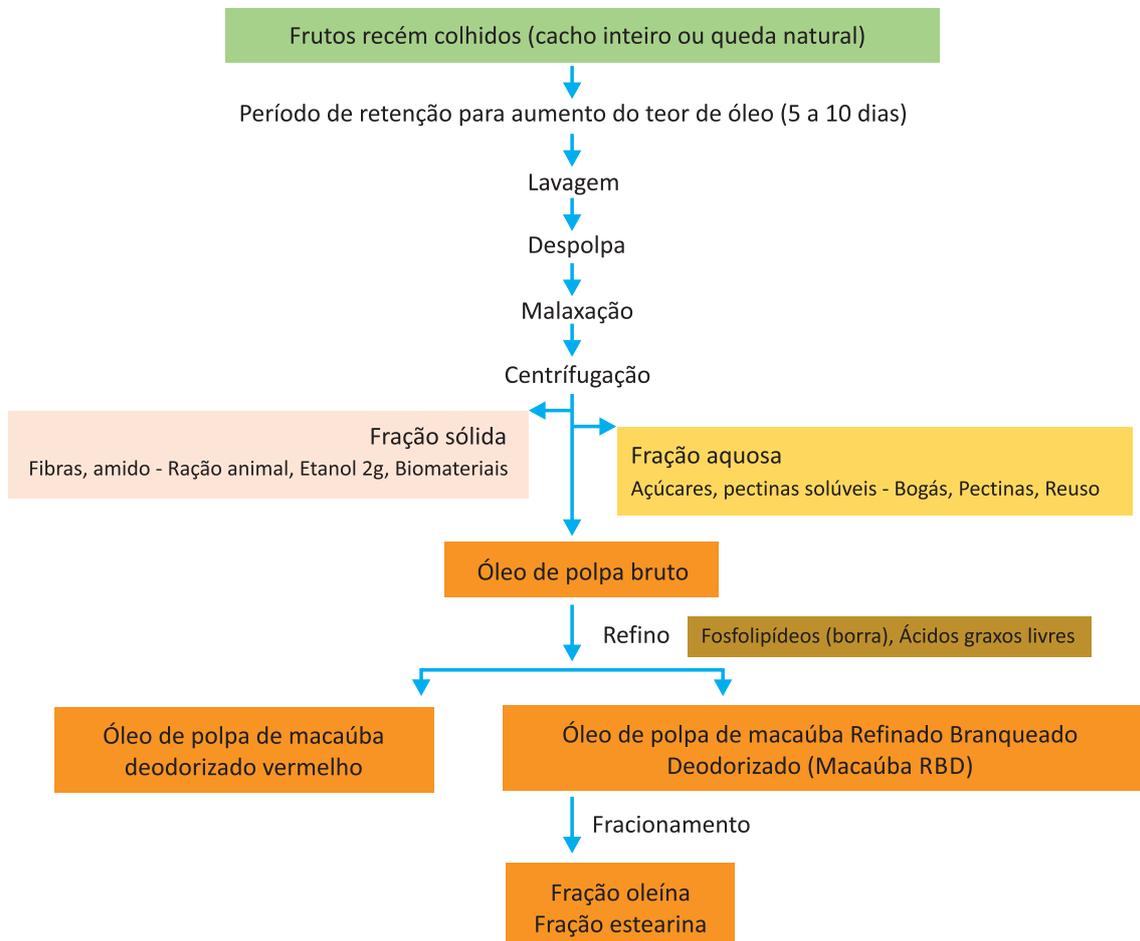


Figura 4. Fluxograma do processo de extração aquosa de óleo de polpa de macaúba.

Além do óleo de polpa, o óleo de amêndoa também poderá ser extraído por via aquosa. Nesse caso, os produtos a serem gerados englobam o extrato fluído de amêndoa ("leite de amêndoas") e a torta rica em proteínas. A fração proteica da amêndoa também é um importante ativo da cadeia da macaúba. Em termos quantitativos, a torta de amêndoa pode ser da ordem de 1 t.ha⁻¹ e conter 30% de proteína. No tocante à qualidade, as proteínas da amêndoa da macaúba apresentam boa performance nutricional. Visa-se obter dois produtos: o óleo rico em ácidos graxos de cadeia média, como principal produto, e a fração proteica (Hiane et al., 2016; Silva et al., 2021).

Por outro lado, a disponibilidade de frutos ao longo do ano é distinta entre essas palmeiras. A palma de óleo produz continuamente ao longo do ano, enquanto a macaúba produz os cachos apenas uma vez durante o ano, fazendo com que a safra fique concentrada num intervalo de três a quatro meses, geralmente iniciando-se em novembro. Dessa forma, a logística de operação de uma planta de macaúba deve considerar estratégias para sua economicidade durante o período de entressafra. Já para a palma de óleo não existe entressafra, em razão da contínua oferta de frutos, mesmo que com picos de maior produção.

Em termos de logística de processo, essas diferenças da macaúba em relação à palma de óleo poderão ter impacto expressivo nos custos de produção e processamento. Essas informações ainda precisam ser computadas e analisadas de forma detalhada para se ter valores concretos e, assim, estabelecer as devidas comparações.

Além dos principais produtos, óleo de polpa e óleo de amêndoa, a macaúba produz também quantidades expressivas de coprodutos que podem ter inúmeras finalidades e níveis de agregação de valor, conforme mostrado na Figura 2. A casca da macaúba (epicarpo) é biocombustível sólido para queima e cogeração, biodigestão para biogás, biofertilizante ou produção de furfural. O endocarpo, a parte coriácea que protege a amêndoa, também é excelente biocombustível sólido, e carbonizado resulta em carvão que pode ser ativado ou usado na agricultura ou como aditivo em ração. As chamadas tortas de polpa e de amêndoa, resultantes da extração do óleo, são ingredientes para rações animais, podendo também servir como substrato para biogás e biofertilizante via biodigestão anaeróbica. Estimativas mostram que em um hectare de macaúba pode-se produzir 20 toneladas de frutos e render até três mil dólares em produtos derivados, isso sem contabilizar o PSA e os créditos de descarbonização que podem render aos produtores (Figura 2).

Empresas que trabalham com a cadeia produtiva da macaúba no Brasil

No Brasil, especialmente no estado de Minas Gerais, já houve uma extensa exploração da macaúba que remonta ao início do século passado. No entanto, não ganhou tração suficiente para se estabelecer de forma perene (Pinto, 1932).

Embora ainda seja um desenvolvimento embrionário e emergente, essa nova cadeia produtiva da macaúba no Brasil apresenta crescimento sustentável e de grande potencial. A exploração antiga, baseada exclusivamente no extrativismo, está partindo para um novo patamar. O diagnóstico atual indica que a macaúba está finalmente entrando num ciclo virtuoso da bioeconomia, tanto pelo plantio e suas etapas agronômicas, incluindo a produção de mudas com elevada capacidade germinativa das sementes, quanto pelo seu processamento industrial. Existem vários atores atuando nas diversas etapas. A necessidade de manter os maciços naturais como fonte de material genético e como floresta natural a ser preservada sempre será um objetivo fundamental, assim como a sua exploração extrativista deverá continuar em paralelo com a produção em florestas plantadas.

Abaixo listamos algumas empresas e organizações que vêm trabalhando fortemente por uma nova cadeia produtiva da macaúba no Brasil.

1. Empresa Soleá, que originou uma startup, a S.Oleum. Em parceria com a Acrotec² e a Universidade Federal de Viçosa fundou a Rede Macaúba de Pesquisa A Remape³ é um portal que divulga os avanços científicos e tecnológicos. A S.Oleum é uma AgTech e CleanTech brasileira dedicada ao reflorestamento e à restauração de áreas degradadas e de baixa produtividade, usando sistemas agroflorestais com Integração Lavoura-Pecuária- Floresta (ILPF) integrada com macaúba e outras espécies nativas e interligada a arranjos produtivos locais (APLs) do tipo clusters bioindustriais.
2. A empresa Inocas⁴ tem a desafiadora missão de transformar a macaúba na principal fonte de óleos vegetais do mundo e, para isso, conta com uma equipe de profissionais altamente qualificados e engajados. A equipe é multidisciplinar, com habilidades destacadas nas áreas de agronomia, políticas públicas, indústria e consultoria agrícola e ambiental, disposta a utilizar suas competências para fazer avançar a cadeia produtiva da macaúba no Brasil.
3. A Acros é uma spinoff do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), com experiência de mais de onze anos nos estudos com a palmeira macaúba. Trabalha no desenvolvimento de processos e produtos desde a fase agrícola até a fase industrial da cultura da macaúba. Suas áreas de negócios são assistência técnica do plantio à colheita; tecnologia da produção de mudas de macaúba com qualidade genética e rastreabilidade em larga escala; identificação, seleção e recombinação de matrizes de genética superior para fornecimento de sementes, etc.
4. A Cooperativa de Agricultores Familiares e Agroextrativista Ambiental do Vale do Riachão Ltda. - Cooperriachão e a Associação de Pequenos Produtores Rurais de Riacho D'antas e Adjacências estão localizadas na Fazenda Santa Cruz, Comunidade de Riacho D'antas ou Riachão, município de Montes Claros, Norte de Minas Gerais. Foram fundadas em 2009. Ambas as organizações operam uma Unidade de Beneficiamento de Coco Macaúba – UBCM, para gerar renda aos pequenos produtores, e de preservação ambiental no Vale do Riachão. A Cooperriachão tem 46 cooperados e trabalha com cerca de 350 famílias extrativistas de macaúba.

A macaúba no Paraguai

O Paraguai tem um parque agroindustrial baseado na macaúba que remonta aos anos de 1930 e já teve uma produção pujante, com mais de 80 empresas operando simultaneamente em larga escala (Markley, 1956). Existem registros da produção anual desde aquela época de forma ininterrupta por várias décadas, inclusive das exportações de óleo. O principal produto desta cadeia no Paraguai é o óleo de amêndoa (Poetsch et al., 2012). Nos anos de 1970, os paraguaios traçaram um completo plano de reflorestamento, domesticação e plantios intensivos de macaúba para garantir a produção em bases previsíveis e sustentáveis. Esse plano nunca foi efetivamente implantado por causa de vários problemas na época (MacDonald, 2007). O que ocorreu, de fato, foi um declínio severo, e atualmente apenas entre seis e oito empresas ainda estão em funcionamento. Essa situação foi motivada pela redução da disponibilidade de frutos e pelo obsolescimento da tecnologia de pós-colheita e processamento.

² Disponível em: <https://www.acrotech.com.br/>

³ Disponível em: <https://www.macauba.ufv.br>

⁴ Disponível em: <https://www.inocas.com.br/>

Toda a exploração de macaúba no Paraguai é baseada no extrativismo que, com a pressão urbana e o envelhecimento das palmeiras, cada vez consegue ofertar menos matéria-prima. Por outro lado, com a falta de um parque industrial capaz de gerar produtos de qualidade competitiva, sobretudo para o óleo de polpa, o país encontra dificuldades para concorrer com o óleo de palma de origem asiática. Essas são importantes lições para a construção da nova cadeia produtiva da macaúba no Brasil (Markley, 1956; Poetsch et al., 2012).

As geotecnologias e a exploração da macaúba nativa e plantada

Os maciços de macaúba, ou seja, as ocorrências nativas de áreas com grande concentração de indivíduos dessa mesma espécie, são facilmente identificados por imagens aéreas, seja por satélites seja por drones e vants a baixas altitudes. Os futuros plantios deverão também ser monitorados por imagens espaciais, como já se faz atualmente com outras espécies, como a palma de óleo, com finalidades de rastreabilidade e controle ambiental e preservação da floresta nativa, conforme plataforma Starling (AirBus, 2021).

A pesquisa de Walter et al. (2021), usa ferramentas de geotecnologias para estudar cenários e arranjos baseados na macaúba para uso como bioquerosene de aviação. No estudo foram consideradas variáveis edafoclimáticas (solo, temperatura, pluviometria), de infraestrutura, de disponibilidade agrícola (unidades de conservação, quilombolas, indígenas), etc., para definir as áreas aptas para a exploração extrativa ou cultivada da macaúba em treze estados brasileiros. Todas as variáveis foram especializadas, e a análise conduzida resultou em mapas com indicações das áreas mais aptas à produção da macaúba, tendo como principal critério de alocação as áreas de ocorrência natural (Figuras 5 e 6). É um estudo preliminar, que ainda carece de maior volume de informações e de variáveis sobre a fisiologia da planta e das diferenças entre os ecotipos. Por exemplo, as regiões leste do Mato Grosso do Sul e oeste de São Paulo, que são fronteiriças e divididas pelo Rio Paraná, assim como o Pantanal, tanto no Mato Grosso do Sul como Mato Grosso, não foram identificadas como de alta aptidão. A região do semiárido no Cariri Cearense e a Zona da Mata nordestina, onde ocorre o ecotipo *intumescens*, também não foram contempladas. Entretanto, extensos maciços já foram observados e reportados nessas regiões. Embora não sejam exaustivos quanto às áreas de ocorrência, esses três mapas a seguir demonstram claramente que existe ampla disponibilidade de áreas aptas ao cultivo e à exploração de macaúba no Brasil, inclusive em áreas de conservação, por ser uma espécie nativa.

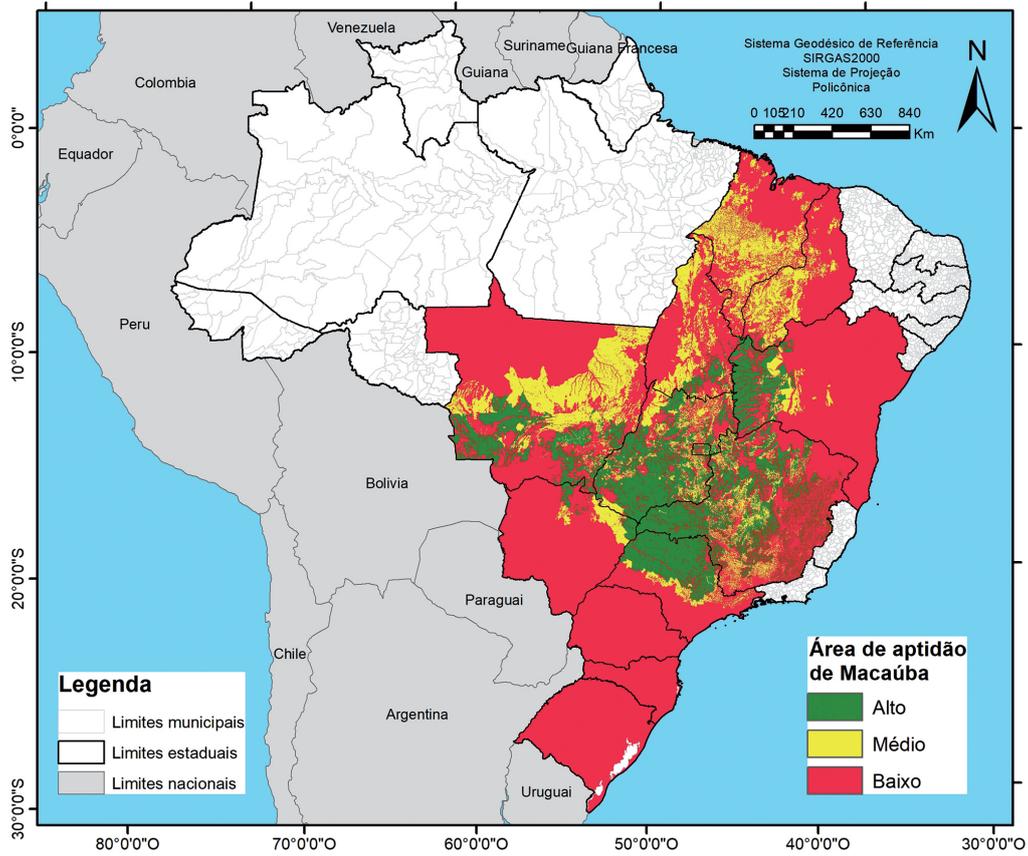


Figura 5. Áreas de aptidão para macaúba (Walter et al., 2021).

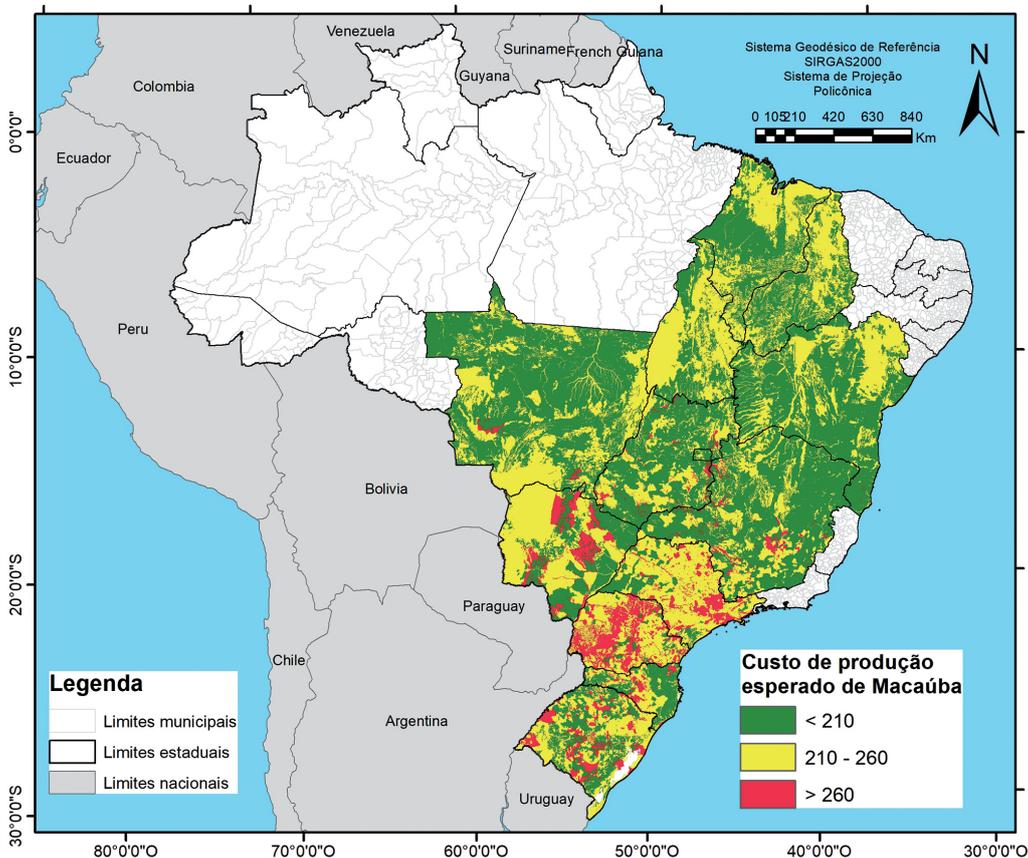


Figura 6. Custos anuais médios esperados para a produção de macaúba, em R\$ (2018) por toneladas de frutos frescos produzidos por ano (Walter et al., 2021).

Mercado potencial para combustível de aviação sustentável

No que diz respeito às tecnologias de extração e refino para uso final, ou seja, a transformação do óleo de macaúba em produtos, existem várias possibilidades de aplicação, conforme exposto na Figura 2. Possivelmente, um uso que impulsionará o grande avanço da nova cadeia produtiva da macaúba será como matéria-prima do bioquerosene de aviação ou bioQAV. Nesse caso específico, o processo é denominado combustível de aviação sustentável (da sigla em inglês SAF - *sustainable aviation fuel*). Os óleos de polpa e de amêndoa de macaúba podem ser transformados em bioquerosene via rota certificada pela associação americana de normas e padrões, a ASTM, denominada HEFA-SPK (do inglês *hydro-processed esters and fatty acids - synthesized paraffinic kerosene*), que consiste no hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos e a síntese de querosene parafínico, tecnologia comercializada mundialmente por cinco empresas. A rota HEFA-SPK poderá ser facilmente realizada nas atuais refinarias de petróleo que existem hoje no País, com algumas adaptações dos equipamentos existentes ou novas aquisições e sinergias com as utilidades. A Figura 7 mostra as principais etapas dessa rota (Walter et al., 2021).

A rota tecnológica HEFA-SPK é fortemente baseada em hidrogenação em todas as suas etapas. Isso requer produção de gás hidrogênio na vizinhança ou em planta anexa e de preferência hidrogênio verde, aquele que usa fontes renováveis de energia, por exemplo, energia solar fotovoltaica ou energia eólica para a eletrólise da água.

O preço de venda final do bioquerosene é estimado entre 660 e 1.069 €.t⁻¹ ou em termos de energia de 15,4 a 25,0 €.GJ⁻¹. Existem outras tecnologias para produção de SAF em estágios diferentes de desenvolvimento, indo desde P&D, piloto, demonstração até comercial. Algumas já certificadas (Walter et al., 2021).

Segundo o Balanço Energético Nacional 2021 (Empresa de Pesquisa Energética, 2021), a produção brasileira de querosene no ano de 2020 foi de cerca de 3 milhões de m³, correspondendo a metade dos anos anteriores à pandemia de covid-19. Ainda em 2020, cerca de um terço da produção nacional foi exportado e dois terços foram usados internamente na frota de aeronaves. A substituição será gradativa, mas é esse o tamanho do mercado atual. Misturas de até 50% de bioquerosene em querosene já são aprovadas para uso comercial (Wang et al., 2016).

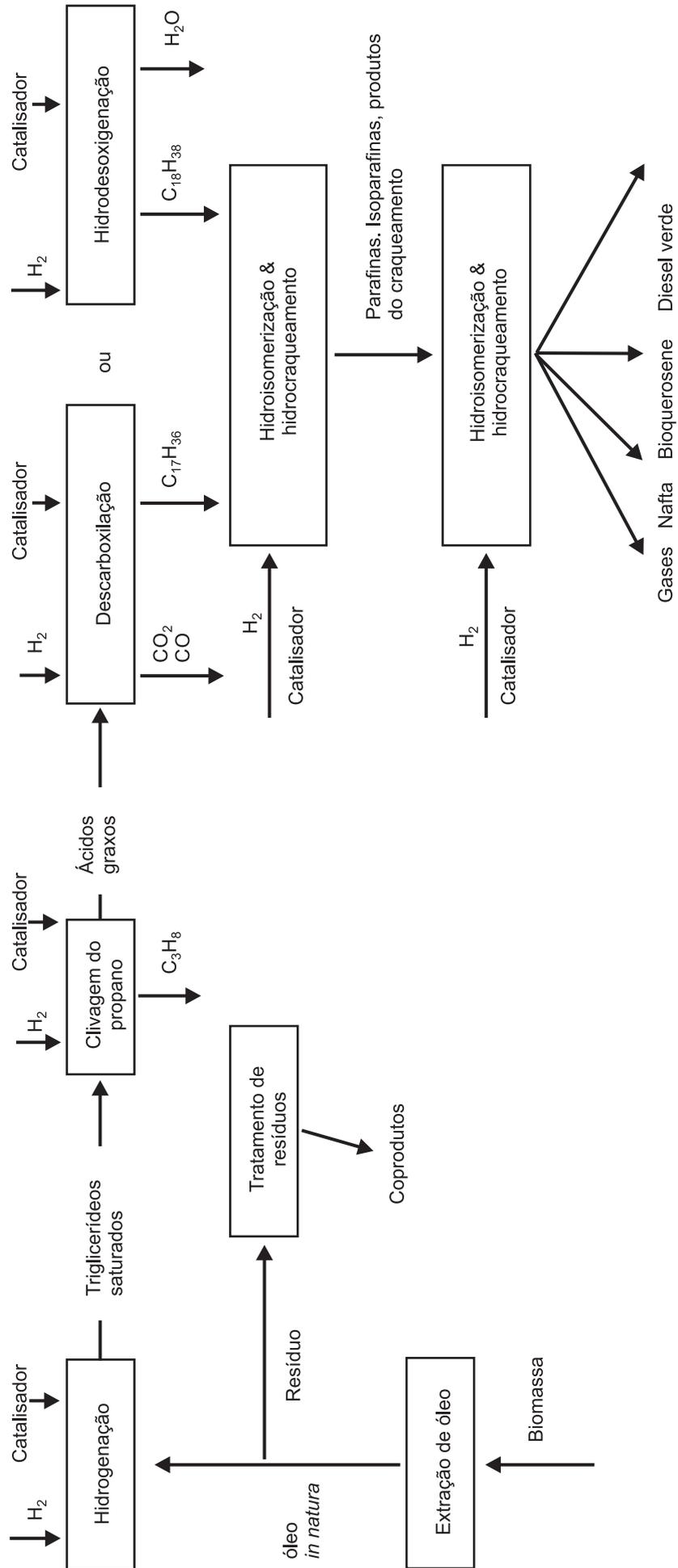


Figura 7. As principais etapas da rota HEFA-SPK. Fonte: Adaptado de Wang et al. (2016).

Perspectivas para expansão da macaúba no território brasileiro

Como todo projeto agroindustrial, a produção só ocorre após o plantio e a colheita das matérias-primas. O tempo para as plantas germinarem, crescerem e frutificarem é longo quando se tratam de espécies perenes como a macaúba, que leva cerca de cinco anos para início da produção de frutos. Inicialmente, a superação do gargalo da quebra de dormência e da germinação das sementes foi um importante passo dado, saltando de uma taxa de 5% de germinação natural para mais de 80% em prazo reduzido e uniforme (Motoike et al., 2007). Essa tecnologia foi o gatilho inicial para a nova cadeia produtiva da macaúba no Brasil. Existem vários projetos com o objetivo de plantar e processar a macaúba no País, em diversos estágios de desenvolvimento, e alguns hectares já plantados, além é claro do manejo de maciços naturais.

O Projeto Macaúba da empresa Inocas está localizado na região do bioma Cerrado, em Alto Paranaíba-MG, e possui três objetivos principais: 1) plantar 2.000 hectares de macaúba em sistema silvipastoril, em áreas de pastagens degradadas em parceria com agricultores familiares, com potencial para o sequestro de 600.000 toneladas de gás carbônico (CO₂); 2) promover a coleta extrativista de até 1.500 toneladas de frutos por ano; e 3) desenvolver uma usina modelo para o beneficiamento dos frutos. A partir de um modelo de negócios replicável, escalável e lucrativo, incentiva a imitação do conceito por outros pecuaristas, sendo que as pastagens do bioma Cerrado consorciadas com macaúba podem produzir óleo sem desmatamento e ser recuperadas. A fertilidade do solo também pode ser renovada, facilitando a introdução de sistemas de rotação de pastagens e gerando habitat e alimentos para as espécies nativas do Cerrado. Esse projeto-piloto no valor total de US\$ 6 milhões foi cofinanciado por meio do Fundo Multilateral de Investimentos (FOMIN) e do Programa de Investimentos Florestais (FIP) do Banco Interamericano de Desenvolvimento, o BID, que aportou US\$ 4 milhões, e outros US\$ 2 milhões são provenientes de investidores privados, o que garantiu o financiamento integral do plantio piloto de 2.000 hectares de macaúba em sistema silvipastoril e as atividades de extrativismo.

A região foi escolhida pela maior densidade de macaúbas nos pastos, por ser a segunda maior bacia leiteira do País (viabilizando consórcio com pastagens) e por ter uma cooperativa de pequenos produtores de leite. A meta do projeto piloto foi atingida, e a Inocas fez sua primeira expansão para áreas no Vale do Paraíba, no estado de São Paulo. O Projeto Conexão Mata Atlântica, da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA), vai investir R\$ 5 milhões para incentivar o plantio da palmeira macaúba em propriedades rurais da região do Vale do Paraíba, de forma conjugada a ações de conservação e restauração de vegetação nativa, recuperação de pastagens e de espaços degradados, entre outras ações para sequestrar carbono e conservar a biodiversidade, a água e o solo. Os incentivos da SIMA serão concedidos na forma de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que irá remunerar os proprietários rurais que promoverem melhorias ambientais em seus imóveis. Paralelamente, a SIMA também firmou um convênio com a empresa Inocas para incentivo do plantio da macaúba nas propriedades dos interessados em contratos de parceria rural, com 20 anos de duração e com compromisso de compra da produção. A empresa vai realizar o plantio e fornecer mudas, insumos e assistência técnica. O produtor, por sua vez, destinará a área para o plantio e será responsável pela manutenção das mudas. A produção será dividida entre a empresa e o produtor por 20 anos. Depois deste prazo, a produção será integralmente do produtor, que poderá continuar vendendo para a Inocas. As duas iniciativas são independentes, mas em conjunto trarão vantagens para os produtores rurais e para o meio ambiente, favorecendo a geração de serviços ecossistêmicos e o aumento da renda, conforme relatado no site da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo, 2021⁵.

⁵ Disponível em: infraestruturameioambiente.sp.gov.br

Em 2020, novos estudos foram iniciados com a pretensão de analisar as melhores regiões brasileiras para expansão do projeto e as melhores estratégias para tal, com informações sobre clima, qualidade do solo, declividade, pastagem, questões socioeconômicas, de incentivo público, de logística e de mercado. A definição da próxima expansão aconteceu com um projeto de 5 mil hectares no nordeste paraense. Para melhor desenvolver o trabalho na nova região, a Inocas sentiu a necessidade de unir forças com um ator local e encontrou essa oportunidade e expertise na Amaz, uma aceleradora de impacto que apoia empreendedores e negócios para superar desafios e peculiaridades do ecossistema na Amazônia. O negócio da Inocas é acelerado pela Amaz em 2022, que conta com um fundo de financiamento híbrido de R\$ 25 milhões para investimento em negócios nos próximos cinco anos.

A Inocas está conduzindo uma nova prospecção para identificar as melhores regiões e estratégias para expansão do projeto para 30 mil hectares até 2030, em parceria com a Iniciativa 20x20, WRI, IAC, UFV, Althelia e Natura. Uma Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) com a macaúba poderia produzir mais de 120 milhões de toneladas de óleo de macaúba, superando em 60% a atual produção mundial de óleo de palma, que é de 75,6 milhões de toneladas. Plantar macaúba nos pastos degradados do bioma Cerrado poderia contribuir com as metas brasileiras de descarbonização. Todas essas informações estão detalhadamente descritas em FRANCO e ZIMPEL, 2022.

Já o projeto da empresa S.Oleum envolve três etapas. Na primeira etapa, é previsto o plantio de 150 mil hectares no formato de agrofloresta, onde a macaúba será implantada junto a outras culturas agrícolas. Nesta fase, a previsão de duração é de cinco anos e já conta com área-piloto atualmente. O objetivo inicial é dar escala comercial e implantar as indústrias de extração e cogeração de energia a partir da biomassa florestal – folhas, cachos vazios, casca e endocarpo.

Na etapa dois, serão implantados, ao longo de mais cinco anos, outros 500 mil hectares produtivos para atingir escala necessária para introduzir a indústria da produção de hidrogênio verde, entre outras aplicações. As rotas tecnológicas avaliadas para obtenção do hidrogênio verde são a gaseificação de biomassa e posterior reforma do gás de síntese ou a ampliação da geração de energia de biomassa para rodar plantas de eletrólise. A decisão de rota será feita após a conclusão das análises técnicas e estudos de viabilidade em andamento com parceria dos fornecedores globais dessas tecnologias.

A aplicação dessas tecnologias só é possível por causa das características da biomassa da macaúba, que tem baixíssimo teor de umidade e ausência de enxofre, além do fato de ser abundante e não ter custos adicionais de produção, salvo o logístico de retirada dos materiais da floresta.

Outras rotas de processamento de biomassa estão em avaliação, como a liquefação hidrotérmica de biomassa celulósica para produção de bio-óleo com alta carga de energia e baixíssima presença de oxigênio, a partir de biomassa com alto teor de umidade, como os resíduos agroindustriais. O bio-óleo é muito valioso na produção de biocombustíveis avançados, como o diesel e o querosene de aviação verde, através do hidrotreatamento.

Por fim, a etapa três, com a implantação de um milhão de hectares adicionais, já com consideráveis melhorias genéticas e operacionais. Nessa última etapa, teremos volumes que viabilizam a produção de produtos acabados sustentáveis de alto valor agregado em larguíssima escala e com competitividade de custos similares aos concorrentes fósseis, como metanol, amônia, hidrogênio e biocombustíveis e matérias-primas sustentáveis para petroquímica (GrowPlus, 2021).

Macaúba e palma de óleo: uma comparação

Por que investir em mais uma palmeira oleaginosa? Todos os aspectos negativos da produção da palma de óleo poderiam ser repetidos pela macaúba? No que isso seria diferente da palma de óleo? Então, por que propor uma nova palmeira como fonte de óleo vegetal? De fato, no âmbito internacional, são fortes os questionamentos. Essa discussão tem se levantado entre investidores e potenciais compradores internos e externos. A fim de aclarar esse tema e mostrar como a macaúba pode ser um contraponto a todo estigma negativo da palma de óleo, sobretudo no que tange ao modelo de produção agrícola no sudeste asiático, elaboramos a Tabela 1, que apresenta de forma sintetizada esse comparativo.

Tabela 1. Aspectos agrícola, industriais, características químicas e bioquímicas, produtos e coprodutos de palma de óleo e macaúba, comparativamente.

Informação	Palma de óleo (dendê) – <i>Elaeis guineensis</i>	Macaúba (bocaiuva) - <i>Acrocomia ssp</i>
Local de origem	África	América tropical (Brasil: Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal, Semiárido, Amazônia)
Produção agrícola		
Áreas aptas ao cultivo no Brasil em milhões ha/local.	~30/bioma amazônico e recôncavo baiano (outras áreas demandam irrigação)	Avaliação em andamento (estimativa > 150) / em todas as áreas de ocorrência natural
Produção de mudas	Requer pré-germinação de sementes em laboratório	Requer pré-germinação de sementes em laboratório
	O Brasil importa a maior parte das sementes pré-germinadas	O Brasil dispõe de tecnologia própria e tem empresas capacitadas
Clonagem	Tecnologia nacional disponível	Tecnologia em desenvolvimento
Variedades e cultivares	Disponibilidade comercial	Tecnologia em desenvolvimento
	Deli x Lamé (Embrapa) Deli x Ekona Deli x Avros Deli x Kigoma Deli x Yangambi Deli x Ghana Híbrido O x G (BRS Manicoré, Amazon, Coarí)	
População de plantas em sistema solteiro (palmeiras/ha)	143	400
População de plantas (palmeiras/ha) em sistema com integração	Com pastagem: não recomendado em função da ocorrência da cigarrinha de pastagem	Com pastagem em fase experimental: 200
	Com lavoura: em fase experimental	Com lavoura em fase experimental: 200 a 300
Adubação	Recomendação de adubação bem estabelecida	¹ Primeira recomendação estabelecida
Doenças	Amarelecimento-fatal e anel-vermelho	Sem evidências até o momento
Pragas	Broca-do-olho-do-coqueiro (<i>Rhynchophorus palmarum</i>) Broca-da-coroa-foliar-das-palmeiras (<i>Eupalamides dedalus</i>) Lagartas desfolhadoras (<i>Brassolis sophorae</i> L., <i>Opsiphanes invirae</i> , <i>Acharya spp</i>)	² Potenciais ameaças: lagartas desfolhadoras, besouros que se alimentam de raízes e flores, ácaro-vermelho-das-palmeiras, insetos que predam frutos imaturos
Necessidade hídrica	³ Acima de 2.000 mm ano, 2.500 mm ideal	⁴ Volume precipitado entre 400 e 2.500 mm anuais Estresse hídrico de até 1.400 mm
	⁴ Estresse hídrico de até 1.000 mm	
Temperatura	³ Média entre 24 °C e 28 °C	Em estabelecimento ⁵ (temperaturas mais altas favorecem acúmulo de óleo de polpa)
	Máxima/mínima: 33 °C/18 °C	

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Informação	Palma de óleo (dendê) – <i>Elaeis guineensis</i>	Macaúba (bocaiuva) - <i>Acrocomia ssp</i>		
Local de origem	África	América tropical (Brasil: Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal, Semiárido, Amazônia)		
Tempo para início de produção (anos)	3	4 a 6		
Tempo para estabilidade de produção (anos)	7	7 a 8		
Vida útil da planta (anos)	25-30	> 40		
Colheita e pós-colheita				
Colheita	O ano todo. Os frutos são indeiscentes (não se destacam do cacho naturalmente quando maduros), portanto, todo o cacho deve ser cortado e transportado para a planta industrial. Também a folha que está inserida logo abaixo deve ser cortada para permitir o acesso até o cacho.	Concentrada entre os meses de novembro a fevereiro. Os frutos são deiscentes (destacam-se naturalmente do cacho quando maduros), portanto, é possível realizar a colheita apenas dos frutos que se soltam para que não tenham contato direto com o solo e não se degradem rapidamente. Também é possível colher o cacho sem cortar folhas, o engajo é longo e o corte, mais fácil.		
Pós-colheita	Os cachos colhidos têm que ser rapidamente processados (no máximo em 48 horas) para evitar acidificação excessiva.	^{6,7} Os processos de acidificação e oxidação (rancificação) são lentos; é possível manter os frutos por um período de 10 a 15 dias para que haja aumento no teor de óleo na polpa, característica de fruto climatérico. Aumentos de até 30% em óleo foram reportados com este procedimento pós-colheita.		
Rendimentos (t/ha)				
Frutos	20	25		
Óleo de polpa	3,6	2 a 4		
Óleo de amêndoa	0,34	0,5 a 1,0		
Casca	Não tem casca	6,5		
Endocarpo	1,6	7,0		
Torta de polpa	Não produz / gera fibra - 2,7	10,5		
Torta de amêndoa	0,34	1,0 a 1,3		
Custo médio de implantação (R\$/ha)	16 mil	22 mil (60% no primeiro ano)		
Características químicas dos óleos				
Ácido graxo	Polpa ⁸	Amêndoa ⁹	Polpa ¹⁰	Amêndoa ¹⁰
Caproico C6:0	-	0,10	0,1	0,03
Caprílico C8:0	-	2,9	0,1	0,01
Cáprico C10:0	-	3,00	0,1	3,9
Láurico C12:0	0,0 - 0,4	45,6	0,2	32,0
Mirístico C14:0	0,5 - 2,0	16,3	0,62	12,14
Palmítico C16:0	40,1 - 47,5	9,73	23,4	11,1
Palmitoleico C16:1	-	0,01	5,24	0,3
Esteárico C18:0	3,5 - 6,0	2,33	4,24	6,6
Oleico C18:1 (ω 9)	36,0 - 44,0	17,1	55,0	27,7
Linoleico C18:2 (ω 6)	6,5 - 12,0	2,8	10,3	2,9
Linolênico C18:3 (ω 3)	0,0 - 0,5	0,01	-	-
Araquídico C20:0	0,0 - 1,0	0,1	0,2	0,3
Gadoleico C20:1	-	0,1	0,1	0,3
Ác. graxos saturados	40,6 - 56,9	80,0	29,6	68,9
Ác. graxos insaturados	44,1 - 56,5	20,0	60,1	28,2
Ác. raxos poli-insaturados	6,5 -12,5	17,4	10,3	2,9

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Informação	Palma de óleo (dendê) – <i>Elaeis guineensis</i>	Macaúba (bocaiuva) - <i>Acrocomia ssp</i>
Local de origem	África	América tropical (Brasil: Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal, Semiárido, Amazônia)
Processamento industrial		
Autoclavagem dos frutos	Necessita para interromper a acidificação.	¹² Não necessita, os óleos podem ser extraídos diretamente do fruto fresco ou seco.
Secagem dos frutos	Sem necessidade, extração direta do fruto úmido.	Os óleos podem ser extraídos diretamente do fruto úmido ou seco. A via seca necessita de secagem forçada para evitar degradação.
Despencamento (separação do fruto do cacho)	Necessita da operação porque os frutos são indeiscentes.	Caso os frutos sejam colhidos no sistema de destacamento natural no campo, o cacho não será levado para a indústria. Se for realizada a colheita do cacho inteiro, poderá ser mantido em condições ambientes até que a deiscência ocorra naturalmente e o engajo seja separado.
Mercados		
Consolidação	Consolidado	Em construção
Óleos	Alimentação humana e animal, cosméticos, oleoquímica, biocombustíveis.	Alimentação humana e animal, cosméticos, oleoquímica, biocombustíveis.
Torta de polpa	Energia, ração com restrição (até 30%).	Energia, ¹³ nutrição animal.
Torta de amêndoa	Nutrição animal, produção de concentrados e isolados proteicos.	^{13,14,15} Nutrição animal, produção de concentrados e isolados proteicos.
Endocarpo	Biochar (0,5 t.ha ⁻¹), carvão ativado, energia.	Biochar (2,5 t.ha ⁻¹), carvão ativado, energia.
Cachos vazios	Energia	Energia
Folhas senescidas		¹¹ Energia
Cascas	Não tem	Energia
Serviços ambientais	Não oferece esses serviços por se tratar de espécie exótica e exigências climáticas (a menos que se utilize a espécie de ocorrência no Brasil (<i>Elaeis oleifera</i> – caiaué)).	Apta para regeneração produtiva, áreas de preservação, recuperação de pastagens degradadas e nascentes, sistemas agroflorestais com espécies nativas.
Acúmulo de carbono	¹⁶ 45 - ¹⁷ 55 t C.ha ⁻¹	¹⁸ 61,6 t C.ha ⁻¹ (planta com 9 anos).
Extrativismo	Não tem	¹⁹ Estabelecido em diversas regiões do Brasil como complemento de renda e pode ser mais organizado para contribuir para a oferta imediata de frutos e o processamento em larga escala

Fonte: ¹Pimentel et al. (2012), ²Vargas-Carpintero et al. (2021), ³Bastos et al. (2001), ⁴Benezoli, et al. (2017), ⁵Resende et al. (2020), ⁶Favaro et al. (2018), ⁷Tilahun et al. (2022), ⁸Wahid et al. (2011), ⁹Nainggolan e Sinaga (2021), ¹⁰Del Río et al. (2016), ¹¹Favaro et al. (2022), ¹²Biesdorf (2021), ¹³Sobreia (2011), ¹⁴Barreto (2008), ¹⁵Carrera (2010), ¹⁶Kongsager et al. (2013), ¹⁷Pulhin et al. (2014), ¹⁸Moreira (2019), e ¹⁹Devendra (2006).

Considerações finais

Há mais de um século, o óleo de macaúba é extraído e usado nas suas várias aplicações. Geralmente, é extraído o óleo da amêndoa por causa da sua preservação dentro da casca dura, o endocarpo. A polpa é protegida apenas pela casca externa (epicarpo), que se degrada rapidamente em condições naturais ao cair no chão, onde os frutos são coletados. Com a exploração comercial, os plantios e as melhorias na extração industrial, tanto do óleo de polpa como do óleo de amêndoa, espera-se um grande avanço em quantidade, rendimento e qualidade para ambos os produtos.

O protagonismo da macaúba no mercado mundial de óleos vegetais está muito próximo. Isso será possível em razão da sua alta produtividade e da facilidade de extrair tanto o óleo da polpa como o óleo da amêndoa. Diferentemente da palma de óleo, a macaúba será cultivada em consórcios e sistemas de produção do tipo ILPF. Na fase de desenvolvimento da palmeira, será usada a ILF para

evitar que os animais comam as folhas tenras da macaúba, e posteriormente a pecuária (P) poderá ser introduzida na mesma área. Assim, as tradicionais monoculturas não serão mais uma prática comum no setor de óleos vegetais. A carne carbono neutro tem total aderência com a cultura da macaúba, inclusive como uso sustentável das tortas de polpa e de amêndoa.

Um dos passos mais importantes nessa nova cadeia produtiva da macaúba foi o desenvolvimento de técnicas de quebra de dormência das sementes, com aumento expressivo na taxa de germinação e redução drástica do tempo de germinação.

O estudo de georreferenciamento da macaúba nativa e dos futuros plantios é fundamental para assegurar a sustentabilidade dentro com conceito de ESG (Ambiental, Social e Governança) e na busca de geração de emprego e renda no meio rural. O fato de uma região não ser de ocorrência natural da macaúba não significa que ela não poderá vir a ser plantada e manejada com ganhos de produtividade e desenvolvimento regional. Os investidores poderão usar as informações georreferenciadas para o planejamento dos investimentos e a minimização dos riscos.

A nova cadeia produtiva da macaúba trará maior vigor à agricultura brasileira, com grande participação dos pequenos produtores. A nova cultura agrícola vai gerar novos postos de trabalho tanto no meio rural como na indústria e envolverá organizações de P&D e certificadoras, o que trará maior dinamismo à bioeconomia brasileira. O bioquerosene de aviação é o produto que poderá alavancar a macaúba e ser o vetor de desenvolvimento e proteção ambiental. No entanto, o melhor produto será o carbono, não apenas nas etapas finais, mas também nas etapas agrícolas: reflorestar para descarbonizar, com árvores nativas em pé, produzindo e limpando a atmosfera.

O combustível que fará esse projeto decolar é a capacidade de investir do setor privado, com parcerias público-privadas, fundos de investimentos, bancos de desenvolvimento, bancos comerciais e todos aqueles que acreditam em crescimento econômico sustentável.

Referências

AIRBus. 2021. Disponível em: <https://www.starling-verification.com/>. Acesso em: 17 mar. 2022.

BARRETO, S. M. P. **Avaliação dos níveis de inclusão da torta de macaúba [*Acrocomia aculeata* (JACQ.) LODD. EX MART.] na alimentação de caprinos**. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros.

BASTOS, T. X.; MÜLLER, A. A.; PACHECO, N. A.; SAMPAIO, S. M. N.; ASSAD, E. D.; MARQUES, A. F. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura da palma de óleo no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 564-570, 2001. Número Especial.

BENEZOLI, V. H.; IMBUZEIRO, H. M. A.; ABRAHÃO, G. M. Limitações hídricas para a ocorrência natural de macaúba e dendê no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20., 2017, Petrolina. **Anais...** Petrolina: CBAgro, 2017.

BIESDORF, E. M. **Caracterização e aproveitamento de biomassa foliar senescida de macaúba (*Acrocomia aculeata* (jacq.) Lodd. ex martius)**. 2021. 90 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CARRERA, R. A. B. **Caracterização de coprodutos e subprodutos proteicos da indústria do biodiesel para alimentação de ruminantes**. 2010. 30 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, VG.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 400 p. (Coleção espécies arbóreas brasileiras, v. 3).

CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da; ANTONIASSI, R.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F.; MACHADO, A. F. F.; ROGÉRIO, J. B. Genetic diversity of macauba from natural populations of Brazil. **BMC Research Notes** v. 8, Article number 406, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1335-1>.

DEL RÍO, J. C.; EVARISTO, A. B.; MARQUES, G.; MARTÍN-RAMOS, P.; MARTÍN-GIL, J.; GUTIÉRREZ, A. Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. **Industrial Crops Products**, v. 84, p. 294-304, June, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.018>.

DEVENDRA. Strategies for intensive use of local feeding stuffs for large-scale economic beef production in Malaysia. pp. 97–105, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ANIMAL NUTRITION, 2., 2006, Malásia. **Proceedings** [...], Malásia, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; **Balço Energético Nacional (BEN) 2021**: Ano base 2020. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>. Acesso em: 20 ago. 2021.

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; PIMENTEL, L. D.; GOULART, S. M.; MARTINS, A. D.; SANTOS V. L. dos; MOTOIKE, S. Harvest and post-harvest conditions influencing macauba (*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 63-73, July, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.052>.

FÁVARO, S. P.; SMIDT, M. A.; MIRANDA, C. H. B.; LEAL, W. E. G. de O.; CARVALHO, F. E. B. P.; RIVALDI, J. D. Aqueous extraction to high yield and quality of macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, Article number 100060, June, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100060>.

FÁVARO, S. P.; CARDOSO, N. A.; SCHULTZ, E. L.; CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da ; LEAL, W. G. O.; PIGHINELLI, A. L. M. T.; SILVA, B. R.; CRUZ, R. G. S. **Armazenamento e processamento da macaúba**: contribuições para manutenção da qualidade e aumento do rendimento de óleo da polpa. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2018. 38 p. (Embrapa Agroenergia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16)

FRANCO, V. S. F.; ZIMPEL, J. **Projeto Macaúba – Introdução de sistema silvipastoril inovador no cerrado brasileiro para a produção de óleos vegetais sustentáveis**. Cepal, Nações Unidas, 2020. 12 p. Disponível em: <https://archivo.cepal.org/pdfs/bigpushambiental/Caso65-ProjetoMacauba.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2022.

GROWPlus. 2021. Disponível em: <https://growplus.com.br/destaque/startup-aposta-na-agrofloresta-com-arvores-nativas-do-brasil-para-transformar-mercado-mundial-de-oleos/>. Acesso em: 18 abr. 2022.

HIANE, P. A.; BALDASSO, P. A.; MARANGONI, S.; MACEDO, M. L. R. Chemical and nutritional evaluation of kernels of bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 3, p. 683-689, Sept. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000300031>.

KONGSAGER, R.; NAPIER, J.; MERTZ, O. The carbon sequestration potential of tree crop plantations. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 18, p. 1197-1213, Dec. 2013. DOI <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9417-z>.

MARKLEY, K. S. Mbocayá or Paraguay cocopalme - An Important Source of Oil. **Economic Botanic**, v. 10, p. 3-32, 1956. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02985312>

MACDONALD, M. J. Revisión de la Situación Actual de Mbokaja (*Acrocomia totai*) en Paraguay. **Informe Final**, Enero 2007. 78 p. Disponível em: https://www.geam.org.py/v3/uploads/2011/11/Mbokaja_Informe_Final1.pdf. Acesso em: 18 abr. 2022.

MOREIRA, S. L. S. **Acúmulo de biomassa e carbono em cultivo de macaúba**. 2019. 70 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MOTOIKE, S. Y.; SÁ JUNIOR, A. T.; LOPES, F. A.; CARVALHO, M.; OLIVEIRA, M. A. R. **Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia***. Patente: PI0703180-7, 2007. 12 p.

NAINGGOLAN, M.; SINAGA, A. G. Characteristics of fatty acid composition and minor constituents of red palm olein and palm kernel oil combination. **Journal of Advanced Pharmaceutical Technology Research**, v. 12, n. 1, p. 22-6, 2021. DOI: [10.4103/japtr.JAPTR_91_20](https://doi.org/10.4103/japtr.JAPTR_91_20).

PIMENTEL, L. D. **Nutrição mineral da macaúba**: bases para adubação e cultivo. 2012. 115 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PINTO, C. S. Coco macaúba. **Boletim de Agricultura, Zootecnia e Veterinária**, v. 5, n. 2, p. 60-69, 1932.

POETSCH, J.; LEWANDOWSKI, D. H.I.; OBERLÄNDER, D.; HILGER, T. *Acrocomia aculeata*-a sustainable oil crop. **Rural 21 - The international Journal for Rural Development**, p. 41-44, 2012. https://www.rural21.com/fileadmin/downloads/2012/en-3/rural2012_03-S41-44.pdf

PULHIN, F. B.; LASCO, R. D.; URQUIOLA, J. P. Carbon sequestration potential of oil palm in Bohol, Philippines. **Ecosystems & Development Journal**, v. 4, n. 2, p. 14-19, 2014.

RESENDE, R. L. T.; KUKI K. N.; CORRÊA, T. R.; ZAIDAN, Ú. R.; MOTA, P. H. S.; TELLES, L. A. A.; GONZALES, D. G. E.; MOTOIKE, S. Y.; RESENDE, M. D. V.; LEITE, H. G.; LORENZON, A. S. Data-based agroecological zoning

of *Acrocomia aculeata*: GIS modeling and ecophysiological aspects into a Brazilian representative occurrence area. **Industrial Crops & Products**, v. 154, Article number 112749, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112749>.

RITCHIE, H.; ROSER, M. Forests and Deforestation. 2021. Disponível em: <https://ourworldindata.org/palm-oil>. Acesso em: 5 abr. 2022.

RURAL 21. ago. 2012, <https://www.rural21.com/english/archive/2012/03/detail/article/acrocomia-aculeata-a-sustainable-oil-crop.html>. Acesso em: 5 abr. 2022.

SILVA, S. H. T. e; BADER-MITTERMAIER, S.; SILVA, L. B.; DOER, G.; EISNER, P. Electrophoretic characterization, amino acid composition and solubility properties of macauba (*Acrocomia aculeata* L.) kernel globulins. **Food Bioscience**, v. 40, Article number 100908, Apr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100908>.

SOBREIA, H. F. **Resíduos do coco da macaúba em substituição parcial ao milho e farelo de soja em rações para vacas mestiças lactantes**. 2011. 27 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TILAHUN, W, W.; GROSSI, J. A. S.; FAVARO, S. P. Combination of storage followed by drying assures higher yield and quality of macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, Article number 100090, June 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100090>.

TILAHUN, W, W.; GROSSI, J. A. S.; FAVARO, S. P.; SEDIYAMA, C. S.; GOULART, S. D. M.; PIMENTEL, L. D.; MOTOIKE, S. Y. Increase in oil content and changes in quality of macauba mesocarp oil along storage. **OCL**, v. 26, n. 20, 2019.

VARGAS-CARPINTERO, R.; HILGER, T.; MÖSSINGER, J.; SOUZA, R. F.; ARMAS, J. C. B.; TIEDE, K.; LEWANDOWSKI, I. *Acrocomia* spp.: neglected crop, ballyhooed multipurpose palm or fit for the bioeconomy? A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, Article number 75, 2021. DOI <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00729-5>.

WAHID, M. B.; CHOO, Y. M.; CHAN, K. W. Renewable energy from palm oil. **Further Advances in Oil Palm Research**. v. 2, p. 854, 2011.

WALTER, A. C. S.; SEABRA, J.; ROCHA, J.; GUARENGHI, M.; VIEIRA, N.; DALMANE, D.; SANTOS, J. L. SAFmaps – Macaw palm. **Mendeley Data**, version 2, Feb. 2021. DOI: [10.17632/5498jdrm87.2](https://doi.org/10.17632/5498jdrm87.2).

WANG, W. C.; TAO, L.; MARKHAM, J.; ZHANG, Y.; TAN, E.; BATAN, L.; WARNER, E.; BIDDY, M. **Review of biojet fuel conversion technologies**. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2016. (Technical Report N° NREL/TP-5100-66291).

Embrapa

Agroenergia

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE 017833