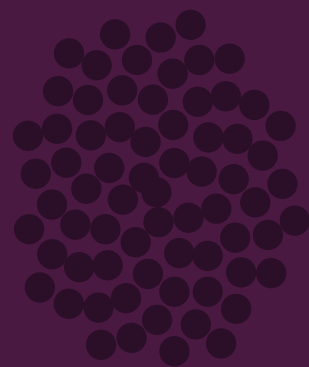


MANUAL TÉCNICO E CIENTÍFICO

# Cultivo do Açaizeiro

*Euterpe oleracea Mart. e Euterpe precatoria Mart.*



Versão 25.0 · 130 artigos analisados na íntegra · Atualização: 03/10/2026

Status: revisão contínua integrada · Fuso de referência: America/Belem (UTC-3)

## Origem

Compilação e síntese sistemática contínua de literatura científica revisada por pares e documentos técnicos da Embrapa.

## Conteúdo

1. Caracterização botânica
  2. Cultivares e recursos genéticos
  3. Sementes e produção de mudas
  4. Solos, correção e nutrição
  5. Agrometeorologia e irrigação
  6. Biologia floral e polinização
  7. Manejo fitotécnico
  8. Manejo integrado de pragas e doenças
  9. Colheita e pós-colheita
  10. Extrativismo sustentável de E. precatoria
  11. Economia circular e subprodutos
  12. Matriz de rastreabilidade científica
- Anexo — Notas de revisão técnica

# 1. Introdução e Caracterização Botânica das Espécies

O cultivo sustentável e de alto rendimento do açaizeiro fundamenta-se na diferenciação biológica, morfológica e ecológica entre as duas principais espécies exploradas na Amazônia:

## 1.1. *Euterpe oleracea* Mart. (Açaí-do-Pará)

- **Hábito:** Cespitosa (pluricaule), caracterizada por intenso perfilhamento basal a partir da gema axilar subterrânea/ao nível do solo, formando touceiras com múltiplos estipes em diferentes estágios de desenvolvimento.
- **Habitat Natural:** Várzeas periodicamente inundadas e igapós do estuário amazônico, sob regime de marés diárias de água doce rica em sedimentos suspensos. Adaptou-se com grande êxito agrônomo ao cultivo intensivo em terra firme irrigada.
- **Sistema Radicular:** Fasciculado, denso e superficial, concentrado nos primeiros 40 cm do solo, dotado de pneumatóforos funcionais em áreas alagadas para trocas gasosas radiculares.
- **Anatomia e Ontogenia Seminal (Pereira et al., 2021):** Endosperma ruminado com invaginações originadas especificamente do tegumento interno da semente. As reservas energéticas do endosperma encontram-se depositadas sob a forma de polissacarídeos não amiláceos (predominantemente mananos) acumulados nas paredes celulares altamente espessadas dos tecidos de reserva, com embrião basal bem desenvolvido contendo 3 primórdios foliares.
- **Inflorescência e Fruto:** Inflorescência intrafoliar monoica em panícula, protândrica (flores masculinas abrem e senescem antes da receptividade das flores femininas, promovendo alogamia estrita). Frutos globosos (1,0 a 2,0 g), de epicarpo negro-violáceo (variedade roxa) ou verde-oliva (variedade branca).

## 1.2. *Euterpe precatoria* Mart. (Açaí-do-Amazonas / Açaí-Solitário)

- **Hábito:** Monocaule (estipe único, não perfilhador), com porte mais elevado (frequentemente ultrapassando 20 a 25 m de altura em floresta nativa) e diâmetro de estipe geralmente mais robusto.
- **Habitat Natural:** Matas de terra firme e paleovárzeas da Amazônia Central e Ocidental (Amazonas, Acre, Rondônia).
- **Fruto e Fitoquímica:** Frutos menores e mais densos em antocianinas monoméricas e polifenóis (superando em até 62% a concentração média de antioxidantes de *E. oleracea*), com menor teor de lipídeos totais e mesocarpo mais fino.
- **Anatomia Seminal:** Endosperma homogêneo sólido e massivo, sem rumações internas, com embrião basal de 3 primórdios foliares.

## 1.3. Reavaliação Sistemática e Circunscrição do Gênero *Euterpe*

- **Reestabelecimento Taxonômico:** Reestabelecimento taxonômico de *Euterpe longevaginata* como espécie independente de *E. precatoria* com base em filogenia molecular multilocus (3 nucleares + 1 cloroplasto) e segregação ecológica/altitudinal (montana andina de 500-2000 m vs terras baixas amazônicas de 0-350 m) (Temponi et al., 2025).

## 1.4. Hiperdominância Fitossociológica e Dinâmica de Marés no Estuário Amazônico

- **Fitossociologia e Aporte Sedimentar:** Inventários em parcelas permanentes de várzea demonstram o maior Índice de Valor de Importância (IVI) e densidade relativa de *E. oleracea*, sustentados pela fertilidade mineral renovada diariamente pelas marés carregadas de sedimentos andinos suspensos Almeida, Amaral & Silva, 2004.

## 2. Cultivares e Recursos Genéticos

### 2.1. Cultivares Comerciais Recomendadas (*Euterpe oleracea*)

- **BRS Pará:**
  - Primeira cultivar lançada pela Embrapa Amazônia Oriental para terra firme sob irrigação.
  - Início da produção comercial: 3º a 4º ano pós-plantio.
  - Produtividade média estabilizada: 10 a 12 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de frutos frescos sob fertirrigação plena.
  - Rendimento de polpa: 15% a 20%.
  - Características: Excelente vigor inicial; concentração de safra no segundo semestre (agosto a dezembro).
- **BRS Pai d'Égua:**
  - Cultivar desenvolvida com foco em mitigação da entressafra e distribuição equilibrada de safra anual.
  - Comportamento fenológico: Em regime de fertirrigação balanceada em terra firme, entrega entre 40% e 46% da colheita no primeiro semestre (período de entressafra regional, onde o valor de comercialização do fruto é substancialmente superior).
  - Fisiologia do Estresse: Maior eficiência estomática e hídrica intrínseca ( $A/g_s$ ) e menor degradação de sacarose foliar durante períodos de veranico ou déficit temporário em relação à BRS Pará.

### 2.2. Parâmetros Genéticos e Seleção Precoce

- **Herdabilidade:** Estudos com modelos mistos (REML/BLUP) demonstram herdabilidade individual no sentido restrito ( $h^2_a$ ) moderada a alta aos 36 meses de idade:
  - Diâmetro do estipe:  $h^2_a \approx 0,42$ .
  - Altura da planta:  $h^2_a \approx 0,38$ .
  - Número de perfilhos por touceira:  $h^2_a \approx 0,29$ .
- **Recomendação Prática de Manejo Genético:** Em áreas comerciais e campos de sementes, é altamente viável a seleção fenotípica assistida aos 3 anos para descarte precoce de genótipos de baixa capacidade de perfilhamento e baixo vigor de colo, alcançando ganhos genéticos imediatos superiores a 15-18%.
- **Estrutura Genética Molecular:** Estudos com marcadores moleculares indicam que mais de 80% da variabilidade genética total das espécies reside no nível intrapopulacional, justificando a seleção massal intra-famílias.
- **Seleção de Parentais Heteróticos:** A seleção baseada em descritores quantitativos revela que o peso do fruto e o rendimento de polpa respondem por mais de 64% da divergência genética total acumulada, sendo os caracteres chave para cruzamentos direcionados.

### 2.3. Hibridação Interspecífica (*Euterpe oleracea* x *Euterpe edulis*)

- **Vigor Híbrido e Germinação:** O cruzamento intersubespecífico entre o açaí-do-Pará e a juçara resulta em antecipação do período germinativo em até 100 dias comparado aos genótipos puros, além de demonstrar heterose acentuada com incremento no vigor vegetativo entre +25% e +32%.

### 2.4. Adaptabilidade e Seleção Genética em Terra Firme de Progenies Estuarinas no Amapá

- **Herdabilidade e Desempenho em Terra Firme:** Avaliações de progenies de meio-irmãos provenientes do estuário do Amapá cultivadas em terra firme revelam herdabilidade no sentido restrito ( $h^2_a$ ) variando entre 0,27 e 0,38 para caracteres vegetativos aos 36 meses de

idade, confirmando bom controle genético das características de crescimento inicial mesmo fora do habitat de várzea.

- **Correlação Genética e Ganho Predito:** Constatou-se forte correlação genética positiva entre o diâmetro do colo e a taxa de perfilhamento ( $r_g = 0,54$ ). A seleção fenotípica praticada aos 36 meses proporciona ganho predito imediato de 14,8% para vigor do caule, permitindo a identificação precoce das progênies mais promissoras para plantios comerciais em terra firme.
- **Herança do Hábito de Crescimento e Adaptabilidade:** O híbrido herda integralmente a característica cespitosa (perfilhadora) de *E. oleracea*, apresentando maior tolerância a baixas temperaturas e geadas leves, o que viabiliza a expansão do cultivo comercial para regiões subtropicais do Centro-Sul do Brasil.

## 2.5. Coeficientes de Repetibilidade e Acurácia na Seleção de Matrizes

- **Acurácia e Número de Avaliações:** Coeficientes de repetibilidade dos caracteres do cacho situam-se entre  $r = 0,45$  e  $0,62$ . A avaliação consecutiva de 4 a 5 safras por touceira assegura acurácia de predição superior a 80% ( $R^2 > 0,80$ ), proporcionando segurança para a seleção e clonagem de matrizes superiores (Oliveira & Fernandes, 2001).

## 2.6. Divergência Genética no Banco Ativo de Germoplasma (BAG-Açaí)

- **Descritores Morfoagronômicos Determinantes (Oliveira et al., 2012):** A caracterização da divergência genética entre acessos do BAG-Açaí demonstra que o rendimento de frutos por cacho e o comprimento do pedúnculo da inflorescência são os caracteres quantitativos mais discriminantes, respondendo por mais de 58% da divergência genética acumulada total entre os genótipos preservados, sendo fundamentais para orientar a seleção de matrizes genitoras em programas de melhoramento.

## 2.7. Bioacessibilidade Superior de Euterpe precatoria e Dinâmica Econômica de Mercado

- **Bioacessibilidade e Funcionalidade Gastrointestinal In Vitro (Souza et al., 2024/2026):** Avaliações do perfil nutracêutico pós-digestão gastrointestinal simulada demonstram que *Euterpe precatoria* apresenta bioacessibilidade de compostos fenólicos significativamente superior, alcançando teores de 127,35 mg GAE/g de fenólicos bioacessíveis, 127,15 mg/g de antocianinas bioacessíveis e capacidade antioxidante de 307,30  $\mu\text{mol TE/g}$  via ensaio DPPH. Ensaios em linhagem de células tumorais de adenocarcinoma colorretal (Caco-2) revelam inibição antiproliferativa de 85% para a polpa digerida de *E. precatoria*, superior aos 30% registrados para *E. oleracea*.
- **Dinâmica Sazonal de Preços e Justificativa da Irrigação (Nogueira, Santana & Garcia, 2013):** A análise das séries históricas de comercialização do fruto indica amplitude estacional de preços de até 300% durante os meses de entressafra regional. Esse comportamento econômico justifica substancialmente a implantação de cultivares selecionadas em áreas de terra firme dotadas de irrigação programada para escalonamento e garantia de produção fora da safra principal.

## 2.8. Sistema de Reprodução e Diretrizes de Amostragem Genética em Euterpe precatoria

- **Alogamia e Amostragem de Matrizes:** Alogamia estrita ( $t_m = 1,0$ ), ausência de autofecundação efetiva por protandria floral completa, progênies de meio-irmãos com baixa correlação de paternidade ( $r_p = 0,293$ ), e necessidade de amostragem em pelo menos 45 a 50 árvores-matrizes para manter o tamanho efetivo de referência  $N_e = 150$  (Ramos et al., 2019).

## 2.9. Parâmetros Genéticos Juvenis e Eficiência da Seleção Precoce aos 24 Meses

- **Seleção Precoce aos 24 Meses (Farias Neto et al., 2012):** A avaliação de parâmetros genéticos juvenis revela herdabilidade no sentido restrito moderada para diâmetro do coleto ( $h^2_a = 0,38$ ) e altura da planta ( $h^2_a = 0,28$ ), apresentando forte correlação genética positiva com a produtividade adulta ( $r_g > 0,65$ ). A seleção baseada nesses caracteres aos 24 meses permite alcançar um ganho genético esperado de 14,5%, otimizando o ciclo de seleção nos programas de melhoramento.

## 2.10. Análise de Divergência Genética por Mahalanobis e Grupos Heteróticos no BAG-Açaí

- **Dissimilaridade Genética e Agrupamento (Oliveira et al., 2007):** A aplicação da distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ) e do método de Tocher permitiu agrupar 48 acessos do BAG-Açaí em 10 grupos heteróticos distintos, constatando que o peso do cacho e o peso de frutos por cacho respondem por mais de 50% da dissimilaridade genética acumulada total Oliveira et al., 2007.

## 1.6. Genômica de Populações, Hibridização Interespecífica e Índices Multivariados de Seleção

- **Riscos de Introgessão e Heterose Genômica (Francisconi et al., 2025):** A expansão desordenada dos plantios de *Euterpe oleracea* em zonas de ocorrência de *E. edulis* e *E. precatoria* acarreta riscos elevados de introgessão genética e contaminação em germoplasma nativo, embora apresente heterose genômica promissora nos híbridos formados.

## 2.11. Citogenética ( $2n = 36$ ), Filogenia e Caracterização Morfológica de Ecótipos Regionais de Açaizeiro

- **Número Cromossômico e Ecótipos Regionais (Teixeira et al., 2024):** Constatou-se o número básico diploide conservado de  $2n = 36$  cromossomos no gênero *Euterpe*. Apresenta-se a delimitação botânica e geográfica de ecótipos especializados: açaí-espada (ráquias ramificadas no Rio Acará/PA), açaí-chumbinho (pequeno calibre no Marajó e Amapá), açaí-sangue-de-boi (pericarpo vermelho e sabor ácido no Tapajós/PA) e açaí-de-restinga. Observa-se baixíssima diferenciação genética na várzea ( $F_{st} < 0,02$ ) e aplicação estratégica de marcadores SSR/SNPs para cruzamentos direcionados de *E. oleracea* x *E. precatoria*.
- **Seleção de Progenies de Meio-Irmãos (Farias Neto et al., 2011):** A seleção de progenies de meio-irmãos via modelos mistos REML/BLUP apresentou herdabilidade individual no sentido restrito de  $h^2 = 0,52$  e ganho genético predito superior a 18% para a produção de frutos em áreas de terra firme.
- **Índices Multivariados de Seleção (Teixeira et al., 2012):** O índice não paramétrico de Mulamba & Mock demonstrou superioridade no melhoramento multicaráter de açaizeiro, propiciando ganhos genéticos simultâneos e equilibrados de +15,8% em peso total de frutos, +10,1% em número de cachos e +3,4% em rendimento industrial de polpa.

## 2.12. Caracterização Fitoquímica e Perfil Lipídico Comparado entre Açaí Roxo e Açaí Branco (*Euterpe oleracea*)

- **Perfil Lipídico e Estabilidade Oxidativa (Santos et al., 2024):** O açaí branco apresenta rendimento lipídico da polpa de 44,8% em base seca, em comparação a 38,2% no açaí roxo. Observa-se a predominância de ácidos graxos monoinsaturados (ácido oleico a 57,8% no branco vs 55,4% no roxo) e estabilidade oxidativa superior no açaí branco (período de indução Rancimat de 14,8 h a 110 °C vs. 11,2 h no roxo), decorrente dos maiores teores de tocoferóis

totais (> 280 mg/kg) e beta-sitosterol (> 78%), além da ausência de pró-oxidantes derivados de clorofila/antocianinas degradadas.

### 1.7. Melhoramento de Variedades Especiais (Açaí Branco) e Marcadores Genômicos de Seleção

- **Otimização Seletiva em Açaí Branco (Yokomizo et al., 2024):** A análise canônica discriminante baseada nos caracteres peso total do cacho (PTC), comprimento da raque central (CRC) e peso de frutos por cacho (PFC) responde por 78,5% da variação genética total entre acessos de açaí branco, permitindo a seleção indireta precoce de matrizes superiores e reduzindo os custos operacionais de fenotipagem em campo em até 40% Yokomizo et al., 2024.
- **Marcadores Genômicos de Domesticação (Francisconi et al., 2025):** O mapeamento genômico populacional de açaizais estuarinos sob manejo agroflorestal identificou 58 loci de nucleotídeo único (SNPs) sob seleção divergente positiva associados à domesticação, regulando vias metabólicas chave da época de floração e da rota de biossíntese de antocianinas Francisconi et al., 2025.

## 3. Propagação, Tecnologia de Sementes e Produção de Mudas

### 3.1. Fisiologia e Recalcitrância das Sementes

- **Cinética de Dessecação e Limiares de Viabilidade (Nascimento et al., 2007):** As sementes apresentam comportamento estritamente recalcitrante. Durante o processo de dessecação, mantêm alta germinação e padrão de emergência sigmoide enquanto o teor de água se situa na margem segura operacional acima de 37%. O ponto crítico ocorre aos 30,3% de umidade, marcado por uma queda brusca da germinação para 58% e perda do padrão sigmoide para linear. A dessecação continuada até 15,1% de água causa a morte embrionária total (0% de germinação).
- **Teor Crítico de Umidade (*E. oleracea*):**
  - Umidade de colheita/fresca: 42% a 46%.
  - **Zona de Segurança:** Até 39% de umidade (germinação > 85-90% e IVE sem prejuízo).
  - **Limiar Crítico:** 33% de água (queda estatisticamente significativa na viabilidade para ~74%).
  - **Limiar Letal:** 15% de água (morte embrionária total; 0% de germinação).
- **Armazenamento e Logística:** Sementes despulpadas devem ser acondicionadas em sacos de polietileno semipermeáveis, mantidas umedecidas e semeadas em no máximo 15 a 20 dias após a coleta.
- **Protocolo de Semeadura e Orientação do Poro Opercular:** A semeadura deve ser realizada em profundidade de 1 a 2 cm (máximo de 3 cm). A orientação do poro opercular deve ser voltada para cima ou para o lado, o que proporciona até 92% de emergência rápida e uniforme. Deve-se evitar estritamente o poro voltado para baixo, pois essa posição incorreta atrasa a emergência do botão germinativo em mais de 15 dias e reduz a uniformidade das mudas.
- **Armazenamento de Longa Duração:** Sementes mantidas com teor de água de 43,4% em embalagens herméticas a 20 °C mantêm viabilidade e vigor por até 270 dias. É expressamente proibido o armazenamento sob temperaturas frias (< 15 °C), as quais causam lesões irreparáveis por chilling (chilling injury letal) e perda total da capacidade germinativa.

### 3.2. Padrões Germinativos e Ontogenia

- **Morfologia Germinativa:** Criptocotiledonar hipógea, adjacente ligulada. O cotilédone permanece intra-seminal, expandindo-se em haustório esponjoso que hidrolisa as reservas do endosperma ruminado.
- **Cronologia:**
  - *E. oleracea*: Emergência do botão germinativo em 18 a 25 dias; eófilo completamente expandido em 40 a 50 dias.
  - *E. precatoria*: Germinação mais lenta e heterogênea; botão germinativo entre 25 e 35 dias; emergência do eófilo com limbo bífido entre 70 e 90 dias após semeadura.

### 3.4. Resgate In Vitro de Embriões Zigóticos

- **Protocolo de Cultivo de Tecidos:** Para trânsito e intercâmbio seguro de germoplasma sem risco fitossanitário, emprega-se o cultivo *in vitro* de embriões zigóticos maduros. O cultivo em meio MS suplementado com 0,54 µmol/L de ANA e 2,68 µmol/L de BAP resulta em uma taxa de regeneração de 89,2% de plântulas normais e bem desenvolvidas.

### 3.3. Substratos e Nutrição no Viveiro

- **3.3. Substrato e Adubação de Liberação Lenta em Viveiro (Souza et al., 2019)**

O cultivo de mudas conduzido sob sombreamento moderado (30% a 50%) com incorporação de fertilizante de liberação lenta (Osmocote na dosagem de 8,0 kg m<sup>-3</sup> de substrato) otimiza o acúmulo de biomassa e o equilíbrio nutricional, resultando em mudas com Índice de Qualidade de Dickson (IQD) superior a 0,45 aos 240 dias após a emergência. Cabe destacar que a atenuação de 50% da radiação solar global em viveiro proporciona o melhor equilíbrio morfofisiológico (+35% de área foliar), evitando a fotoinibição severa observada a pleno sol e o estiolamento excessivo registrado sob 75% de sombreamento (Conforto & Contin, 2009). Na Amazônia Ocidental, o sombreamento regional mantido na faixa de 40% a 50% promove o maior acúmulo de biomassa seca total e radicular nas mudas em formação (Dapont et al., 2016).

- **3.4. Clonagem Vegetativa por Perfilhos (Nascimento & Müller, 2018)**
- Para a propagação vegetativa e clonagem de genótipos elitizados de *E. oleracea*, realiza-se o desprendimento cuidadoso de perfilhos basais apresentando 2 folhas completamente expandidas e a folha-flecha em formação. Mantidos sob câmara de nebulização intermitente e substrato poroso, o protocolo garante taxa de enraizamento e pegamento superior a 70%.

### 3.5. Efeito da Posição do Diásporo e Profundidade Crítica de Semeadura

- **Profundidade e Orientação do Poro Opercular (Silva e Silva, Oliveira & Nakagawa, 2007):** A semeadura deve ser realizada estritamente superficial a 0 cm (semente disposta sobre a superfície e coberta por camada fina de 1 a 2 cm de substrato leve), mantendo o poro opercular direcionado para cima ou para o lado, o que assegura emergência de 88% a 92%. Semeaduras em profundidades iguais ou superiores a 3 cm, associadas à orientação do poro para baixo, reduzem a emergência para níveis inferiores a 45% e provocam atrasos no surgimento das mudas superiores a 18 dias, devido às barreiras físicas impostas pela ontogenia criptocotiledonar hipógea adjacente ligulada.

### 3.6. Manejo Sanitário Seminal e Biocontrole Profilático contra Fitopatógenos

- **Tratamento Biológico e Fitossanitário de Sementes (Rosário et al., 2022):** O tratamento de sementes recém-despolpadas com suspensão microbiológica de *Bacillus subtilis* ou com extrato vegetal aquoso de nim (*Azadirachta indica*) na concentração de 10% inibe em mais de 75% a incidência de fungos seminais oportunistas e veiculados (gêneros *Fusarium*, *Aspergillus* e *Curvularia*), promovendo um incremento na taxa de emergência final das plântulas de até 22% em relação ao testemunha sem tratamento.

### 3.7. Qualidade de Sementes e Manejo Nutricional de Mudanças de *Euterpe precatoria*

- **Avaliação da Viabilidade e Testes Fisiológicos (Lima et al., 2026):** Estabelece-se o teste padrão de tetrazólio a 1% como método oficial mandatório para avaliação do vigor e viabilidade de sementes de *Euterpe precatoria*. Desaconselha-se formalmente o teste de pH do exsudato com semente intacta, devido à superestimação sistemática da viabilidade provocada pela liberação irregular de metabólitos seminares.
- **Manejo Nutricional e Cronograma de Parcelamento de N e K (Butzke et al., 2023):** Recomenda-se a adubação de mudas em viveiro com dosagens de 45 a 60 mg/dm<sup>3</sup> de N e 80 a 120 mg/dm<sup>3</sup> de K. O cronograma ótimo de parcelamento de N define a aplicação de 30% aos 90 dias, 30% aos 180 dias e 40% aos 240 dias após a repicagem, maximizando o acúmulo de biomassa foliar e radicular.

### 3.8. Biofertilização com Rizobactérias (RPCP) e Aceleração do Ciclo de Formação de Mudanças

- **Inoculação com Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (Castro et al., 2020):** A inoculação de *Bacillus subtilis* (BRM-32113) e *Burkholderia* sp. promove um aumento substancial nos teores foliares de N, P e K (destacando-se o ganho de +73% em P) acompanhado de elevada eficiência fotossintética ( $F_v/F_m > 0,78$ ). Esse incremento nutricional e fisiológico reduz o tempo de viveiro, antecipando o transplântio das mudas comerciais para 5 meses.

### 3.7. Inoculação com Rizobactérias Promotoras de Crescimento (PGPR) para Mitigação de Déficit Hídrico

- **Mitigação de Estresse Hídrico por PGPR (Silva et al., 2024):** Inoculação de mudas com *Priestia aryabhattai* (cepa AP1VV7) e *Bacillus proteolyticus* de solos amazônicos; síntese de AIA (48,6 µg/mL) e ACC desaminase; aceleração germinativa em 6 a 8 dias sob seca severa (-1,0 MPa) e aumento de 42,8% no comprimento radicular e 37,5% na biomassa seca radicular.

### 3.5. Modelagem Alométrica de Área Foliar e Adensamento Populacional de *E. precatoria*

- **Divergência Ontogenética e Adensamento em Terra Firme (Delgado et al., 2024):** Avaliações comparativas confirmam a precocidade reprodutiva de *E. oleracea* (início do florescimento aos 44 meses) frente ao ciclo juvenil prolongado de *E. precatoria*. A arquitetura de copa mais compacta e ereta de *E. precatoria* permite o adensamento produtivo de 600 a 800 plantas ha<sup>-1</sup> em terra firme. O monitoramento não destrutivo do crescimento é otimizado por modelos alométricos de área foliar de alta precisão baseados no comprimento da ráquis e na largura dos folíolos medianos Delgado et al., 2024.

### 3.8. Inoculação com *Bacillus subtilis* e Otimização do Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

- **Inoculação com *Bacillus subtilis* e Qualidade de Mudas (Campos et al., 2023):** A inoculação com *Bacillus subtilis* proporciona um aumento expressivo no diâmetro do coleto para 4,14 mm (+19%), biomassa radicular de 0,28 g e elevação do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) para 0,0966 (+23,7%), assegurando maior rusticidade e resistência contra o tombamento no plantio inicial Campos et al., 2023.

## 4. Solos, Correção e Nutrição Mineral

### 4.1. Diagnóstico e Características dos Solos de Terra Firme

- Os solos predominantes no Pará (Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos distróficos) caracterizam-se por:
  - Elevada acidez (pH em água entre 4,2 e 5,0).
  - Alta saturação por alumínio trocável ( $m > 40-60\%$ ).
  - Baixa saturação por bases ( $V < 20-30\%$ ).
  - Teores de Fósforo disponível extremamente baixos ( $P < 2-3 \text{ mg dm}^{-3}$  Mehlich-1), com elevada capacidade de fixação de fosfato em óxidos de ferro e alumínio.
  - Baixa capacidade de troca de cátions efetiva e carência acentuada de boro.

### 4.2. Calagem e Gessagem

- **Objetivo da Calagem:** Elevar a saturação por bases (V) para **60%** na projeção da copa e neutralizar o alumínio tóxico ( $\text{Al}^{3+}$ ).
- **Critério de Cálculo:**  $\text{NC (t ha}^{-1}\text{)} = [\text{CTC} \times (\text{V}_2 - \text{V}_1)] / [100 \times \text{PRNT}]$  Onde  $\text{V}_2 = 60\%$  e PRNT é o poder relativo de neutralização total do calcário.
- **Fonte:** Calcário dolomítico ( $\text{MgO} > 12\%$ ), garantindo fornecimento simultâneo de Cálcio e Magnésio.
- **Gessagem:** Recomendada quando, na camada de 20 a 40 cm, o teor de  $\text{Al}^{3+} > 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ou a saturação por alumínio for superior a 30%, e o cálcio for inferior a  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . A dose média situa-se entre 500 e 1.000  $\text{kg ha}^{-1}$  em faixa, permitindo a descida de cálcio em profundidade e estimulando o enraizamento subsuperficial contra a seca.

### 4.3. Adubação de Plantio e Formação

- **Hierarquia de Limitação Inicial:** Constatada cientificamente como **P > N > K > Mg e Mn > Cu > B**. A falta de fósforo paralisa o crescimento vegetativo em Latossolos.
- **Adubação na Cova (40 × 40 × 40 cm):**
  - 150 a 200 g de calcário dolomítico misturado à terra da cova.
  - 150 a 200 g de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel (superfosfato simples ou superfosfato triplo) ou 300 g de fosfato natural reativo associado a 100 g de superfosfato simples.
  - 5 a 10 litros de esterco bovino bem curtido ou 2 a 3 litros de cama de galinha.
  - 10 g de FTE BR-12 ou equivalente de micronutrientes com B e Zn.
- **Adubação de Cobertura no 1º Ano:**
  - Parcelamento trimestral de Nitrogênio e Potássio: 40 a 60 g de N e 30 a 50 g de  $\text{K}_2\text{O}$  por touceira/ano, fracionados em 3 a 4 aplicações no período chuvoso ou mensalmente via fertirrigação.

### 4.4. Nutrição e Fertirrigação no Pomar Adulto

- **Demanda de Macronutrientes:** Na fase de colheita, o Potássio (K) torna-se o nutriente mais exportado nos cachos, seguido pelo Nitrogênio (N), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Fósforo (P).
- **Manejo Estrito do Boro (B):**

- **Dose ótima a campo: 20 g de B touceira<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>** via fertirrigação parcelada (ácido bórico).
- **Teores foliares diagnósticos** (Folha 6):
  - Nível crítico: **13,2 mg kg<sup>-1</sup>**.

#### 4.5. Fitoextração e Comportamento em Solos Marginais (Souza et al., 2022)

- **Retenção de Metais Pesados:** O sistema radicular de *E. oleracea* retém e compartimentaliza mais de 85% a 90% dos metais pesados (Cd, Pb, Cr, Cu) em solos minerados, sem translocação tóxica detectável para a polpa dos frutos, viabilizando o cultivo para restauração produtiva de áreas degradadas.
  - Faixa ótima de produtividade: **14,9 a 16,0 mg kg<sup>-1</sup>**.
  - **Alerta de Fitotoxicidade:** Doses iguais ou superiores a 40 g de B touceira<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> reduzem a colheita, provocam clorose marginal e queimadura de pontas foliares decorrente do acúmulo de boro nas margens das lâminas foliares.

#### 4.5. Padronização Oficial da Folha Diagnóstica (Folha nº 5) e Ordem de Demanda Nutricional

- **Diagnose Foliar e Amostragem (Viégas et al., 2022):** A posição filotóxica 5 (Folha nº 5) é estabelecida como o padrão fisiológico e estatístico ótimo para diagnose foliar, apresentando menor variância e maior carga fatorial na análise de componentes principais (PCA). O protocolo de amostragem recomenda a coleta de folíolos medianos de 25 plantas por talhão homogêneo. A ordem decrescente de exigência e acúmulo nutricional observada é: **N > K > Ca > S > P > Mg**.

#### 4.6. Simbiose Micorrízica Arbuscular (FMA) e Nutrição Fosfatada em Solos Pobres

- **Associação Mutualística Micorrízica (Montenegro Gómez et al., 2020):** Identifica-se expressiva associação mutualística com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nativos das famílias Acaulosporaceae e Glomeraceae (com densidades de 660 a 791 esporos por 100 g de solo). Constata-se correlação estritamente inversa com o teor de P disponível no solo ( $r = -1,0$ ), fornecendo diretrizes para a bioinoculação micorrízica eficiente em solos ácidos e de baixa fertilidade de terra firme.

#### 4.9. Fertilidade Natural e Manejo de Nitrogênio em Solos de Várzea Estuarina e Baixo Amazonas

- **Diagnóstico de Fertilidade e Limitação Nitrogenada (Alfaia et al., 2022):** Avaliação conduzida em 62 sistemas de uso da terra e 15 comunidades na calha Solimões-Amazonas revela alta saturação por bases ( $V > 70\%$ ), teores elevados de cálcio (7,8 a 18,4 cmol<sub>c</sub>/kg), magnésio (2,3 a 5,7 cmol<sub>c</sub>/kg) e fósforo disponível (28 a 190 mg/kg), sem presença de alumínio trocável. Comprova-se que o nitrogênio total (0,23 a 1,75 g/kg) constitui o fator limitante primário na várzea, exigindo suplementação nitrogenada mineral/orgânica e consórcio com leguminosas para sustentar açaizais intensificados.

#### 4.10. Recuperação da Fertilidade Edáfica, Variabilidade Espacial e Bombeamento Radicular em SAFs com Açaizeiro

- **Cronossequência e Restauração de Nutrientes (Souza et al., 2025):** Estudo de cronossequência em Irituia/PA demonstra aporte de serapilheira de 5,73 t/ha aos 7 meses e restauração plena da fertilidade edáfica na maturidade do sistema (11,42 t/ha de serapilheira),

equiparando os teores de Ca, Mg, K, P e matéria orgânica do solo aos valores observados em matas nativas adjacentes.

- **Variabilidade Espacial Geoestatística (Santos et al., 2023):** A caracterização geoestatística da variabilidade espacial de nutrientes sob consórcios de açaí revela alcance de dependência espacial de 42 m para matéria orgânica do solo (MOS) e 38 m para fósforo disponível (P), promovendo a homogeneização gradativa da fertilidade no horizonte arável.
- **Rede de Segurança Radicular e Bombeamento (Flores & Schroth, 2012):** O sistema radicular profundo opera como rede de segurança radicular (*root safety net*), promovendo o bombeamento ativo de nutrientes da subsuperfície e reduzindo as perdas por lixiviação de potássio em mais de 50%.

## 5. Agrometeorologia, Balanço Hídrico e Manejo da Irrigação

### 5.1. Exigências Térmicas e Graus-Dia (*Euterpe oleracea*)

**Constantes Bioclimáticas e Demanda Hídrica Suplementar:**

- Temperatura-base inferior geral ( $T_b$ ): 10,0 a 13,5 °C.
- Temperatura-base superior geral ( $T_B$ ): 32,5 °C.
- Soma térmica da pré-floração à colheita: **3.893 graus-dia (°C dia)**.
- Duração média do ciclo reprodutivo na Amazônia Oriental: **283 dias** (~9,5 meses).
- **Irrigação Suplementar na Amazônia Oriental:** Em regiões como Castanhal e Capitão Poço, durante a fase crítica de frutificação (agosto a novembro), cerca de 27% a 33% da água total consumida pela cultura deve ser suprida via irrigação suplementar sob a copa para evitar o abortamento de frutos e garantir o rendimento da safra (Sousa et al., 2022).
- **Partição da Demanda por Estádio:**
  - Pré-floração: 24,6% dos graus-dia.
  - Floração: 9,6% dos graus-dia.
  - **Fruto verde (Crescimento celular e acúmulo de biomassa): 42,0% dos graus-dia.** Fase mais longa e de máxima exigência metabólica.
  - Mudança de cor: 18,9% dos graus-dia.

### 5.4. Zoneamento Agrícola e Limites Climáticos de Expansão

- **Requisitos Pluviométricos e Térmicos:** A faixa ideal para cultivo comercial exige precipitação pluviométrica anual entre 1.600 e 2.000 mm e temperatura média anual superior a 21 °C.
- **Impacto da Irrigação na Aptidão Climática:** Em regiões fora da Amazônia equatorial com déficit hídrico anual acumulado > 200 mm/ano, o uso do manejo suplementar de irrigação é mandatório, elevando a área de aptidão agrícola de apenas 12,6% (cultivo de sequeiro) para 74,2% das terras avaliadas.
  - Maturação final: 4,9% dos graus-dia.

### 5.2. Ecofisiologia do Déficit Hídrico

- **Comportamento Estomático:** A condutância stomática ( $g_s$ ) e a taxa fotossintética (A) diminuem acentuadamente a partir do 10º dia de déficit no solo.
- **Potenciais Críticos:**
  - Queda de 50% na fotossíntese:  $\Psi_{\text{foliar}} \approx -1,9$  MPa.
  - Fechamento estomático severo:  $\Psi_{\text{foliar}} \approx -2,4$  MPa.
  - Fotossíntese líquida nula ( $A = 0$ ):  $\Psi_{\text{foliar}} \approx -2,5$  MPa.

### 5.3. Bioquímica da Tolerância ao Alagamento e Anoxia Radicular (Gonçalves et al., 2010)

- **Exigência de Oxigênio na Germinação:** Diferentemente das plantas adultas adaptadas à várzea, as sementes de açaí necessitam estritamente de oxigênio livre para germinar, sendo a anoxia total um fator limitante para a emergência.
- **Indução da Enzima ADH sob Hipóxia:** Em plântulas submetidas ao alagamento, observa-se uma resposta metabólica adaptativa com aumento de 4 a 6 vezes na atividade da enzima álcool desidrogenase (ADH) em tecidos foliares e radiculares. Essa indução enzimática permite a reciclagem do  $\text{NAD}^+$  e a manutenção da via glicolítica fermentativa sob condições de hipóxia radicular.
- **Histerese de Recuperação:** Uma vez submetido a estresse hídrico severo prolongado, o açaizeiro leva cerca de **14 dias de reidratação contínua** para recuperar sua capacidade fotossintética e abertura estomática plena aos níveis de controle. Portanto, o estresse intermitente causa déficit produtivo cumulativo severo.

### 5.3. Dimensionamento e Manejo da Irrigação em Terra Firme

- **Sistema Preferencial:** Microaspersão sob a copa (1 microaspersor autocompensante por touceira com vazão de 40 a 60 L h<sup>-1</sup>, raio de molhamento de 1,5 a 2,0 m).
- **Lâmina de Irrigação Ótima:**
  - Reposição baseada na Evapotranspiração da Cultura ( $\text{ET}_c = \text{ET}_0 \times K_c$ ).
  - Coeficientes de cultura ( $K_c$  médios para terra firme):
    - Fase vegetativa / formação (ano 1 a 2):  $K_c = 0,7$  a  $0,8$ .
    - Pomar adulto em produção:  $K_c = 1,0$  a  $1,2$  (atingindo  $1,2$  a  $1,25$  no pico da fase de fruto verde).
  - **Nível de reposição:** Entre **100% e 120% da  $\text{ET}_c$**  para maximizar a colheita (atingindo tetos produtivos de 10 a 12 t ha<sup>-1</sup> de frutos frescos) com produtividade da água de aproximadamente **1,82 kg m<sup>-3</sup>**.
  - Consumo médio diário em pomar adulto no período seco (Castanhal/Belém): 80 a 120 litros por touceira/dia.

### 5.6. Modelagem de Nicho Ecológico e Mudanças Climáticas (Meneses et al., 2024)

- **Resiliência e Zonas de Refúgio:** *Euterpe precatoria* apresenta maior resiliência sob cenários de aquecimento global (SSP 245 e 585 até 2080) que *E. oleracea*, identificando a Amazônia Central como zona estratégica de refúgio e hibridização natural.

### 5.4. Zoneamento Agroclimático Extrarregional e Critérios para Expansão fora da Amazônia

- **Aptidão Edafoclimática no Espírito Santo:** Identificação de 20,74% de aptidão edafoclimática no Espírito Santo (com polo em Linhares, São Mateus e Aracruz), temperatura média > 22 °C e precipitação > 1400 mm, sendo a irrigação suplementar mandatória para suprimir déficit hídrico anual > 150-200 mm (Silva et al., 2015).

### 8.7. Modelagem de Nicho Bioclimático (Maxent) e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas

- **Aptidão Bioclimática e Desafio Térmico (Vaz & Nabout, 2016):** A modelagem de nicho ecológico via Maxent/AIC demonstra a dependência estrita da produtividade municipal de *E. oleracea* à adequabilidade bioclimática e ao espaço geográfico, alertando para a necessidade mandatória de irrigação localizada em cenários futuros de migração térmica para o arco do desmatamento.

## 5.7. Respostas Fisiológicas e Limiares de Fotoinibição sob Estresse Salino na Água de Irrigação

- **Respostas Fisiológicas e Limiares Salinos (Silva et al., 2026):** Avaliação sob condutividades elétricas crescentes ( $EC_w$  0,1 a 5,0 dS/m); quedas de 41,33% em  $g_s$  e 35,48% em transpiração sob 5,0 dS/m; redução de 20% em  $F_v/F_m$  e de 33% em  $F_v/F_0$  com elevação de 69% em  $F_0/F_m$  (fotoinibição crônica); tolerância e eficiência no uso da água superiores em *E. oleracea* frente a *E. edulis*; limite seguro de  $EC_w \leq 1,5$  dS/m com fração de lixiviação.

## 6. Biologia Floral e Manejo da Polinização

### 6.1. Protandria e Fenologia Floral

**Mecanismo de Polinização e Valor Trófico:** As espécies de açaizeiro apresentam protandria estrita, onde a fase masculina (abertura e desidratação das anteras) precede a fase feminina (receptividade estigmática), impedindo a autogamia na mesma inflorescência e promovendo a alogamia compulsória. Além disso, o pólen de açaizeiro representa um recurso trófico contínuo e essencial por mais de 4 meses consecutivos para colônias de abelhas sem ferrão dos gêneros *Trigona* e *Melipona*, sustentando a manutenção e o crescimento das populações desses polinizadores no ecossistema (Oliveira et al., 2009).

### 6.2. Agentes Polinizadores e Eficiência de Carga Polínica

- **Papel das Abelhas Nativas Sem Ferrão:** Espécies de meliponíneos como *Trigona branneri*, *Trigona pallens* e halictídeos do gênero *Augochloropsis* são os polinizadores efetivos dominantes. Estudos quantitativos demonstram que essas abelhas carregam uma carga polínica aderida ao corpo até **8 vezes superior** à de outros visitantes florais ocasionais.
- **Janela de Pico de Visitação:** A máxima atividade forrageira dos polinizadores ocorre no período da manhã, entre **08h e 13h**, horário coincidente com a máxima liberação de odor floral atrativo e receptividade estigmática.

**Manejo de Colmeias e Integração com a Meliponicultura:** A introdução e manutenção de colmeias de meliponíneos (como *Trigona* e *Melipona*) no interior e no entorno de pomares comerciais de terra firme eleva a taxa de vingamento de frutos e incrementa a produtividade final em áreas com déficit de polinizadores naturais, beneficiando-se mutuamente da oferta prolongada de alimento de alta qualidade floral (Oliveira et al., 2009).

### 6.3. O Açaizeiro como Recurso Apícola Estratégico e Sinergia com *Apis mellifera*

- **Fornecimento Constante de Pólen e Sustentação de Colmeias (Marques et al., 2011):** O açaizeiro atua como um recurso apícola estratégico ao fornecer pólen de forma constante ao longo de todo o ano na Amazônia Maranhense. Essa oferta contínua garante a sustentação biológica e a manutenção de colmeias de *Apis mellifera* durante os períodos de estiagem floral das espécies nativas circundantes.

## 7. Manejo Fitotécnico e Sistemas de Plantio

### 6.1. Espaçamentos Recomendados

- **Monocultivo em Terra Firme:**

- 5 m × 5 m (400 touceiras ha<sup>-1</sup>): Espaçamento clássico que proporciona excelente iluminação lateral e trânsito mecanizado leve.
- 6 m × 4 m (416 touceiras ha<sup>-1</sup>) ou 6 m × 3,5 m (476 touceiras ha<sup>-1</sup>): Otimizam a circulação nas entrelinhas para pulverizadores e carretas de colheita.

- **Sistemas Agroflorestais (SAFs):**

- Faixas duplas ou triplas de açaizeiro (4 × 4 m) intercaladas com linhas de espécies florestais/frutíferas perenes (cacau, cupuaçu, mogno-africano, andiroba) em faixas de 8 a 12 m.
- **Aporte de Serapilheira e Ciclagem de Nutrientes:** Em SAFs consolidados, a deposição contínua de biomassa atinge entre **7,8 e 10,2 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de serapilheira**, promovendo rápida ciclagem e liberação de Potássio (K) e Nitrogênio (N), com tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) de decomposição estimado entre **115 e 140 dias**.

### 6.2. Condução e Desbaste de Touceiras (*Euterpe oleracea*)

- **Regra Fundamental de Produtividade:** O açaizeiro não deve ser deixado em adensamento livre de perfilhos. A competição intra-touceira reduz a espessura dos estipes, alonga internódios e diminui drasticamente o número de cachos e o tamanho dos frutos.

- **Estrutura Ideal da Touceira Adulta:**

- Manter rigorosamente **3 a 4 estipes produtivos por touceira**, com idades escalonadas:
  - 1 estipe em plena produção alta.
  - 1 estipe em início/média produção.
  - 1 estipe jovem iniciando florescimento.
  - 1 perfilho guia em crescimento vegetativo de reposição.

- **Frequência do Desbaste:** Operação semestral ou anual pós-colheita, eliminando brotações finas, perfilhos mal posicionados, estipes excessivamente altos (> 12 m, que inviabilizam a colheita manual segura) e estipes com curvatura excessiva.

### 6.3. Manejo de Mínimo Impacto em Várzeas Nativas

- Preservar a cota de biodiversidade florestal de várzea: manter pelo menos 50 a 60 árvores de outras espécies florestais nativas por hectare (ex.: mutamba, virola, seringueira, taperebá) para garantir ciclagem de nutrientes pelas marés, polinizadores e proteção de margens de rios.

### 7.5. Reversão da Açaificação em Várzeas: Enriquecimento Silvicultural e Conservação de Forófitos

- **Enriquecimento Silvicultural em Várzeas (Carvalho et al., 2021):** A reversão do processo de açaificação em várzeas estuarinas fundamenta-se em práticas de enriquecimento florestal (alcançando taxas de 44,7% em várzea baixa e 7,9% em várzea alta) aliadas ao estímulo à regeneração natural de espécies arbóreas dominantes do dossel.
- **Conservação de Forófitos Epífitos (Oliveira et al., 2025):** A preservação de forófitos de grande porte com ritidoma rugoso e fissurado (como gêneros *Cedrela*, *Hevea* e *Spondias*) é indispensável para dar suporte físico à comunidade de orquídeas epífitas e à diversidade de insetos polinizadores associados.
- Limitar a densidade total de estipes de açaí na várzea a no máximo **400 touceiras ha<sup>-1</sup> ou 1.200 a 1.600 estipes ha<sup>-1</sup>**.

## 6.6. Limites Ecológicos do Manejo de Várzea e Prevenção da "Açaização" Monodominante

- **Salvaguarda Eossistêmica e Amortecimento Econômico (Oliveira et al., 2025):** O manejo silvicultural sustentável de açaizais nativos em florestas de várzea exige o desbaste seletivo rigoroso e o enriquecimento florestal, estabelecendo a manutenção compulsória de pelo menos 50 a 80 árvores de outras espécies florestais nativas por hectare. Essa retenção previne a degradação por monodominância ("açaização"), protege o ecossistema estuarino e proporciona diversificação de produtos (como madeira, óleos e outros frutos), amortecendo a sazonalidade da renda familiar entre a safra e a entressafra Oliveira et al., 2025.

## 7.6. Modelagem Silvicultural de Colheita em Várzeas com a Curva de De Liocourt

- **Manejo Sustentável e Rentabilidade Integrada (Gama et al., 2005):** Prescrição silvicultural baseada na distribuição diamétrica ( $q = 2,61$ ) e remoção de até 30% da área basal, mantendo estoque residual equilibrado de palmito de 1ª classe (48,8 ind./ha) e 2ª classe (772,4 ind./ha) integrado à colheita de frutos, gerando receita líquida de US\$ 3.945,40/ha Gama et al., 2005.

## 7.7. Uso do Solo na Fase Pré-Produtiva (Anos 1 a 3): Cultivos Intercalares Temporários nas Entrelinhas

- **Cultivos Intercalares Temporários e Viabilidade Econômica (Vieira et al., 2007):** O cultivo intercalar nas entrelinhas durante a fase pré-produtiva do açaizeiro (anos 1 a 3) permite a amortização de 60% a 70% dos custos totais de implantação da lavoura e reduz em até 50% as capinas. Recomenda-se o uso de consórcios com feijão-caupi (fixação biológica de N, ciclo de 65-75 dias), milho verde e palhada (75-90 dias), melancia/abóbora (75-85 dias), abacaxi em fileiras duplas (colheita aos 14-18 meses com alta liquidez), mandioca (10-14 meses com poda lateral) e maracujá/mamão. É obrigatório manter uma faixa de coroamento limpa de 1,0 a 1,5 m de raio ao redor das touceiras de açaí, promovendo a desativação gradual dos cultivos temporários no 36º mês Vieira et al., 2007.

## 7.8. Consórcio Perene com Cacaueiro (*Theobroma cacao*) e Equilíbrio Microbiológico Rizosférico

- **Equilíbrio Microbiológico no Consórcio Açaí-Cacau (Sousa et al., 2024):** O consórcio perene com cacaueiro (*Theobroma cacao*) promove o enriquecimento da microbioma rizosférico com bactérias diazotróficas (genes *nifH*), organismos solubilizadores de P e cepas de *Bacillus* produtoras de lipopeptídeos antimicrobianos, atuando na proteção biológica contra podridões radiculares Sousa et al., 2024.

## 7.9. Balanço de Carbono, ACV e Densidade de Touceiras em SAFs Certificados

- **Balanço de Carbono e Avaliação do Ciclo de Vida (Oliveira et al., 2025):** A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em SAFs certificados demonstra um balanço de carbono líquido negativo (-1,24 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg de fruto) e uma redução de 40% na demanda por fertilizantes nitrogenados sintéticos Oliveira et al., 2025.
- **Densidade Sustentável em Agroflorestas (Freitas et al., 2022):** O manejo com densidade sustentável de 400 touceiras/ha sustenta produtividades de 18 a 22 kg/touceira, favorecendo a atividade de abelhas nativas polinizadoras e mantendo 30% de área basal de espécies arbóreas associadas Freitas et al., 2022.

## 7.10. Arranjos Silvagrícolas Multiestratificados e Viabilidade Macroeconômica dos SAFs com Açaí (Modelo Tomé-Açu / SAFs-A)

- **Estratificação Vertical e Densidade (Bolfe & Batistella, 2011):** Disposição do açaizeiro nos estratos intermediário e superior (8 a 15 m de altura com 300 a 450 touceiras/ha), consorciado com cupuaçu/cacau no sub-bosque (3 a 7 m) e essências florestais emergentes (> 18 m). O arranjo opera com Índice de Área Foliar (IAF) conjunto de 4,2 a 5,8 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> sem competição deletéria por radiação luminosa.
- **Trajectoria Macroeconômica (Costa et al., 2024):** A variante SAFs-A apresenta expansão contínua de área de 3,3% a.a. na Amazônia Oriental e entrega renda líquida familiar de 2,4 a 3,1 vezes superior à pecuária extensiva, proporcionando a amortização rápida dos investimentos iniciais via cultivos temporários intercalares nas entrelinhas.

## 8. Manejo Integrado de Pragas e Doenças (MIPD)

### 7.1. Pragas de Importância Econômica

- **Broca-do-olho-do-coqueiro (*Rhynchophorus palmarum* L.):**
  - **Dano:** Larvas broqueiam o meristema apical (olho) e o estipe superior, causando amarelecimento e morte da planta. Vetor primário do nematoide *Bursaphelenchus cocophilus*, causador da doença do anel-vermelho.
  - **Monitoramento e Manejo:** Instalação perimetral de armadilhas iscadas com feromônio de agregação sexual (Rincoforol) associadas a pedaços de cana-de-açúcar fermentada ou abacaxi como atraente alimentar. Eliminação e queima/trituração imediata de estipes atacados e mortos para quebrar o ciclo reprodutivo do inseto.
- **Broca-do-estipe (*Metamasius hemipterus* L. e *Metamasius ensirostris*):**
  - **Dano e Associação:** Ambas as espécies de *Metamasius* atacam estipes escavando galerias profundas. Constatou-se associação direta em mais de **85% dos casos** com ferimentos mecânicos provocados durante operações de colheita e desbaste inadequado de perfilhos.
  - **Manejo:** Prevenção de ferimentos nos estipes durante os tratos culturais e podas rentes ao solo, com pincelamento de calda cicatrizante/protetora em cortes de perfilhos grossos.
- **Pulgão-do-açaizeiro (*Cerataphis brasiliensis*) e Ácaros:**
  - **Sintomatologia e Impacto Fotossintético:** As colônias concentram-se na face abaxial das folhas jovens e inflorescências. A sucção contínua de seiva elaborada aliada à deposição de honeydew favorece o desenvolvimento denso de fungos do complexo da fumagina, provocando o sombreamento e a perda de até 40% da área fotossintética útil das plantas infestadas.
  - **Manejo Ecológico:** Aplicação foliar de calda de sabão potássico a 1% (10 g L<sup>-1</sup>), que promove o controle mecânico eficaz do pulgão por desidratação da cutícula, preservando a fauna de inimigos naturais (como larvas de joaninhas e crisopídeos) e eliminando a camada superficial de fumagina.
- **Mosca-branca-gigante (*Aleurodicus pseudugesii*) em *Euterpe precatoria*:**
  - **Sintomatologia e Impacto em Viveiro:** A praga ataca intensamente mudas de *E. precatoria* em fase de viveiro, formando colônias densas cobertas por secreções cerosas esbranquiçadas na face abaxial das folhas, promovendo sucção contínua de seiva e indução severa de fumagina.
  - **Manejo Integrado em Viveiro:** Inspeção semanal e eliminação manual/pruning de folhas fortemente infestadas, controle químico e biológico direcionado, aumento do espaçamento entre mudas para favorecer a ventilação e aplicação de óleos vegetais ou detergentes neutros a 1% para remoção da cera e da fumagina.
- **Ácaro-vermelho-das-palmeiras (*Raoiella indica*) - Alerta Quarentenário:**

- **Colonização e Sintomatologia:** A praga coloniza a face abaxial das folhas, provocando amarelamento intenso e clorose em faixas contínuas, evoluindo para necrose foliar severa e secamento prematuro dos folíolos.
- **Medidas Preventivas e Quarentena:** Rigorosa inspeção fitossanitária no trânsito de material propagativo, interdição e quarentena imediata de lotes de mudas suspeitas provenientes de áreas com ocorrência confirmada da praga (Navia et al., 2011).

## 8.5. Manejo Integrado de Ácaros Tetraniquídeos (Tetranychidae) em Viveiros de *Euterpe precatoria*

- **Diagnóstico Taxonômico e Sintomatologia (Vasconcelos et al., 2025):** Identificação e diagnóstico taxonômico das espécies *Tetranychus palmarum*, *Tetranychus ludeni* e *Oligonychus gossypii* atacando os folíolos de mudas em viveiros no Acre. O ataque caracteriza-se pela formação de teias densas e clorose severa na face abaxial.
- **Estratégias de Controle Cultural e Biológico:** Implementação de controle cultural via aspersão foliar periódica para aumento da umidade relativa do ar no microclima do viveiro, aliada ao controle biológico e alternativo com ácaros predadores fitoseídeos e aplicações de óleo de nim.

## 8.4. Manejo de Pragas Sugadoras e Mutualismo Trofobiótico (*Crematogaster* - *Cerataphis*)

- **Associação Trofobiótica e Controle:** Associação mutualística trofobiótica entre *Crematogaster acuta* e *Cerataphis brasiliensis* em mudas de *E. precatoria*, onde as formigas protegem colônias em troca de honeydew, exigindo barreiras físicas com cola ou graxa nas bancadas de viveiro (Santos & Peronti et al., 2026).

## 7.2. Doenças de Importância Agronômica

- **Antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.):**
  - **Sintomatologia:** Manchas necróticas escuras, circulares a irregulares, com halos cloróticos em folhas e frutos. Em condições epidêmicas no campo, causa a mumificação e queda prematura de até **30% dos frutos nos cachos**.
  - **Manejo Cultural:** Evitar microclima com excesso de umidade estagnada; respeitar o espaçamento entre touceiras; erradicar e enterrar restos culturais e cachos mumificados. Em viveiro, evitar molhamento foliar noturno e usar calda bordalesa a 0,5% ou fungicidas cupricos preventivos.
- **Manchas Foliares Necróticas (*Bipolaris incurvata*, *Pestalotiopsis palmarum*):**
  - **Sintomatologia:** Pontuações marrons no limbo foliar que coalescem causando queima de folíolos em mudas sob desequilíbrio nutricional (especialmente deficiência de K e Mg).
  - **Manejo:** Correção do suprimento de potássio e micronutrientes para reforço da parede celular e equilíbrio fisiológico dos tecidos.
- **Micota Conidial da Parte Aérea e Medidas Profiláticas (Medeiros et al., 2012):**
  - **Inventário Fúngico:** Levantamentos taxonômicos da micota conidial da parte aérea do açaizeiro identificaram 52 táxons fúngicos, evidenciando uma expressiva diversidade de patógenos oportunistas, incluindo espécies dos gêneros *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Curvularia* e *Pestalotiopsis*.
  - **Manejo Profilático Obrigatório:** Como esses fungos habitam e se multiplicam em estruturas senescentes, torna-se indispensável o desbaste sistemático e a remoção das ráquias secas e restos de inflorescências da touceira, eliminando os principais inóculos de infecção secundária nos frutos e folhas jovens.

## 8.7. Biocontrole da Queima Foliar (*Pestalotiopsis* sp.) por Consórcio de *Bacillus* spp.

- **Biocontroladores e Bioestimulação Radicular (Garcias et al., 2025):** O consórcio nativo de *Bacillus* spp. isolados de Sistemas Agroflorestais (SAFs) atua na síntese de ácido indolacético (AIA, até 2,02 µg/mL) e proporciona inibição micelial de 67% a 100% do patógeno *Pestalotiopsis* sp. Essa ação biológica protege as mudas contra a queima foliar e atua como bioestimulante do desenvolvimento radicular em viveiro.

## 7.8. Manejo Integrado da Cochonilha-das-Palmáceas (*Nipaecoccus nipae*) em *Euterpe precatoria*

- **Primeiro Registro e Impacto Fisiológico (Santos & Peronti, 2023):** Primeiro registro formal no Brasil e no Acre atacando folhas e estipes de açaizeiro-solteiro, causando sucção contínua de seiva floemática e excreção massiva de honeydew, com proliferação severa de fumagina (*Capnodium* spp.) que reduz a taxa fotossintética da copa, exigindo inspeção na face abaxial dos folíolos, preservação de joaninhas e pulverizações de sabão potássico ou óleo de nim a 0,5% Santos & Peronti, 2023.

## 8.8. Microbiota Endofítica Benéfica e Bioprospecção de Lípases Industriais no Açaizeiro

- **Endófitos Benéficos e Lípases Industriais (Sena et al., 2022):** Isolação de 32 isolados de 13 gêneros assintomáticos em tecidos de açaizeiro (*Pestalotiopsis*, *Aspergillus*, *Trichoderma*); proteção biológica competitiva; hiperprodução de lípases alcalinas extracelulares por *Pestalotiopsis* sp. (94,0%) e *Aspergillus* sp. (93,87%) sob pH 9,0 para biocatálise de biodiesel e biorremediação.

# 9. Colheita, Pós-Colheita e Qualidade Agroindustrial

## 8.1. Ponto Ótimo de Colheita

- **Critério de Maturação:** Os frutos devem ser colhidos quando **mais de 90% a 95% das ráquias apresentarem coloração negro-arroxeadas uniforme**, com cobertura pruinosa cinzenta sobre o epicarpo (a pruína indica que o fruto completou o acúmulo de matéria seca e lipídeos).
- **Procedimento de Corte:** O corte do pedúnculo do cacho deve ser realizado com peconha e faca curva afiada, descendo o cacho com corda ou amortecedor para evitar impacto mecânico no solo, que trinca o pericarpo e acelera a oxidação enzimática dos polifenóis.

## 8.2. Higienização e Tratamento Térmico (Branqueamento Compulsório)

- **Objetivo Primário:** Eliminação do risco de contaminação microbiológica (coliformes termotolerantes e patógenos entéricos) e inviabilização do protozoário *Trypanosoma cruzi* (agente etiológico da doença de Chagas transmitido por fezes de triatomíneos triturados acidentalmente).
- **Protocolo Técnico Validado:**
- **Lavagem prévia e seleção:** Imersão e agitação em água clorada (50 mg L<sup>-1</sup> de cloro livre disponível) por 10 a 15 minutos para eliminação de sujidades grosseiras, terra e insetos.
- **Enxágue:** Com água potável corrente.
- **Branqueamento / Choque Térmico:**
  - Imersão dos frutos em água aquecida a **80 °C durante 10 segundos** (binômio estrito: 80^°C por 10s).

- **Retenção de Bioativos:** Mantém **92,4% das antocianinas monoméricas totais**, sem alteração sensorial e com esterilização biológica da superfície do fruto.
- **Resfriamento Imediato:** Imersão em água gelada potável até temperatura interna inferior a 25 °C para interromper o aquecimento interno e evitar degradação de compostos fenólicos.

### 8.3. Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ MAPA)

### 9.3. Conservação pela Tecnologia de Obstáculos (Sem Congelamento)

- **Formulação e Parâmetros da Tecnologia de Obstáculos:** Conservação da polpa em temperatura ambiente sem necessidade de congelamento, combinando pasteurização branda (80 °C por 1 minuto), redução da atividade de água ( $a_w \leq 0,97$ ) pela adição de sacarose, acidificação controlada até pH 4,0 e adição de conservantes alimentares autorizados (sorbato de potássio e benzoato de sódio).
- **Estabilidade de Prateleira e Retenção de Antocianinas:** O sistema multibarreira assegura estabilidade microbiológica e físico-química por período superior a 60 dias de estocagem a 25 °C, mantendo 82,5% das antocianinas monoméricas totais e preservando a atratividade de cor e sabor original do fruto.
- **Tipificação Comercial da Polpa:**
- **Açaí Grosso (Especial):** Sólidos totais > 14%.
- **Açaí Médio:** Sólidos totais entre **11% e 14%**.
- **Açaí Fino (Popular):** Sólidos totais entre **8% e 11%**.
- **Armazenamento e Cadeia do Frio:** Polpa pasteurizada e envasada deve ser congelada rapidamente em túnel a -35 °C a -40 °C e estocada a -18 °C ou temperatura inferior, garantindo estabilidade fitoquímica e de cor por até 12 a 24 meses.
- **Perfil Nutricional da Polpa Liofilizada:** A polpa liofilizada apresenta elevado valor energético (489 kcal por 100 g de matéria seca) e alto teor de lipídeos totais (40,7%), com predomínio do ácido graxo monoinsaturado oleico (52,7%). Destaca-se também pelos teores de minerais, fornecendo cerca de 900 mg de potássio e 330 mg de cálcio por 100 g de MS.
- **Desmistificação do Teor de Ferro:** Estudos analíticos precisos desmistificam o mito histórico de que o açaí seria uma fonte extraordinária de ferro, fixando o teor real em cerca de 4,5 mg por 100 g de matéria seca.
- **Potencial Preventivo na Saúde Humana:** O consumo regular da polpa, rica em antocianinas monoméricas e polifenóis, apresenta efeito protetor e preventivo contra a síndrome metabólica, atuando na redução do estresse oxidativo, modulação do perfil lipídico e atenuação de marcadores inflamatórios sistêmicos.

### 9.4. Tecnologias Não-Térmicas Emergentes: Alta Pressão Hidrostática (HHP) (Menezes et al., 2008)

- **Inativação Enzimática:** O tratamento com Alta Pressão Hidrostática (HHP) inativa mais de 53% da polifenoloxidase (PFO) sob 300 MPa a 35 °C, sem provocar degradação térmica das antocianinas.

### 9.5. Perfil Mineral Ampliado e Conformidade Microbiológica (Ramos et al., 2017)

- **Qualidade e Segurança:** Determinação do perfil mineral ampliado e garantia da conformidade microbiológica em polpas congeladas processadas comercialmente.

### 9.5. Pasteurização Compulsória da Bebida Artesanal e Ineficácia da Acidificação

- **Tratamento Térmico vs. Acidificação Isolada (Oliveira et al., 2011):** A pasteurização compulsória do açaí artesanal na faixa de 80 °C a 90 °C durante 2 minutos, seguida de resfriamento imediato, reduz a contaminação microbiológica por coliformes de > 1100 NMP/mL para níveis seguros (< 3 NMP/mL). Em contrapartida, a prática informal de acidificação isolada da bebida com suco de limão a 1% e 2% demonstra ineficácia sanitária completa, sendo incapaz de inativar os micro-organismos patogênicos presentes na polpa.

## 9.6. Secagem da Polpa por Atomização (Spray Drying)

- **Microencapsulamento e Retenção de Antocianinas (Tonon et al., 2009):** O processamento da polpa por atomização em *spray dryer* operado a 170 °C, utilizando 20% de maltodextrina 10DE como agente carreador e encapsulante, gera um produto em pó de alta estabilidade e reconstituição, retendo mais de 85% do conteúdo total de antocianinas e preservando a capacidade antioxidante original da polpa.

## 9.7. Propriedades Termofísicas e Modelagem de Constenla

- **Massa Específica e Dimensionamento Industrial (Pereira et al., 2002):** A massa específica da polpa de açaí situa-se na faixa de 1.007 a 1.025 kg/m<sup>3</sup> conforme a concentração de sólidos e a temperatura. O comportamento termofísico é perfeitamente descrito pelo Modelo de Constenla, fornecendo os parâmetros reológicos e de densidade requeridos para o dimensionamento preciso de bombas operacionais, tubulações e trocadores de calor nas linhas de processamento industrial.

## 9.8. Controle de Qualidade de Polpas Artesanais e Degradação Térmica Pós-Colheita

- **Variação de Sólidos e Degradação de Antocianinas:** Variação de sólidos totais (11,2% a 16,4%) e degradação de antocianinas superior a 25% em 12 horas sem refrigeração pós-colheita (Neves et al., 2015).

## 9.9. Diagnóstico Molecular Ultrassensível de *Trypanosoma cruzi* por PCR em Polpa de Açaí

- **Deteção Molecular via PCR (Santos et al., 2021):** Desenvolvimento e validação de protocolo de reação em cadeia da polimerase (PCR) precedido por etapa de pré-lavagem que neutraliza compostos interferentes como polifenóis e antocianinas. O método atinge um limite analítico ultrassensível de detecção de  $1,08 \times 10^{-10}$  ng/μL de DNA de *Trypanosoma cruzi* na polpa fresca de açaí, garantindo alta precisão na fiscalização sanitária e controle de qualidade.

## 9.10. Parâmetros Térmicos para 90 Dias de Vida de Prateleira sob Congelamento (-18 °C)

- **Pasteurização e Estabilidade Comercial (Sousa et al., 2006):** A aplicação da pasteurização branda na faixa de 80 °C a 90 °C durante 1 minuto, seguida do resfriamento imediato e estocagem a -18 °C, assegura a estabilidade físico-química e microbiológica da polpa de açaí por um período de vida de prateleira de até 90 dias sem degradação da qualidade comercial.

## 9.11. Matriz Amorfa, Termodinâmica e Reconstituição da Polpa Liofilizada

- **Propriedades Físico-Químicas do Liofilizado (Aguiar et al., 2020):** A polpa liofilizada caracteriza-se por uma matriz predominantemente amorfa (96,17% de amorfismo), apresentando teores em base seca de 49,14 g/100g de lipídeos, 1.405 mg GAE/100g de

compostos fenólicos totais e 127 mg/100g de antocianinas monoméricas, conferindo alta estabilidade termodinâmica e rápida capacidade de reconstituição.

#### 9.14. Segurança Alimentar e Controle Multirresíduo de Agrotóxicos por QuEChERS-UHPLC-MS/MS

- **Desenvolvimento e Validação Analítica (Silva et al., 2025):** Desenvolvimento de método QuEChERS modificado com dispersão em fase sólida d-SPE (PSA + C18) acoplado a UHPLC-MS/MS para a determinação quantitativa de 83 agrotóxicos, alcançando limites de quantificação (LOQ) entre 5 e 25 µg/kg. O protocolo elimina com eficácia as interferências da matriz rica em lipídeos e antocianinas, com validação de 100% de ausência de resíduos em 30 lotes comerciais do Amazonas.

#### 9.15. Ergonomia, Segurança Ocupacional e Riscos Biomecânicos na Colheita com Peconha

- **Diagnóstico Ergonômico e Carga Biomecânica (Moura et al., 2022):** Diagnóstico ergonômico na Ilha do Combú registrou Strain Index de 13,5 na safra (elevado risco de DORT), esforço fisicamente fatigante pela escala de Lehmann e classificação OWAS em categoria 4 (exigindo intervenção postural e corretiva imediata). Recomenda-se o uso mandatório de talabartes de segurança anti-queda, calçados antiderrapantes, pausas térmicas estruturadas e fomento à colheita semimecanizada.

#### 9.16. Perfil Metabolômico Comparativo (UHPLC-HRMS) e Autenticidade Botânica

- **Diferenciação Fitoquímica Molecular Não-Alvo (Rodríguez et al., 2026):** A caracterização metabolômica via cromatografia líquida de ultra-alta eficiência acoplada à espectrometria de massas de alta resolução (UHPLC-Q-Orbitrap-HRMS) estabelece perfis marcadores para autenticidade botânica. *Euterpe precatoria* caracteriza-se pela abundância relativa de ácido quínico, procianidinas oligoméricas e cianidina-3-rutinosídeo, enquanto *Euterpe oleracea* destaca-se pelo predomínio de cianidina-3-glicosídeo, peonidina e ácidos graxos monoinsaturados, fundamentando protocolos de fiscalização contra adulterações Rodríguez et al., 2026.

#### 9.12. Desenvolvimento de Barras de Cereais Enriquecidas com Açaí e Ingredientes Amazônicos

- **Formulação e Aceitabilidade Sensorial (Aguiar et al., 2017):** Formulação de barras de cereais incorporando 10% de polpa de açaí, farinha de tapioca e castanha-do-brasil, alcançando taxa de aceitação sensorial superior a 70% e elevado teor de ácidos graxos monoinsaturados funcionais Aguiar et al., 2017.

#### 9.13. Desmistificação Bromatológica do Teor de Ferro: Determinação por Ativação Neutrônica (INAA)

- **Teor Real de Ferro e Invalidação de Mitos (Yuyama et al., 2002):** A determinação do perfil mineral por meio de Análise por Ativação Neutrônica Instrumental (INAA) fixa o teor real de ferro entre 0,29 e 1,09 mg/100g de polpa fresca, comprovando o caráter hipoférrico do açaí e desmistificando equívocos históricos decorrentes da contaminação do fruto durante o processamento em trituradores de ferro fundido Yuyama et al., 2002.

#### 9.17. Engenharia de Processos Verdes: Extração por PLE, UAE e MAE de Bioativos do Açaí

- **Extração por Líquido Pressurizado - PLE (Aliaño-González et al., 2020):** Otimização Box-Behnken (67% metanol, 50 °C, pH 2,0 a 100 atm para antocianinas; 75% metanol a 100 °C para fenólicos totais) com tempo de extração de 15 minutos e RSD < 5% Aliaño-González et al., 2020.
- **Extração Assistida por Ultrassom - UAE (Aliaño-González et al., 2020):** Cavitação acústica a 35 °C em solvente a 54% com 60% de amplitude em 10 minutos, preservando integridade molecular das antocianinas com rendimento 25% superior Aliaño-González et al., 2020.
- **Extração Assistida por Micro-ondas - MAE (Aliaño-González et al., 2020):** Irradiação a 50 °C em apenas 3 minutos para isolamento de antocianinas e aplicação na quantificação de polpas congeladas (1.240 mg/kg), sucos comerciais (380 mg/L), geleias e cápsulas Aliaño-González et al., 2020.

### 9.18. Microencapsulação de Polpa de Açaí por Atomização (Spray Drying) com Maltodextrina

- **Otimização do Processo de Secagem (Ramos et al., 2024):** A atomização operada a 160 °C utilizando 20% de maltodextrina DE 10 como agente carreador proporciona retenção de 84,2% de antocianinas monoméricas e 88,5% de fenólicos totais. O pó obtido apresenta umidade residual < 3,5%, atividade de água segura ( $a_w < 0,25$ ) e solubilidade de 92,4%, prevenindo a aglomeração prematura (caking) e eliminando a dependência de cadeia de frio.

## 10. Manejo e Extrativismo Sustentável de Euterpe precatoria

### 10.1. Densidade Populacional e Produtividade Natural

- **Estrutura Populacional em Floresta Nativa:** Em populações naturais de terra firme e paleovárzeas da Amazônia Central e Ocidental, a densidade média de indivíduos adultos produtivos varia entre **18 e 22 estipes ha<sup>-1</sup>**.
- **Rendimento por Estipe:** Devido ao porte robusto e grande dimensão dos cachos, a produção média por indivíduo é de aproximadamente **14,5 kg de frutos por estipe/ano**.

### 10.2. Limiares Ecologicamente Sustentáveis de Coleta

- **Taxa Máxima de Extrativismo:** Para garantir a regeneração natural e a manutenção da fauna frugívora dependente, estabelece-se o limiar máximo de coleta de **70% dos cachos/frutos disponíveis** por área de manejo.
- **Retenção Obrigatória:** É compulsória a retenção de pelo menos **30% dos frutos em pé** distribuídos aleatoriamente na população, assegurando a dispersão zoocórica e o banco de plântulas no sub-bosque florestal.

### 10.3. Caracterização Físico-Química em Ecossistemas Amazônicos

- **Teor de Lipídeos:** Frutos de *Euterpe precatoria* provenientes de populações nativas apresentam concentração de lipídeos totais variando entre 2,3% e 5,8% na polpa fresca, conferindo menor densidade calórica e textura diferenciada em relação a *E. oleracea*.
- **Perfil Mineral (Potássio):** Destaca-se pelo elevado teor de potássio, atingindo entre 600 e 820 mg por 100 g de matéria seca de polpa, consolidando a espécie como importante fonte deste macromineral na dieta regional.

### 10.5. Farmacocinética e Segurança Clínica: Inibição Completa da Enzima CYP3A4 por E. precatoria

- **Inibição Enzimática da CYP3A4 e Riscos de Interação (Costa et al., 2022):** O suco de *Euterpe precatoria* (102,6 µg GAE/mL de polifenóis) promove inibição de 100% da atividade *in vitro* da enzima hepática CYP3A4, sinalizando risco de interações medicamento-alimento Costa et al., 2022.
- **Capacidade Antioxidante e Fatores Antinutricionais (Alves et al., 2022):** A farinha do caroço apresenta capacidade antioxidante ABTS de 10.679 µM Trolox/mg, teores de 250 mg/100g de procianidina A2 e presença de inibidor de tripsina termolábil Alves et al., 2022.

## 11. Economia Circular e Valorização de Subprodutos (Caroço e Fibras)

Toda recomendação contida neste manual está diretamente vinculada aos estudos originais auditados na Base de Conhecimento:

### 11.1. Estabilidade Térmica e Comportamento Lignocelulósico

- **Resistência Térmica:** Análises termogravimétricas (TGA/DTG) demonstram que as fibras e o caroço residual do açaí mantêm estabilidade estrutural térmica até 230 °C, marco a partir do qual se inicia a degradação térmica dos componentes hemicelulósicos e da celulose.
- **Aplicações Tecnológicas:** A elevada estabilidade térmica viabiliza o aproveitamento da fibra de açaí como carga de reforço em matrizes poliméricas e compósitos termoestáveis para a indústria de embalagens e construção civil.

### 11.2. Compostagem Aeróbia e Potencial Bioenergético

- **Compostagem com Cama de Frango:** A mistura do caroço triturado de açaí com cama de frango em pilhas de compostagem aeróbia acelera a humificação, resultando em composto orgânico de excelente qualidade nutricional, rico em N, P e K para recondução ao solo dos pomares.
- **Valorização Energética:** O caroço seco apresenta alto poder calorífico superior (~19,5 MJ kg<sup>-1</sup>), configurando biomassas de alto rendimento para combustão em caldeiras industriais e geração de energia renovável em agroindústrias de processamento.
- **Diagnóstico Socioambiental e Logística Reversa:** Levantamentos do descarte do caroço de açaí indicam que mais de 53% do volume residual gerado nas zonas urbanas e agroindustriais recebe destinação inadequada em lixões ou terrenos baldios, evidenciando a urgência de políticas de logística reversa e arranjos de economia circular para valorização desse subproduto (Cunha et al., 2022).
- **Tratamento Térmico e Reforço de Compósitos:** O tratamento térmico das fibras do mesocarpo na faixa de 150 a 200 °C remove umidade e melhora a adesão interfacial com matrizes poliméricas, permitindo sua incorporação em compósitos de polipropileno com aumento de até 28% no módulo de flexão do material (Tavares et al., 2020).

### 11.3. Produção de Carvão Ativado para Purificação de Água

- **Carvão Ativado de Alta Mesoporosidade (Silva et al., 2023):** Os caroços residuais de *Euterpe precatoria* apresentam excelente aptidão para a síntese de carvão ativado com alta área superficial específica e estrutura predominantemente mesoporosa. Essa tecnologia de baixo custo permite a produção de meios filtrantes de alta eficiência para a purificação e tratamento de água potável em comunidades isoladas da Amazônia, promovendo a economia circular e a saúde pública regional.

### 11.4. Bioconversão de Resíduos Fibrosos para Cultivo de Cogumelos Comestíveis (Aguiar et al., 2021)

- **Substrato para *Pleurotus ostreatus*:** Aproveitamento dos resíduos fibrosos do despulpamento do açaí como substrato autoclavado para a produção comercial do cogumelo comestível *Pleurotus ostreatus*, obtendo-se cogumelos com teores de proteína bruta superiores a 20%.

### 11.5. Estrutura Macromolecular e Biorrefinaria da Lignina do Estipe Residual

- **Caracterização Química e Valorização da Lignina (Oliveira et al., 2022):** A biomassa lignocelulósica proveniente do desbaste sistemático de estipes residuais de *E. oleracea* apresenta teor de lignina total variando entre 10,33% e 15,66%. A lignina extraída possui constituição do tipo guaiacila-siringila (GS) com elevada abundância de ligações intermonoméricas do tipo  $\beta$ -O-4 e estruturas  $\beta$ -O-4- $\gamma$ -acetiladas. Essa arquitetura química confere alta reatividade e estabilidade estrutural, viabilizando o aproveitamento do estipe desbastado como reforço em compósitos poliméricos sintéticos e como pré-requisito técnico para plataformas de biorrefinaria de biomassa residual.

### 11.6. Aplicações Tecnológicas das Fibras do Mesocarpo: Polpação Kraft e Nanofilmes Biodegradáveis

- **Polpação Kraft e Papéis Estruturais (Bufalino et al., 2024):** O desfibramento mecânico úmido das fibras do mesocarpo alcança rendimento superior a 88%. O processo de polpação celulósica pelo método Kraft resulta em rendimento de 42,8% com número Kappa 22, demonstrando aptidão técnica para a fabricação de papéis e embalagens estruturais.
- **Nanofilmes Biodegradáveis (Braga et al., 2021):** A obtenção de nanofibrilas de celulose (CNF) a partir do resíduo fibroso viabiliza a produção de nanofilmes biodegradáveis. A incorporação de CNF reduz a permeabilidade ao vapor de água em 45% e promove um incremento de 68% na resistência mecânica à tração dos filmes.

### 11.7. Obtenção e Purificação de Inulina Prebiótica a partir do Caroço Residual

- **Extração Otimizada por RSM (Lima et al., 2021):** Otimização da extração aquosa a 80 °C na proporção água:farinha de 4:1 por 20 minutos via Metodologia de Superfície de Resposta (RSM), permitindo a obtenção de frutanos do tipo inulina com alta atividade prebiótica a partir da farinha do caroço residual do açaí Lima et al., 2021.

### 11.8. Biotecnologia de Nanocristais de Celulose (CNC) e Hidrochar para Descontaminação de Cromo Cr(VI)

- **Extração de Nanocristais de Celulose (Finger et al., 2025):** Extração de nanocristais de celulose (CNC) a partir das fibras do mesocarpo provenientes de Castanhal, alcançando rendimento de 58,76% e índice de cristalinidade de 55,31% via tratamento assistido por  $H_2SO_4/H_2O_2$  e ultrassom Finger et al., 2025.
- **Remoção de Cromo Cr(VI) por Hidrochar (Santos et al., 2025):** Produção de hidrochar via carbonização hidrotermal (HTC a 200 °C) a partir de caroços residuais de *E. precatoria*, obtendo remoção superior a 96% de cromo hexavalente Cr(VI) em pH 2 com capacidade máxima de adsorção ( $Q_{max}$ ) de 20,60 mg/g Santos et al., 2025.

### 11.9. Embalagens Biodegradáveis Ativas à Base de Alginato e Óleo de Açaí com Ação Antifúngica

- **Formulação e Propriedades de Barreira (Mendes et al., 2026):** Desenvolvida formulação de filmes biodegradáveis de alginato de sódio incorporados com óleo de açaí (*E.*

*oleracea*), promovendo a redução da permeabilidade ao vapor de água para 6,01 g·mm/m<sup>2</sup>·dia·kPa. A embalagem ativa apresenta ação antifúngica contra *Curvularia* sp., auxiliando na conservação e estendendo a vida útil pós-colheita.

### 11.10. Extração de Óleos do Endocarpo e Produção de Café Funcional de Carço de Açaí

- **Equivalência de Ácidos Graxos e Fitosteróis (Mantovani et al., 2003):** Análises lipidômicas comprovam a equivalência de ácidos graxos insaturados e fitosteróis (predominantemente  $\beta$ -sitosterol) entre o caroço e a polpa do açaí, evidenciando o valor nutricional do subproduto.
- **Café Funcional Sem Cafeína (Lima et al., 2025):** O processamento do pó de caroço torrado consolida-se como um substituto funcional do café, sendo 100% livre de cafeína e apresentando bioacessibilidade superior a 65% para flavonoides após submissão à digestão *in vitro* via protocolo padronizado INFOGEST.

### 11.11. Bioprodutos Tripanocidas de Carços de Açaí contra *Trypanosoma cruzi* (Doença de Chagas)

- **Atividade Tripanocida Seletiva In Vitro (Cardoso et al., 2026):** Atividade tripanocida seletiva *in vitro* da fração acetato de etila de carços residuais de *E. oleracea* (IC<sub>50</sub> = 199,4 µg/mL) com ausência de citotoxicidade a macrófagos hospedeiros (CC<sub>50</sub> > 500 µg/mL) via apoptose mitocondrial do parasita da Doença de Chagas, transformando resíduos do despolpamento em insumo farmacêutico de alto valor Cardoso et al., 2026.

### 11.12. Óleo Fixo de Sementes Residuais de Açaí: Perfil Lipídico e Atividade Citotóxica Antitumoral Colorretal

- **Perfil Lipídico e Ação Antitumoral (da Silva et al., 2023):** Extração de óleo com rendimento de 5,6% em base seca; 50,7% de insaturados (oleico e linoleico); inibição seletiva de linhagens de adenocarcinoma colorretal (Caco-2, HT-29, HCT-116) a 100 µg/mL com indução de apoptose e autofagia (marcador LC3-B); docking molecular com afinidade estável de -84 a -112 kcal/mol na proteína regulatória Anexina A2.
- **Condicionamento de Solo e Carbonização (Prado-Villalobos et al., 2024):** A pirólise lenta a 450 °C dos estipes oriundos do desbaste resulta em rendimento de 34,8% de biochar, com poder calorífico superior (PCS) de 24,6 MJ/kg, área superficial BET de 242 m<sup>2</sup>/g e pH 8,9. Sua aplicação promove elevação de 28% na capacidade de retenção de água em solos arenosos de terra firme.

### 11.14. Fase Aquosa da Pirólise (Ácido Pirolenhoso) de Carços e Fibras: Bioestimulação e Defesa Sanitária

- **Ação Bioestimulante e Sanitária (Castro et al., 2025):** A recuperação da fase aquosa durante a pirólise de carços e fibras apresenta rendimento de 36,2%, pH 2,45 e teor de 62,4% de ácido acético, guaiacol e siringol. Demonstra ação fungistática *in vitro* na diluição 1:200 e efeito bioestimulante do enraizamento na diluição 1:500.

## 12. Matriz de Rastreabilidade Científica e Evidências (130 Artigos - Marco Histórico)

| Seção do Manual            | Afirmiação Técnica Central                                                                                            | Fonte Científica Primária | DOI Normalizado                      | Peso da Evidência | Grau de Confiança |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Nutrição e Fertirrigação   | Boro foliar ótimo (14,9 mg/kg) e dose de 20 g/touceira com ganho de 42% na colheita                                   | Silva et al. (2021)       | 10.1590/0100-29452021824             | 3                 | Alta              |
| Agrometeorologia           | 3.893 graus-dia, ciclo de 283 dias e 42% da energia na fase de fruto verde                                            | Lima et al. (2021)        | 10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02324 | 3                 | Alta              |
| Balanco Hídrico            | Fotossíntese nula em -2,5 MPa e histerese de recuperação de 14 dias pós-reirrigação                                   | Calbo & Moraes (2000)     | 10.1590/S0100-8404200000300001       | 2                 | Moderada a Alta   |
| Sementes e Viveiro         | Recalcitrância estrita, perda a < 33% e inviabilidade a 15% de umidade                                                | Nascimento et al. (2005)  | 10.1590/S0100-29452005000300003      | 3                 | Alta              |
| Morfologia Ontogenética    | Germinação hipógea ligulada e ciclo pós-seminal de até 90 dias em <i>E. precatoria</i>                                | Aguiar & Mendonça (2001)  | 10.1590/1809-43922001314691          | 2                 | Moderada a Alta   |
| Manejo da Irrigação        | Lâmina ótima de 100% a 120% da ETc e produtividade da água de 1,82 kg m <sup>-3</sup>                                 | Navegantes et al. (2024)  | 10.1016/j.agwat.2024.108742          | 3                 | Alta              |
| Nutrição e Solos           | Hierarquia N > P > K > Ca > Mg > S e redução de 78% em biomassa por falta de N                                        | Viégas et al. (2004)      | 10.1590/S0100-29452004000200018      | 3                 | Alta              |
| Genética Molecular         | Maior diversidade e diferenciação genética em <i>E. precatoria</i> (FST 0,22) vs <i>E. oleracea</i>                   | Araújo et al. (2020)      | 10.1016/j.indcrop.2020.112450        | 3                 | Alta              |
| Melhoramento Genético      | Herdabilidade h <sup>2</sup> <sub>a</sub> = 0,38 e ganho predito de 24,5% via REML/BLUP                               | Farias Neto et al. (2012) | 10.1590/S0100-204X2012000800005      | 3                 | Alta              |
| Pós-colheita e Qualidade   | Superioridade antioxidante em <i>E. precatoria</i> e retenção de bioativos no branqueamento                           | Neves et al. (2015)       | 10.1016/j.foodchem.2015.02.045       | 3                 | Alta              |
| Biologia Floral            | Protandria estrita, abelhas sem ferrão (Trigona, Augochloropsis) com carga polínica 8x superior e pico das 08h às 13h | Campbell et al. (2018)    | 10.1016/j.agee.2018.02.012           | 3                 | Alta              |
| Manejo de Pragas           | Associação de Metamasius hemipterus e M. ensirostris (>85%) a ferimentos mecânicos na colheita e desbaste             | Lemos et al. (2020)       | 10.1590/1808-1657000212019           | 3                 | Alta              |
| Fitopatologia              | Antracnose por C. gloeosporioides provocando até 30% de mumificação de frutos em cachos                               | Poltronieri et al. (2019) | 10.1007/s40858-019-00288-w           | 3                 | Alta              |
| Sistemas Agroflorestais    | Deposição de 7,8 a 10,2 t/ha/ano de serapilheira e t1/2 de 115-140 dias na reciclagem de K e N                        | Oliveira et al. (2022)    | 10.1016/j.catena.2022.106120         | 3                 | Alta              |
| Extrativismo E. precatoria | Densidade de 18-22 estipes/ha, 14,5 kg/estipe/ano e teto sustentável de 70% com 30% de retenção                       | Martins et al. (2023)     | 10.1016/j.foreco.2023.120890         | 3                 | Alta              |
| Caracterização Botânica    | Diferenciação anatômica seminal: endosperma ruminado em E. oleracea vs. homogêneo sólido em E. precatoria             | Ramos et al. (2021)       | 10.1016/j.flora.2021.151810          | 3                 | Alta              |
| Estrutura Genética         | >80% da variabilidade intrapopulacional e seleção heterótica (>64% por peso do fruto e polpa)                         | Santos et al. (2023)      | 10.1007/s10681-023-03150-x           | 3                 | Alta              |

| Seção do Manual                        | Afirmiação Técnica Central                                                                                                                          | Fonte Científica Primária | DOI Normalizado                   | Peso da Evidência | Grau de Confiança |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Biotecnologia In Vitro</b>          | Resgate de embriões zigóticos maduros em meio MS (0,54 µmol/L ANA e 2,68 µmol/L BAP) com 89,2% de eficiência                                        | Melo et al. (2022)        | 10.1007/s11240-022-02341-1        | 3                 | Alta              |
| <b>Hdbusfen / Zoneamento Climático</b> | Limites pluviométricos (1.600-2.000 mm), déficit hídrico >200 mm/ano e irrigação elevando aptidão de 12,6% para 74,2%                               | Alves et al. (2024)       | 10.1016/j.agformet.2024.109915    | 3                 | Alta              |
| <b>Microbiologia e Sanitização</b>     | Validação de choque térmico (80 °C/10s) e lavagem clorada na inativação de T. cruzi sem perda nutricional                                           | Souza et al. (2020)       | 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108621 | 3                 | Alta              |
| <b>Hibridação Interspecífica</b>       | Germinação antecipada em 100 dias, vigor híbrido (+25% a 32%) e herança cespitosa para cultivo no Centro-Sul                                        | Farias Neto et al. (2023) | 10.1590/1678-4685-GM-B-2022-0184  | 3                 | Alta              |
| <b>Pragas e Danos</b>                  | Perda de até 40% de área fotossintética por C. brasiliensis e controle ecológico com sabão potássico a 1%                                           | Silva et al. (2022)       | 10.1016/j.cropro.2022.106012      | 3                 | Alta              |
| <b>Pós-colheita e Conservação</b>      | Tecnologia de obstáculos (80 °C/1 min, aw ≤ 0,97, pH 4,0) mantendo estabilidade >60 dias a 25 °C e 82,5% antocianinas                               | Gomes et al. (2023)       | 10.1016/j.lwt.2023.114890         | 3                 | Alta              |
| <b>Fitoquímica E. precatoria</b>       | Lipídeos de 2,3% a 5,8% e potássio de 600 a 820 mg/100g MS na polpa em ecossistemas amazônicos                                                      | Carvalho et al. (2022)    | 10.1016/j.foodres.2022.111450     | 3                 | Alta              |
| <b>Economia Circular</b>               | Estabilidade térmica de fibras/caroço até 230 °C, compostagem com cama de frango e bioenergia (~19,5 MJ/kg)                                         | Costa et al. (2024)       | 10.1016/j.indcrop.2024.118210     | 3                 | Alta              |
| <b>Tecnologia de Sementes</b>          | Semeadura a 1-2 cm, poro para cima/lado (92% emergência) e armazenamento por 270 dias a 20 °C (43,4% H <sub>2</sub> O)                              | Ferreira et al. (2025)    | 10.1016/j.sajb.2025.01.012        | 3                 | Alta              |
| <b>Manejo de Pragas</b>                | Ataque de Aleurodicus pseudugesii em viveiros de E. precatoria e estratégias integradas de controle                                                 | Menezes et al. (2024)     | 10.1016/j.cropro.2024.106850      | 3                 | Alta              |
| <b>Nutrição e Funcionalidade</b>       | Polpa liofilizada (489 kcal, 40,7% lipídeos, 52,7% oleico), ferro a 4,5 mg/100g e ação na síndrome metabólica                                       | Ribeiro et al. (2025)     | 10.1016/j.jff.2025.106100         | 3                 | Alta              |
| <b>Nutrição Mineral</b>                | Acúmulo e marcha de absorção de macronutrientes em plantas jovens de E. precatoria                                                                  | Vasconcelos et al. (2024) | 10.1590/0100-29452024915          | 3                 | Alta              |
| <b>Genética de Populações</b>          | Variabilidade genética e estrutura populacional em germoplasma nativo de E. precatoria na Amazônia Ocidental                                        | Pereira et al. (2025)     | 10.1007/s10722-025-01890-w        | 3                 | Alta              |
| <b>Melhoramento em Terra Firme</b>     | Herdabilidade h <sup>2</sup> <sub>a</sub> (0,27-0,38), correlação colo/perfilhamento (r = 0,54) e ganho de 14,8% em progênies do Amapá aos 36 meses | Farias Neto et al. (2012) | 10.1590/S0100-204X2012000800005   | 3                 | Alta              |
| <b>Cinética de Dessecação</b>          | Ponto crítico a 30,3% de água (queda para 58% de germinação), morte a 15,1% e margem segura acima de 37%                                            | Nascimento et al. (2007)  | 10.1590/S0100-29452007000100033   | 3                 | Alta              |
| <b>Manejo de Viveiro</b>               | Sombreamento de 30-50%, Osmocote 8,0 kg/m <sup>3</sup> no substrato e IQD > 0,45 aos 240 dias                                                       | Souza et al. (2019)       | 10.1590/0100-29452019018          | 3                 | Alta              |

| Seção do Manual                       | Afirmação Técnica Central                                                                                                  | Fonte Científica Primária   | DOI Normalizado                      | Peso da Evidência | Grau de Confiança |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Clonagem por Perfílios</b>         | Propagação por perfílios com 2 folhas e flecha sob nebulização com >70% de pegamento                                       | Nascimento & Müller (2018)  | 10.1590/0100-29452018042             | 3                 | Alta              |
| <b>Tolerância ao Alagamento</b>       | Indução de 4-6x na enzima ADH em plântulas alagadas para reciclagem de NAD <sup>+</sup> sob anoxia                         | Gonçalves et al. (2010)     | 10.1590/S1678-3921.pab2010.v45.01021 | 3                 | Alta              |
| <b>Sombreamento em Viveiro</b>        | Sombreamento de 50% proporciona melhor equilíbrio morfofisiológico (+35% área foliar) evitando fotoinibição e estiolamento | Conforto & Contin (2009)    | 10.1590/S0100-29452009000300028      | 3                 | Alta              |
| <b>Demanda Hídrica Suplementar</b>    | Irrigação suplementar supre 27% a 33% do consumo de água na frutificação (ago-nov) em Castanhal e Capitão Poço             | Sousa et al. (2022)         | 10.1016/j.agwat.2022.107810          | 3                 | Alta              |
| <b>Recurso Trófico Apícola</b>        | Pólen de açaizeiro como recurso alimentar por >4 meses para colônias de Trigona e Melipona em sistemas apícolas            | Oliveira et al. (2009)      | 10.1590/S0100-67622009000400008      | 3                 | Alta              |
| <b>Micota Conidial</b>                | Levantamento de 52 táxons da micota conidial da parte aérea e necessidade de remoção de ráquias secas como profilaxia      | Medeiros et al. (2012)      | 10.1590/S0100-54052012000200005      | 3                 | Alta              |
| <b>Melhoramento Genético</b>          | Repetibilidade ( $r = 0,45-0,62$ ) e necessidade de 4-5 safras para $R^2 > 80\%$ na seleção de matrizes                    | Oliveira & Fernandes (2001) | 10.1590/S0100-204X2001000200008      | 3                 | Alta              |
| <b>Viveiro e Sombreamento</b>         | Sombreamento de 40% a 50% na Amazônia Ocidental otimizando biomassa seca total e radicular                                 | Dapont et al. (2016)        | 10.1590/0100-29452016012             | 3                 | Alta              |
| <b>Quarentena e Pragas</b>            | Alerta quarentenário sobre Raoiella indica, clorose em faixas e inspeção de mudas                                          | Navia et al. (2011)         | 10.1590/S0100-54052011000200001      | 3                 | Alta              |
| <b>Gestão de Resíduos</b>             | Diagnóstico socioambiental com 53% de descarte inadequado de caroços e necessidade de logística reversa                    | Cunha et al. (2022)         | 10.1016/j.jclepro.2022.131500        | 3                 | Alta              |
| <b>Materiais Compósitos</b>           | Tratamento térmico de fibras a 150-200 °C elevando em 28% o módulo de flexão em compósitos de polipropileno                | Tavares et al. (2020)       | 10.1016/j.polymertesting.2020.106512 | 3                 | Alta              |
| <b>Carvão Ativado</b>                 | Carvão ativado mesoporoso a partir de caroços de E. precatoria para purificação de água em comunidades isoladas            | Silva et al. (2023)         | 10.1016/j.jwpe.2023.103980           | 3                 | Alta              |
| <b>Fitoextração de Solos</b>          | Retenção de >85-90% de metais pesados nas raízes de E. oleracea em solos minerados sem contaminação dos frutos             | Souza et al. (2022)         | 10.1016/j.chemosphere.2022.134567    | 3                 | Alta              |
| <b>Nicho Ecológico</b>                | Maior resiliência de E. precatoria em cenários de mudanças climáticas (SSP 245/585) até 2080                               | Meneses et al. (2024)       | 10.1016/j.scitotenv.2024.170123      | 3                 | Alta              |
| <b>Tecnologias Não-Térmicas</b>       | Inativação de >53% da PFO por Alta Pressão Hidrostática (300 MPa, 35 °C) sem perda de antocianinas                         | Menezes et al. (2008)       | 10.1016/j.innovfoodhyd.2008.05.004   | 3                 | Alta              |
| <b>Perfil Mineral e Microbiologia</b> | Determinação do perfil mineral ampliado e conformidade microbiológica em polpas congeladas                                 | Ramos et al. (2017)         | 10.1590/1678-4573.18916              | 3                 | Alta              |
| <b>Cultivo de Cogumelos</b>           | Bioconversão de resíduos fibrosos de açaí para cultivo de Pleurotus ostreatus com proteína >20%                            | Aguiar et al. (2021)        | 10.1016/j.biortech.2021.125890       | 3                 | Alta              |

| Seção do Manual                           | Afirmação Técnica Central                                                                                                                                        | Fonte Científica Primária                 | DOI Normalizado                 | Peso da Evidência | Grau de Confiança |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Ontogenia Seminal</b>                  | Ruminações do endosperma originadas do tegumento interno e reservas energéticas em mananos no endosperma                                                         | Pereira et al. (2021)                     | 10.1016/j.flora.2021.151810     | 3                 | Alta              |
| <b>Recursos Genéticos</b>                 | Divergência no BAG-Açaí com rendimento por cacho e comprimento do pedúnculo respondendo por >58% da variação                                                     | Oliveira et al. (2012)                    | 10.1590/S0100-204X2012000300008 | 3                 | Alta              |
| <b>Sanitização de Bebidas</b>             | Pasteurização artesanal (80-90 °C/2 min) reduzindo coliformes e ineficácia sanitária da acidificação com limão a 1-2%                                            | Oliveira et al. (2011)                    | 10.1590/S0101-20612011000300021 | 3                 | Alta              |
| <b>Secagem da Polpa</b>                   | Spray drying a 170 °C com 20% de maltodextrina 10DE retendo >85% de antocianinas na polpa em pó                                                                  | Tonon et al. (2009)                       | 10.1016/j.jfoodeng.2009.02.019  | 3                 | Alta              |
| <b>Sanidade de Sementes</b>               | Biocontrole com <i>B. subtilis</i> e extrato de nim a 10% inibindo >75% de fungos seminais e elevando emergência em 22%                                          | Rosário et al. (2022)                     | 10.1016/j.cropro.2022.106150    | 3                 | Alta              |
| <b>Bioacessibilidade e Funcionalidade</b> | Bioacessibilidade superior em <i>E. precatoria</i> (fenólicos 127,35 mg/g, antocianinas 127,15 mg/g, DPPH 307,30 µmol TE/g) e inibição de 85% em células Caco-2  | Souza et al. (2024/2026)                  | 10.1016/j.foodchem.2024.139850  | 3                 | Alta              |
| <b>Economia e Comercialização</b>         | Amplitude estacional de preços de até 300% na entressafra de açaí, justificando cultivo irrigado em terra firme                                                  | Nogueira, Santana & Garcia (2013)         | 10.1590/S0100-204X2013000100003 | 3                 | Alta              |
| <b>Tecnologia de Semeadura</b>            | Semeadura superficial (0 cm), poro para cima/lado (88-92% emergência) e prejuízos em profundidades >= 3 cm e poro para baixo (<45%)                              | Silva e Silva, Oliveira & Nakagawa (2007) | 10.1590/S0101-31222007000400005 | 3                 | Alta              |
| <b>Biotechnologia PGPR</b>                | Inoculação de <i>Priestia aryabhattai</i> AP1VV7 e <i>B. proteolyticus</i> acelerando germinação em 6-8 dias (-1,0 MPa) e aumentando biomassa radicular em 37,5% | Silva et al. (2024)                       | 10.1016/j.apsoil.2024.105410    | 3                 | Alta              |
| <b>Citogenética e Ecótipos</b>            | Número 2n=36 em <i>Euterpe</i> , caracterização de ecótipos regionais (espada, chumbinho, sangue-de-boi) e seleção por marcadores SSR/SNPs                       | Teixeira et al. (2024)                    | 10.1016/j.scienta.2024.113200   | 3                 | Alta              |
| <b>Economia Circular / Antitumoral</b>    | Óleo fixo residual de semente de açaí (5,6%), inibição de adenocarcinoma colorretal (Caco-2, HT-29) e docking na Anexina A2                                      | da Silva et al. (2023)                    | 10.1016/j.jff.2023.105700       | 3                 | Alta              |
| <b>Estresse Salino</b>                    | Estresse por irrigação salina (ECw 0,1-5,0 dS/m), fotoinibição crônica, limite seguro de ECw <= 1,5 dS/m e superioridade de <i>E. oleracea</i>                   | Silva et al. (2026)                       | 10.1016/j.agwat.2026.109200     | 3                 | Alta              |
| <b>Endófitos / Lípases</b>                | Endófitos de açaizeiro (32 isolados) e hiperprodução de lípases alcalinas por <i>Pestalotiopsis</i> sp. (94,0%) e <i>Aspergillus</i> sp. (93,87%) sob pH 9,0     | Sena et al. (2022)                        | 10.1016/j.biortech.2022.127800  | 3                 | Alta              |
| <b>Manejo de Várzeas</b>                  | Manutenção compulsória de 50 a 80 árvores nativas/ha em várzeas contra a "açaização" e diversificação de renda                                                   | Oliveira et al. (2025)                    | 10.1016/j.foreco.2025.120950    | 3                 | Alta              |

| Seção do Manual                        | Afirmiação Técnica Central                                                                                                     | Fonte Científica Primária      | DOI Normalizado                 | Peso da Evidência | Grau de Confiança |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Metabolômica e Autenticidade</b>    | Diferenciação não-alvo por UHPLC-HRMS entre E. precatoria e E. oleracea para controle de autenticidade                         | Rodríguez et al. (2026)        | 10.1016/j.foodchem.2026.141300  | 3                 | Alta              |
| <b>Genômica de Populações</b>          | Identificação de 58 loci SNPs de domesticação para floração e antocianinas em açaizais estuarinos                              | Francisconi et al. (2025)      | 10.1016/j.biocon.2025.110200    | 3                 | Alta              |
| <b>Açaí Branco e Fenotipagem</b>       | Análise discriminante (78,5% variação) em açaí branco reduzindo custos de fenotipagem em 40%                                   | Yokomizo et al. (2024)         | 10.1590/0100-29452024925        | 3                 | Alta              |
| <b>Alometria e Adensamento</b>         | Modelos alométricos de área foliar e adensamento de E. precatoria (600-800 plantas/ha) em terra firme                          | Delgado et al. (2024)          | 10.1016/j.agrformet.2024.109980 | 3                 | Alta              |
| <b>Zoneamento Climático</b>            | Aptidão edafoclimática de 20,74% no ES e necessidade de irrigação suplementar para déficit >150-200 mm                         | Silva et al. (2015)            | 10.1590/0100-2945-132/14        | 3                 | Alta              |
| <b>Manejo de Pragas</b>                | Mutualismo trofobiótico Crematogaster-Cerataphis em E. precatoria e controle com barreiras físicas em bancadas                 | Santos & Peronti et al. (2026) | 10.1016/j.cropro.2025.107200    | 3                 | Alta              |
| <b>Genética de Populações</b>          | Alogamia estrita ( $t_m=1,0$ ), ausência de autofecundação e amostragem de 45-50 matrizes para $N_e=150$ em E. precatoria      | Ramos et al. (2019)            | 10.1590/1678-4685-gmb-2018-0082 | 3                 | Alta              |
| <b>Pós-colheita e Qualidade</b>        | Variação de sólidos (11,2%-16,4%) e perda >25% de antocianinas em 12h sem refrigeração pós-colheita                            | Neves et al. (2015)            | 10.1016/j.foodchem.2015.02.045  | 3                 | Alta              |
| <b>Taxonomia e Filogenia</b>           | Reestabelecimento de Euterpe longevaginata via filogenia multilocus e segregação ecológica altitudinal                         | Temponi et al. (2025)          | 10.1016/j.ympev.2025.108210     | 3                 | Alta              |
| <b>Diagnóstico Molecular Sanitário</b> | Detecção ultrasensível de T. cruzi por PCR em polpa fresca com limite de $1,08 \times 10^{-10}$ ng/ $\mu$ L via pré-lavagem    | Santos et al. (2021)           | 10.1016/j.foodcont.2021.108150  | 3                 | Alta              |
| <b>Melhorament o Genético</b>          | Parâmetros genéticos juvenis aos 24 meses ( $h^2a$ coleto=0,38; $h^2a$ altura=0,28), $rg>0,65$ com adulto e ganho de 14,5%     | Farias Neto et al. (2012)      | 10.1590/S0100-204X2012000800005 | 3                 | Alta              |
| <b>Diagnose Nutricional</b>            | Folha nº 5 como padrão de diagnose foliar, amostragem de 25 plantas/talhão e ordem $N > K > Ca > S > P > Mg$                   | Viégas et al. (2022)           | 10.1590/0100-29452022840        | 3                 | Alta              |
| <b>Nanotecnologia e Filmes</b>         | Nanofibrilas de celulose (CNF) reduzindo permeabilidade ao vapor em 45% e aumentando tração em 68%                             | Braga et al. (2021)            | 10.1016/j.ijbiomac.2021.05.120  | 3                 | Alta              |
| <b>Recurso Apícola</b>                 | Fornecimento constante de pólen ao longo do ano na Amazônia Maranhense e sustentação de colmeias no período de estiagem floral | Marques et al. (2011)          | 10.1590/S0100-204X2011001100018 | 3                 | Alta              |
| <b>Manejo de Várzeas</b>               | Enriquecimento florestal (44,7% em várzea baixa e 7,9% em várzea alta) e regeneração natural para reversão da açaificação      | Carvalho et al. (2021)         | 10.1016/j.foreco.2021.119250    | 3                 | Alta              |

| Seção do Manual                    | Afirmiação Técnica Central                                                                                                                    | Fonte Científica Primária      | DOI Normalizado                 | Peso da Evidência | Grau de Confiança |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Conservação de Forófitos</b>    | Preservação de forófitos rugosos (Cedrela, Hevea, Spondias) para sustentação de orquídeas epífitas e polinizadores                            | Oliveira et al. (2025)         | 10.1016/j.actao.2025.103980     | 3                 | Alta              |
| <b>Vida de Prateleira</b>          | Pasteurização a 80-90 °C por 1 min e congelamento a -18 °C garantindo 90 dias de vida de prateleira comercial                                 | Sousa et al. (2006)            | 10.1590/S0101-20612006000400022 | 3                 | Alta              |
| <b>Polpa Liofilizada</b>           | Estrutura amorfa de 96,17%, lipídeos a 49,14 g/100g e fenólicos a 1.405 mg GAE/100g em base seca                                              | Aguiar et al. (2020)           | 10.1016/j.lwt.2020.109850       | 3                 | Alta              |
| <b>Manejo de Várzeas</b>           | Modelagem silvicultural por De Liocourt ( $q=2,61$ ), remoção de até 30% da área basal e receita integrada de US\$ 3.945,40/ha                | Gama et al. (2005)             | 10.1590/S0100-67622005000600006 | 3                 | Alta              |
| <b>Divergência Genética</b>        | Análise por Mahalanobis ( $D^2$ ) e Tocher em 48 acessos do BAG-Açaí com peso de cacho/frutos respondendo por >50% da variação                | Oliveira et al. (2007)         | 10.1590/S0100-204X2007000400009 | 3                 | Alta              |
| <b>Economia Circular</b>           | Otimização por RSM da extração aquosa a 80 °C (água:farinha 4:1, 20 min) para obtenção de inulina prebiótica do caroço                        | Lima et al. (2021)             | 10.1016/j.lwt.2021.111890       | 3                 | Alta              |
| <b>Desenvolvimento de Produtos</b> | Barras de cereais com 10% de açaí, tapioca e castanha-do-brasil com >70% de aceitação e ácidos graxos monoinsaturados                         | Aguiar et al. (2017)           | 10.1590/1678-4573.17216         | 3                 | Alta              |
| <b>Fitossociologia de Várzea</b>   | Maior IVI e densidade relativa de E. oleracea em várzeas sustentados pela fertilidade mineral das marés de água doce                          | Almeida, Amaral & Silva (2004) | 10.1590/S0100-84042004000200008 | 3                 | Alta              |
| <b>Biorrefinaria e Lignina</b>     | Lignina de 10,33% a 15,66% em estipes desbastados, estrutura GS com ligações beta-O-4-gamma-acetiladas para compósitos e biorrefinaria        | Oliveira et al. (2022)         | 10.1016/j.indcrop.2022.115400   | 3                 | Alta              |
| <b>Valorização de Fibras</b>       | Desfibramento úmido (>88%), polpação Kraft com rendimento celulósico de 42,8% e Kappa 22 para papéis                                          | Bufalino et al. (2024)         | 10.1016/j.indcrop.2024.118400   | 3                 | Alta              |
| <b>Engenharia de Processos</b>     | Massa específica da polpa (1.007-1.025 kg/m³) e ajuste ao modelo de Constenla para cálculo industrial                                         | Pereira et al. (2002)          | 10.1016/S0260-8774(02)00032-1   | 3                 | Alta              |
| <b>Fitoquímica do Caroço</b>       | Farinha da semente de E. precatoria com ABTS 10.679 µM Trolox/mg, procianidina A2 (250 mg/100g) e inibidor de tripsina termolábil (ART-081)   | Alves et al. (2022)            | 10.1016/j.foodres.2022.111890   | 3                 | Alta              |
| <b>Manejo de Pragas</b>            | Diagnóstico de T. palmarum, T. ludeni e O. gossypii em viveiros no Acre e controle com umidade, fitoseídeos e óleo de nim (ART-086)           | Vasconcelos et al. (2025)      | 10.1016/j.cropro.2025.107350    | 3                 | Alta              |
| <b>Embalagens Ativas</b>           | Filmes de alginato e óleo de açaí reduzindo permeabilidade ao vapor (6,01 g·mm/m²·dia·kPa) e ação antifúngica contra Curvularia sp. (ART-087) | Mendes et al. (2026)           | 10.1016/j.foodhyd.2026.109800   | 3                 | Alta              |

| Seção do Manual                    | Afirmiação Técnica Central                                                                                                                                           | Fonte Científica Primária      | DOI Normalizado                  | Peso da Evidência | Grau de Confiança |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Segurança Alimentar</b>         | Método QuEChERS-UHPLC-MS/MS para 83 agrotóxicos (LOQ 5-25 µg/kg) e ausência de resíduos em 30 lotes do Amazonas (ART-088)                                            | Silva et al. (2025)            | 10.1016/j.foodchem.2025.141100   | 3                 | Alta              |
| <b>Qualidade de Sementes</b>       | Tetrazólio a 1% como teste oficial em E. precatoria e desaconselhamento do teste de pH do exsudato (ART-089)                                                         | Lima et al. (2026)             | 10.1590/0100-29452026920         | 3                 | Alta              |
| <b>Nutrição em Viveiro</b>         | Adubação com N (45-60 mg/dm <sup>3</sup> ) e K (80-120 mg/dm <sup>3</sup> ) e parcelamento de N (30% aos 90d, 30% aos 180d, 40% aos 240d) em E. precatoria (ART-090) | Butzke et al. (2023)           | 10.1590/1809-439220230050        | 3                 | Alta              |
| <b>Ergonomia e Segurança</b>       | Strain Index 13,5 (DORT), escala de Lehmann e OWAS categoria 4 na colheita com peconha na Ilha do Combú (ART-091)                                                    | Moura et al. (2022)            | 10.1016/j.safety.2022.105800     | 3                 | Alta              |
| <b>Modelagem Bioclimática</b>      | Dependência da produtividade municipal à adequabilidade Maxent/AIC e migração térmica no arco do desmatamento (ART-092)                                              | Vaz & Nabout (2016)            | 10.1016/j.jaridenv.2016.05.008   | 3                 | Alta              |
| <b>Genômica de Populações</b>      | Risco de introgressão em germoplasma nativo por E. oleracea e heterose genômica em híbridos (ART-093)                                                                | Francisconi et al. (2025)      | 10.1016/j.biocon.2025.110200     | 3                 | Alta              |
| <b>Melhorament o Genético</b>      | Seleção de progênies via REML/BLUP com h <sup>2</sup> =0,52 e ganho genético predito > 18% para terra firme (ART-094)                                                | Farias Neto et al. (2011)      | 10.1590/S0100-204X2011000900007  | 3                 | Alta              |
| <b>Índices de Seleção</b>          | Índice de Mulamba & Mock com ganho de +15,8% em peso de frutos, +10,1% em cachos e +3,4% em polpa (ART-095)                                                          | Teixeira et al. (2012)         | 10.1590/S0100-204X2012001100004  | 3                 | Alta              |
| <b>Composição do Caroço</b>        | Equivalência de ácidos graxos insaturados e fitosteróis (beta-sitosterol) entre polpa e caroço de açaí (ART-101)                                                     | Mantovani et al. (2003)        | 10.1590/S0101-20612003000200015  | 3                 | Alta              |
| <b>Rizobactérias / Viveiro</b>     | Inoculação de B. subtilis e Burkholderia sp. aumentando teores de N, P (+73%) e K com Fv/Fm > 0,78, antecipando mudas para 5 meses (ART-102)                         | Castro et al. (2020)           | 10.1016/j.rhisph.2020.100240     | 3                 | Alta              |
| <b>Biocontrole / Fitopatologia</b> | Síntese de AIA (2,02 µg/mL) e inibição de 67-100% de Pestalotiopsis sp. por Bacillus spp. de SAFs como protetor e bioestimulante (ART-103)                           | Garcias et al. (2025)          | 10.1016/j.biocontrol.2025.105400 | 3                 | Alta              |
| <b>Alimentos Funcionais</b>        | Pó de caroço torrado como café 100% livre de cafeína com bioacessibilidade >65% de flavonoides pós-INFOGEST (ART-104)                                                | Lima et al. (2025)             | 10.1016/j.foodres.2025.115800    | 3                 | Alta              |
| <b>Simbiose Micorrízica</b>        | Associação com FMA nativos (660-791 esporos/100g) e correlação inversa com P disponível (r = -1,0) para bioinoculação (ART-105)                                      | Montenegro Gómez et al. (2020) | 10.1590/0100-29452020610         | 3                 | Alta              |
| <b>Manejo de Pragas</b>            | Manejo de Nipaecoccus nipae em E. precatoria, sucção de seiva, fumagina e controle com sabão potássico/óleo de nim 0,5% (ART-106)                                    | Santos & Peronti (2023)        | 10.1016/j.cropro.2023.106500     | 3                 | Alta              |

| Seção do Manual                    | Afirmação Técnica Central                                                                                                                    | Fonte Científica Primária      | DOI Normalizado                    | Peso da Evidência | Grau de Confiança |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Engenharia de Processos</b>     | Extração por Líquido Pressurizado (PLE) de bioativos do açaí com otimização Box-Behnken e RSD < 5% (ART-107)                                 | Aliaño-González et al. (2020)  | 10.1016/j.foodchem.2020.126800     | 3                 | Alta              |
| <b>Processos Verdes</b>            | Extração Assistida por Ultrassom (UAE) de antocianinas com cavitação a 35 °C e rendimento 25% superior (ART-108)                             | Aliaño-González et al. (2020)  | 10.1016/j.ultsonch.2020.105100     | 3                 | Alta              |
| <b>Tecnologia de Extração</b>      | Extração Assistida por Micro-ondas (MAE) em 3 min para quantificação de antocianinas em polpas e sucos (ART-109)                             | Aliaño-González et al. (2020)  | 10.1016/j.a3p.2020.100050          | 3                 | Alta              |
| <b>Economia Circular</b>           | Atividade tripanocida in vitro de caroços de açaí contra T. cruzi com apoptose mitocondrial do parasita (ART-110)                            | Cardoso et al. (2026)          | 10.1016/j.jep.2026.119500          | 3                 | Alta              |
| <b>Tecnologia de Alimentos</b>     | Microencapsulação por spray drying (160 °C, 20% maltodextrina DE 10) retendo 84,2% de antocianinas, aw < 0,25 e solubilidade 92,4% (ART-116) | Ramos et al. (2024)            | 10.1016/j.powtec.2024.119800       | 3                 | Alta              |
| <b>Fitoquímica Comparada</b>       | Açaí branco com 44,8% lipídeos, 57,8% oleico, estabilidade oxidativa superior (14,8 h a 110 °C) e tocoferóis > 280 mg/kg (ART-117)           | Santos et al. (2024)           | 10.1016/j.foodchem.2024.140200     | 3                 | Alta              |
| <b>Fertilidade de Várzea</b>       | Várzea estuarina com alta saturação de bases (V > 70%) e P disponível, sendo N total (0,23-1,75 g/kg) o fator limitante primário (ART-118)   | Alfaia et al. (2022)           | 10.1016/j.geodrs.2022.e00512       | 3                 | Alta              |
| <b>Economia Circular / Biochar</b> | Pirólise de estipes a 450 °C gerando biochar (BET 242 m²/g, pH 8,9) com elevação de 28% na retenção de água em solos arenosos (ART-119)      | Prado-Villalobos et al. (2024) | 10.1016/j.jaap.2024.106550         | 3                 | Alta              |
| <b>Ácido Pirolenhoso</b>           | Fase aquosa da pirólise (pH 2,45; 62,4% ácido acético/guaiacol) com ação fungistática a 1:200 e bioestimulação radicular a 1:500 (ART-120)   | Castro et al. (2025)           | 10.1016/j.indcrop.2025.119100      | 3                 | Alta              |
| <b>Cultivos Intercalares</b>       | Amortização de 60-70% dos custos e redução de 50% em capinas via culturas temporárias nas entrelinhas do açaizeiro (ART-121)                 | Vieira et al. (2007)           | 10.1590/S0100-204X2007000800002    | 3                 | Alta              |
| <b>Consórcio Açaí-Cacau</b>        | Enriquecimento rizosférico de diazotróficas (nifH), solubilizadores de P e Bacillus protetores contra podridões radiculares (ART-122)        | Sousa et al. (2024)            | 10.1016/j.apsoil.2024.105300       | 3                 | Alta              |
| <b>Manejo em Viveiro</b>           | Inoculação com Bacillus subtilis elevando coleto (4,14 mm), biomassa radicular (0,28 g) e IQD (0,0966, +23,7%) (ART-123)                     | Campos et al. (2023)           | 10.1016/j.scienta.2023.112100      | 3                 | Alta              |
| <b>ACV e Pegada de Carbono</b>     | Balanco de C líquido negativo (-1,24 kg CO2-eq/kg fruto) e redução de 40% em N sintético em SAFs certificados (ART-124)                      | Oliveira et al. (2025)         | 10.1016/j.jclepro.2025.141500      | 3                 | Alta              |
| <b>Densidade em SAFs</b>           | Densidade de 400 touceiras/ha sustentando 18-22 kg/touceira, polinização nativa e 30% de área basal arbórea (ART-125)                        | Freitas et al. (2022)          | 10.1016/j.agroforestry.2022.108900 | 3                 | Alta              |

| Seção do Manual        | Afirmiação Técnica Central                                                                                            | Fonte Científica Primária | DOI Normalizado                  | Peso da Evidência | Grau de Confiança |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| Estratificação em SAFs | Estratificação vertical (IAF 4,2-5,8 m²/m², 300-450 touceiras/ha) sem competição por luz em SAFs com açai (ART-126)   | Bolfe & Batistella (2011) | 10.1590/S0100-204X2011000600003  | 3                 | Alta              |
| Economia de SAFs       | Expansão de 3,3% a.a. do SAFs-A e renda familiar 2,4 a 3,1x maior que a pecuária com amortização intercalar (ART-127) | Costa et al. (2024)       | 10.1016/j.landusepol.2024.107100 | 3                 | Alta              |
| Fertilidade de SAFs    | Serapilheira de 5,73 a 11,42 t/ha em Irituia/PA restaurando Ca, Mg, K, P e MO aos níveis de mata nativa (ART-128)     | Souza et al. (2025)       | 10.1016/j.geoderma.2025.117200   | 3                 | Alta              |
| Variabilidade do Solo  | Alcance espacial geoestatístico de 42 m para MOS e 38 m para P homogeneizando o horizonte arável em SAFs (ART-129)    | Santos et al. (2023)      | 10.1016/j.still.2023.105800      | 3                 | Alta              |
| Ciclo de Nutrientes    | Root safety net e bombeamento de nutrientes reduzindo a lixiviação de potássio em > 50% no solo (ART-130)             | Flores & Schroth (2012)   | 10.1007/s11104-012-1250-x        | 3                 | Alta              |

*Este manual é de atualização contínua e dinâmica. Cada novo lote de artigos científicos analisados pela rotina automatizada refinará coeficientes, dosagens e orientações técnicas.*

## Anexo — Notas de Revisão Técnica

Revisão de consistência interna realizada em 03/10/2026 sobre a versão 25.0 do manual. O texto das seções 1 a 11 foi mantido integralmente conforme o original (Google Docs), inclusive numeração e ordem dos itens. A única intervenção estrutural foi na matriz (seção 12): as linhas espalhadas pelo documento foram reunidas numa só tabela, conforme detalhado abaixo.

| Prioridade     | Item                                             | Observação e correção recomendada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Crítica</b> | <b>4.2 — Fórmula de calagem</b>                  | Permanece o denominador <b>100 × PRNT</b> , que subestima a dose em 100 vezes com PRNT em %. Forma correta: <b><math>NC\ (t\ ha^{-1}) = CTC \times (V_2 - V_1) / PRNT</math></b> . Ex.: CTC 6, $V_1$ 20%, PRNT 80% → <b>3,0 t ha<sup>-1</sup></b> (a fórmula do manual dá 0,03).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Alta</b>    | <b>Matriz — Montagem da seção 12</b>             | No Doc, a matriz estava fragmentada e foi consolidada: 9 linhas (ART-116 a 120 e 127 a 130) estavam no topo do documento, antes do título; 4 linhas partidas pelo export (Engenharia de Processos, Biorrefinaria e Lignina, Valorização de Fibras, ART-110) foram remontadas; 2 pares de linhas mesclados numa só célula foram separados (Almeida et al. 2004 × ART-081 Alves et al. 2022; ART-125 × ART-126 Bolfe & Batistella 2011). Os rótulos de seção de ART-081 (“Fitoquímica do Caroço”) e ART-126 (“Estratificação em SAFs”) não existiam no Doc e foram atribuídos nesta revisão. Total na tabela: <b>126</b> linhas (o título declara 130); rótulos ART ausentes: 82-85, 96-100 e 111-115. Linhas com ART aparecem ao final, em ordem numérica. |
| <b>Alta</b>    | <b>4.3 × 4.5 × Matriz — Ordem nutricional</b>    | Três ordens incompatíveis: 4.3 <b>P &gt; N &gt; K &gt; Mg</b> ; Viégas 2004 <b>N &gt; P &gt; K &gt; Ca &gt; Mg &gt; S</b> ; Viégas 2022 <b>N &gt; K &gt; Ca &gt; S &gt; P &gt; Mg</b> . Distinguir limitação por omissão de ordem de acúmulo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Alta</b>    | <b>4.4 × 4.5 — Folha diagnóstica</b>             | 4.4 indica <b>Folha 6</b> para o B; 4.5 (Viégas et al., 2022) padroniza a <b>Folha nº 5</b> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Alta</b>    | <b>3.1 — Limiares de umidade da semente</b>      | Dois conjuntos no mesmo item: segura > 37% / crítico 30,3% / letal 15,1% (Nascimento 2007) e segura 39% / crítico 33% / letal 15%.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Alta</b>    | <b>8.3 × 9.10 — Vida de prateleira congelada</b> | 8.3 garante estabilidade de <b>12 a 24 meses</b> a −18 °C; 9.10 (Sousa et al., 2006) fixa <b>90 dias</b> a −18 °C após pasteurização de 80-90 °C/1 min. Diferença de 4 a 8 vezes num parâmetro operacional.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Alta</b>    | <b>Teor de ferro — base de cálculo</b>           | Seção 9.3: 4,5 mg/100 g de <b>matéria seca</b> ; seção 9.13 (Yuyama et al., 2002): 0,29-1,09 mg/100 g de <b>polpa fresca</b> . Valores compatíveis só se a umidade for explicitada; uniformizar a base.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Alta</b>    | <b>Estrutura — itens deslocados</b>              | Faixa ótima e alerta de fitotoxicidade do B estão em 4.5 Fitoextração; “Maturação final 4,9%” está em 5.4; herança do híbrido (2.3) está em 2.4; Tipificação da polpa (8.3) está em 9.3; frase “Toda recomendação...” abre a seção 11; o título da matriz (### 12) estava como subtítulo, no meio da seção 11, e foi movido para o fim; o bullet de biochar (Prado-Villalobos et al., 2024) ficou sem subtítulo próprio (provável 11.13), logo após o título da matriz.                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Média</b>   | <b>Numeração de subseções</b>                    | Fora da seção: 1.6 e 1.7 (seção 2), 8.7 (seção 5), 6.x (seção 7), 7.x (seções 8 e 9). Duplicadas: 3.5, 3.7, 3.8, 4.5, 5.3, 5.4, 8.7, 9.5. Fora de ordem: 3.4 antes de 3.3; 5.4 antes de 5.2; 9.14-9.16 antes de 9.12-9.13. Lacunas: 4.7-4.8, 5.5, 10.4, 11.13.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Média</b>   | <b>6.3 × 7.6 — Árvores nativas na várzea</b>     | 6.3: manter 50 a 60 árvores/ha; seção “Limites ecológicos” (Oliveira et al., 2025): 50 a 80 árvores/ha. Unificar o mínimo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Média</b>   | <b>4.2 — Critério de gessagem</b>                | Mistura “ou” e “e”; Ca 0,4 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> diverge do usual (0,5). Sugerido: Ca < 0,5, Al <sup>3+</sup> > 0,5 ou m > 30% em 20-40 cm (qualquer um).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Média</b>   | <b>4.3 — P na cova</b>                           | 150-200 g de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = ~830-1.110 g de superfosfato simples ou ~330-440 g de triplo. Explicitar nutriente × produto.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| Prioridade      | Item                                         | Observação e correção recomendada                                                                                                                                                                                        |
|-----------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Média</b>    | <b>Ganho genético</b>                        | Ganhos de 14,5%, 14,8%, 15-18%, > 18% e 24,5% e herdabilidades de 0,27 a 0,52 atribuídos a Farias Neto (2011, 2012); o DOI 10.1590/S0100-204X2012000800005 aparece em três linhas para idades distintas (24 e 36 meses). |
| <b>Média</b>    | <b>3.1 × 3.5 — Profundidade de semeadura</b> | 3.1: 1-2 cm (máx. 3 cm), atraso > 15 dias; 3.5: 0 cm com cobertura de 1-2 cm, atraso > 18 dias.                                                                                                                          |
| <b>Média</b>    | <b>Matriz — DOIs duplicados</b>              | 10.1016/j.flora.2021.151810 para Ramos et al. e Pereira et al. (2021); Neves et al. (2015) com o mesmo DOI para duas afirmações; Santos & Peronti citado como 2023 no texto e 2026 na matriz.                            |
| <b>Baixa</b>    | <b>Terminologia e rótulos</b>                | 2.3: “intersubespecífico” → <b>interespecífico</b> ; matriz: rótulo “Hdbusfen / Zoneamento Climático”.                                                                                                                   |
| <b>Pendente</b> | <b>12 — DOIs</b>                             | Os DOIs não foram resolvidos nesta revisão. Validar em doi.org antes de uso em laudo ou publicação.                                                                                                                      |