

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

MATHEUS VASCONCELLOS MISTURA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL PARA PRODUÇÃO DE
LEITE DE COCO**

POÇOS DE CALDAS/MG

2026

MATHEUS VASCONCELLOS MISTURA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL PARA PRODUÇÃO DE
LEITE DE COCO**

Produção Final de Curso (PFC) apresentada
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química
pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Lodi
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Alessandra Regina
Pepe Ambrozin

POÇOS DE CALDAS/MG

2026

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Mistura, Matheus Vasconcellos.

Desenvolvimento de um processo industrial para produção de leite de coco / Matheus Vasconcellos Mistura. - Poços de Caldas, MG, 2026.

74 f. : il. -

Orientador(a): Leandro Lodi.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2026.

Bibliografia.

1. Leite de coco. 2. Engenharia de processos. 3. Operações unitárias. 4. Balanço de massa e energia. 5. Dimensionamento de equipamentos. I. Lodi, Leandro, orient. II. Título.

MATHEUS VASCONCELLOS MISTURA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL PARA PRODUÇÃO DE
LEITE DE COCO**

O(A) Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do(a) Trabalho de Conclusão de Curso/Dissertação/Tese apresentado(a) como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 25 de junho de 2026

Prof. Dr. Giselle Patrícia Sancinetti
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:



Documento assinado digitalmente

GISELLE PATRICIA SANCINETTI

Data: 10/07/2026 14:37:50-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcos Vinícius Rodrigues
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:



Documento assinado digitalmente

MARCOS VINICIUS RODRIGUES

Data: 10/07/2026 14:48:42-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Leandro Lodi
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:



Documento assinado digitalmente

LEANDRO LODI

Data: 10/07/2026 14:34:26-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, pela minha saúde, pela minha vida e por ter estado comigo durante toda essa caminhada. A graduação foi cheia de momentos felizes, mas também de dificuldades, incertezas e dias em que parecia impossível continuar. Em todos esses momentos, tive fé de que existia um propósito e um caminho sendo construído, mesmo quando eu ainda não conseguia enxergar.

À minha família, meu agradecimento mais sincero por terem estado ao meu lado em todos os momentos dessa graduação. Obrigado por comemorarem comigo cada conquista, cada nota boa, cada estágio vencido e cada passo dado até aqui. Mas, principalmente, obrigado por me ajudarem a levantar nos momentos difíceis, quando as coisas não saíam como esperado, quando o cansaço batia e parecia mais fácil desistir. Nada disso teria sido possível sem vocês. Essa conquista também é de vocês.

À minha namorada, Milena, eu nem sei se existem palavras suficientes para agradecer tudo o que você fez por mim nesses anos. Obrigado por estar comigo todos os dias, me apoiando, me incentivando e me ajudando a ser alguém melhor. Nunca vou esquecer da sua ajuda nos momentos em que fiquei doente sozinho, dos remédios, da comida, quando o dinheiro apertava no final do mês, dos abraços, quando vinham notas ruins, depois de noites viradas estudando, e da companhia nos finais de semana em que eu só precisava esquecer um pouco dos problemas e respirar. Você esteve presente nos momentos mais difíceis e também nos mais felizes, e tornou toda essa caminhada muito mais leve. Muito obrigado por tudo.

Gostaria também de agradecer ao meu professor e orientador Leandro Lodi. Mesmo tendo a oportunidade de conhecê-lo apenas no último semestre da graduação, aprendi muito nesse período. Além da excelente capacidade de ensinar de forma próxima, prática e entusiasmada, agradeço especialmente pelas conversas sobre pós-graduação, carreira e caminhos futuros, que certamente me fizeram enxergar possibilidades que antes eu nem imaginava. Muito obrigado pela orientação, pela confiança e pelos ensinamentos. Agradeço a minha coorientadora Alessandra Ambrozini, pela leitura do manuscrito e pela ajuda nas correções dele.

Por fim, gostaria de fazer um agradecimento muito especial ao meu falecido avô, Salvador. Uma pessoa que teve um papel enorme na minha criação e também

na história da nossa família. Obrigado por acreditar tanto na gente, até mesmo quando nós mesmos ainda tínhamos dúvidas. Obrigado por ajudar nossa família durante os momentos de vestibular, financiando nossos estudos e sempre apostando no nosso futuro com uma confiança difícil até de explicar. Tenho certeza de que muito do que conquistamos hoje também tem um pouco do senhor. Mesmo não estando aqui fisicamente para ver esse momento, carrego comigo a sensação de que o senhor faz parte dessa conquista. Esse trabalho também é para você.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um processo industrial para produção de leite de coco, considerando aspectos técnicos, operacionais e econômicos relacionados à implantação de uma unidade produtiva em escala industrial. A escolha do leite de coco como objeto de estudo está associada ao crescimento do mercado de bebidas e produtos de origem vegetal, impulsionado pelo aumento da demanda por alternativas sem lactose e por alimentos de base vegetal. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o potencial de mercado do leite de coco, suas aplicações na indústria alimentícia e as principais características da matéria-prima, considerando o crescente interesse por bebidas e produtos de origem vegetal. Com base nessas informações, foi proposto um processo produtivo contemplando as etapas: de recepção e lavagem do coco; “quebra” e separação das frações; remoção da “testa”; moagem e extração do leite; filtração; homogeneização; tratamento térmico por pasteurização UHT; e, envase asséptico. A partir do desenvolvimento do fluxograma de blocos (BFD) e do fluxograma de processo (PFD), foram realizados balanços de massa e energia para quantificação das correntes do sistema e dimensionamento preliminar dos principais equipamentos envolvidos no processo. O sistema foi projetado para uma capacidade de produção de 50.000 kg de leite de coco por dia, sendo operacionalmente dividido em duas bateladas. Para atingir essa produção, estimou-se o processamento de aproximadamente 321.776 kg de coco maduro por dia. O aproveitamento energético dos resíduos sólidos do coco permitiu suprir parte da demanda térmica do processo, especialmente na geração de vapor para a etapa de pasteurização UHT, cuja carga térmica estimada foi de aproximadamente 2,08 MW. Essa estratégia foi adotada para compatibilizar a produção desejada com capacidades reais de equipamentos industriais. Além disso, foram consideradas soluções voltadas à maior eficiência operacional e sustentabilidade do processo, como o reaproveitamento parcial da água utilizada e o aproveitamento dos resíduos sólidos do coco para geração de energia térmica na caldeira. Também foram realizadas estimativas preliminares de custos de implantação, custos operacionais e precificação do produto, permitindo uma análise inicial dos custos envolvidos para o projeto. De modo geral, os resultados obtidos indicam as estimativas econômicas indicaram um investimento inicial (CAPEX) de aproximadamente R\$ 24,08 milhões e custos operacionais anuais

(OPEX) estimados em R\$ 3,61 milhões, fornecendo uma base preliminar para avaliação da viabilidade do empreendimento.

Palavras-chave: leite de coco; engenharia de processos; balanço de massa e energia; dimensionamento de equipamentos; viabilidade técnico-econômica.

ABSTRACT

The present study aimed to develop an industrial process for coconut milk production, considering technical, operational, and economic aspects related to the implementation of an industrial-scale production unit. The choice of coconut milk as the object of study is associated with the growth of the plant-based beverage market, driven by the increasing demand for lactose-free alternatives and plant-based foods. Initially, a literature review was conducted on the market potential of coconut milk, its applications in the food industry, and the main characteristics of the raw material, considering the growing interest in plant-based beverages and products. Based on this information, a production process was proposed, comprising the following stages: coconut reception and washing; fraction separation through coconut breaking; removal of the testa; grinding and milk extraction; filtration; homogenization; thermal treatment through UHT pasteurization; and aseptic packaging. From the development of the Block Flow Diagram (BFD) and the Process Flow Diagram (PFD), mass and energy balances were carried out to quantify process streams and perform the preliminary sizing of the main equipment involved in the process. The system was designed for a production capacity of 50,000 kg of coconut milk per day, operationally divided into two batches. To achieve this production, the processing of approximately 321,776 kg of mature coconut per day was estimated. The energy recovery of coconut solid residues enabled part of the thermal demand of the process to be supplied, especially in steam generation for the UHT pasteurization stage, whose estimated thermal load was approximately 2.08 MW. This strategy was adopted to align the desired production with the actual capacities of industrial equipment. Furthermore, solutions aimed at improving operational efficiency and process sustainability were considered, such as the partial reuse of process water and the use of coconut solid residues for thermal energy generation in the boiler. Preliminary estimates of implementation costs, operating costs, and product pricing were also performed, allowing an initial analysis of the project costs. In general, the results obtained indicated that the economic estimates showed an initial investment (CAPEX) of approximately BRL 24.08 million and annual operating costs (OPEX) estimated at BRL 3.61 million, providing a preliminary basis for assessing the feasibility of the enterprise.

Keywords: coconut milk; process engineering; mass and energy balance; equipment

sizing; techno-economic feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas gerais da fabricação de leite de coco	20
Figura 2 - Diagrama de blocos do processo (BFD) para produção de leite de coco. 33	
Figura 3 - Fluxograma de Processo (PFD) da planta proposta para produção de leite de coco.....	36
Figura 4 - Fluxograma de blocos do processo de obtenção de leite de coco contendo as correntes do balanço de massa.....	40
Figura 5 - Balanço para recepção e lavagem.....	41
Figura 6 - Balanço para quebra e separação	42
Figura 7 - Balanço para remoção da testa	42
Figura 8 - Balanço para moagem e prensagem	43
Figura 9 - Balanço para filtração	44
Figura 10 - Balanço para homogenização.....	44
Figura 11 - Balanço para pasteurização UHT.....	45
Figura 12 - Balanço para envase asséptico.	45
Figura 13 - Balanço para tratamento de água	46
Figura 14 - Balanço para distribuição de água	47
Figura 15 - Balanço para geração de energia	47
Figura 16 - Balanço para tratamento de efluentes	48
Figura 17 – Estudo de gargalos do processo de produção de leite de coco	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição nutricional do leite de coco cru.....	18
Tabela 2 – Lista de equipamentos.....	61
Tabela 3 – Estimativa simplificada de custos dos equipamentos	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivos Específicos.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	DISPONIBILIDADE DA QUANTIDADE DE COCO NO BRASIL/MUNDO E SUA DEMANDA.....	14
2.2	POTENCIAL DE MERCADO NO BRASIL E NO MUNDO DO USO DE LEITE DE COCO.....	16
2.3	PRODUÇÃO DO LEITE DE COCO.....	19
2.4	DIFERENTES ROTAS INDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE LEITE DE COCO.....	22
2.5	REAPROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS OBTIDOS NA PRODUÇÃO.....	24
2.6	PRINCIPAIS OPERAÇÕES E UNITÁRIAS DO PROCESSO PRODUTIVO DE ÓLEO DE COCO.....	26
3	DESCRIPTIVO DO PROCESSO.....	28
4	FLUXOGRAMA DE BLOCOS (BFD).....	33
5	FLUXOGRAMA DE PROCESSO (PFD).....	35
6	BALANÇO DE MASSA.....	39
6.1	RECEPÇÃO E LAVAGEM.....	41
6.2	QUEBRA E SEPARAÇÃO.....	41
6.3	REMOÇÃO DA TESTA.....	42
6.4	MOAGEM E PRENSAGEM.....	43
6.5	FILTRAÇÃO.....	43
6.6	HOMOGENIZAÇÃO.....	44
6.7	PASTEURIZAÇÃO UHT.....	45
6.8	ENVASE ASSÉPTICO.....	45
6.9	TRATAMENTO DE ÁGUA.....	46

6.10	DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	46
6.11	GERAÇÃO DE ENERGIA.....	47
6.12	TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	48
7	BALANÇO DE ENERGIA.....	48
8	ESTUDO DE GARGALO.....	52
9	LISTA DE EQUIPAMENTOS.....	55
9.1	RACIONAL DOS EQUIPAMENTOS.....	57
9.2	LISTA DE EQUIPAMENTOS.....	61
10	CUSTOS DO PROCESSO.....	62
10.1	ESTIMATIVA DO CAPEX.....	62
10.2	ESTIMATIVA DO OPEX.....	64
10.3	ESTIMATIVA DO TOTEX.....	65
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
12	CONCLUSÃO.....	68
	REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mercado alimentício tem passado por mudanças importantes impulsionadas pelo interesse crescente dos consumidores por produtos considerados mais saudáveis, naturais e alinhados a novos hábitos de consumo. Nesse cenário, os alimentos de origem vegetal vêm ganhando cada vez mais espaço, principalmente entre consumidores com restrições alimentares, como intolerância à lactose, alergia à proteína do leite, ou mesmo entre aqueles que buscam alternativas associadas a uma alimentação mais equilibrada e saudável. Esse crescimento pode ser observado no mercado global de bebidas vegetais, que tem apresentado expansão significativa nos últimos anos, impulsionada pela maior busca por produtos sem lactose e alternativas aos derivados lácteos tradicionais. Estimativas de mercado indicam crescimento contínuo do setor, com projeções de expansão anual superior a 10% em determinados segmentos de bebidas de origem vegetal.

Entre esses produtos, o leite de coco tem se destacado pelo aumento do consumo e pela sua ampla versatilidade de aplicação. Além do uso tradicional na culinária, o produto vem sendo cada vez mais utilizado na formulação de bebidas vegetais, sobremesas, produtos panificados, molhos e substitutos lácteos. Seu valor nutricional, sabor característico e compatibilidade com diferentes perfis de consumidores fazem com que o leite de coco apresente potencial significativo de crescimento dentro da indústria alimentícia.

Apesar disso, transformar o coco em leite de coco em escala industrial envolve uma série de desafios técnicos e operacionais. O processo exige etapas de separação, redução de tamanho, extração, estabilização e tratamento térmico, capazes de garantir não apenas a qualidade do produto final, mas também sua segurança microbiológica, estabilidade físico-química e viabilidade econômica. Além disso, fatores como consumo de água, demanda energética e geração de resíduos tornam-se aspectos importantes a serem considerados durante o desenvolvimento do processo.

Dentro desse contexto, a engenharia química possui papel fundamental, uma vez que permite integrar operações unitárias, balanços de massa e energia, dimensionamento de equipamentos e estratégias voltadas à otimização do processo. Mais do que simplesmente conectar equipamentos, o desenvolvimento de uma

planta industrial exige decisões relacionadas à capacidade produtiva, escolha de tecnologias, redução de gargalos operacionais e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Dessa forma, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um processo industrial para produção de leite de coco, considerando desde o processamento da matéria-prima até análises preliminares relacionadas ao dimensionamento dos equipamentos e à viabilidade do sistema proposto. Além disso, busca-se integrar soluções voltadas ao reaproveitamento de recursos, redução de desperdícios e melhor organização operacional, aproximando o estudo de uma realidade industrial aplicável.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram definidos de forma a orientar o desenvolvimento da proposta de processo industrial para produção de leite de coco, contemplando aspectos técnicos, operacionais e econômicos relacionados à estruturação preliminar da unidade produtiva.

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver uma proposta de processo industrial para produção de leite de coco, reunindo conceitos de engenharia química aplicados ao desenvolvimento, organização e avaliação preliminar de uma unidade produtiva.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) realizar pesquisa bibliográfica sobre o leite de coco, suas propriedades, aplicações industriais e potencial de mercado;
- b) propor um fluxograma de blocos (BFD) e um fluxograma de processo (PFD) representativos do sistema produtivo;
- c) realizar o balanço de massa do processo, quantificando as correntes envolvidas em cada etapa produtiva;

- d) realizar o balanço de energia da etapa de tratamento térmico, determinando as demandas energéticas do sistema;
- e) dimensionar preliminarmente os principais equipamentos do processo, considerando propriedades físicas dos materiais e capacidades industriais compatíveis com a produção proposta;
- f) avaliar o comportamento operacional do sistema por meio do diagrama de Gantt, identificando gargalos e necessidades de paralelismo operacional;
- g) propor alternativas para reaproveitamento de água e aproveitamento energético dos resíduos sólidos gerados no processamento;
- h) realizar estimativas preliminares de custos do processo e precificação do produto final, visando uma análise inicial da viabilidade técnico-econômica do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DISPONIBILIDADE DA QUANTIDADE DE COCO NO BRASIL/MUNDO E SUA DEMANDA

Atualmente, a cadeia produtiva do coco possui grande relevância econômica e apresenta um mercado mundial amplo, impulsionado principalmente pela crescente demanda por seus derivados, como leite de coco, óleo de coco, farinha e água de coco. Esse crescimento está relacionado não apenas ao aumento do consumo de produtos de origem vegetal, mas também ao interesse da indústria alimentícia por matérias-primas versáteis, com potencial de aplicação em diferentes segmentos. De acordo com a *International Coconut Community* (2022), a produção mundial de coco atinge aproximadamente 11,7 milhões de toneladas por ano, movimentando cerca de 1,2 bilhões de dólares em exportações no mercado internacional.

A produção de coco está concentrada principalmente em regiões tropicais, onde as condições climáticas favorecem o cultivo do coqueiro. Entre os países com participação significativa na cadeia produtiva, destacam-se aqueles que possuem elevada disponibilidade da matéria-prima e estrutura agrícola consolidada. Segundo a *International Coconut Community* (2022), os Estados Unidos representam cerca de 7,5% da participação no mercado global, enquanto países como Brasil e México

também apresentam papel relevante, registrando produções aproximadas de 492 mil toneladas e 179 mil toneladas, respectivamente, no ano de 2020. Esses números demonstram que o coco possui importância estratégica não apenas em países tradicionalmente produtores da Ásia, mas também no continente americano, tanto para abastecimento interno quanto para o fornecimento de matéria-prima destinada à indústria de alimentos.

Além do volume de produção, outro aspecto relevante da cadeia produtiva do coco é a forte participação de pequenos produtores rurais. Em muitos países, a produção ocorre majoritariamente em pequenas propriedades agrícolas, contribuindo para geração de renda e fortalecimento da economia local. Um exemplo pode ser observado na Colômbia, onde aproximadamente 80% da produção nacional de coco, no ano de 2020, esteve concentrada em pequenos produtores distribuídos principalmente nas regiões de Nariño, Cauca e Córdoba (INTERNATIONAL COCONUT COMMUNITY, 2022). Esse cenário demonstra que a produção do coco apresenta elevada flexibilidade estrutural, podendo ser realizada tanto em sistemas agrícolas altamente tecnificados quanto em contextos de agricultura familiar.

Essa característica favorece a ampla disponibilidade da matéria-prima, aspecto especialmente importante para indústrias que dependem de fornecimento contínuo para processamento em maior escala. No caso do leite de coco, por exemplo, a regularidade na oferta do fruto torna-se um fator essencial para garantir estabilidade operacional, viabilidade produtiva e redução de riscos associados ao abastecimento industrial. Além disso, o aproveitamento das diferentes frações do coco, como polpa, água e resíduos lignocelulósicos, amplia o potencial econômico dessa cadeia, permitindo maior diversificação de produtos e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis (INTERNATIONAL COCONUT COMMUNITY, 2022; FAO, 2013; ONSAARD; SIRIAMORN PUN, 2013).

Paralelamente ao crescimento da produção, a demanda mundial por derivados do coco também tem apresentado expansão significativa nos últimos anos. Esse movimento está fortemente relacionado à mudança no perfil de consumo, especialmente pela busca por alimentos considerados mais naturais, funcionais e compatíveis com dietas restritivas ou de base vegetal. Nesse contexto, produtos como o leite de coco vêm ganhando espaço no mercado devido à ausência de lactose, à versatilidade de aplicação e à crescente valorização de bebidas vegetais.

Segundo Rethinam (2019) e Alouw e Wulandari (2020), o mercado global de derivados do coco apresentou crescimento expressivo ao longo da última década, estimado em aproximadamente 500%, tanto em volume comercializado quanto em valor econômico. Além disso, os autores indicam projeções de crescimento de aproximadamente 11,3% em valor de mercado e até 79,9% em volume nos próximos anos.

Esse cenário reforça a importância estratégica do coco como matéria-prima para a indústria alimentícia e evidencia o potencial de investimentos relacionados ao seu processamento industrial. Países com maior disponibilidade do fruto possuem vantagens competitivas para atender ao aumento da demanda global, fortalecendo cadeias produtivas relacionadas ao leite de coco, óleo de coco e demais derivados. Dessa forma, o desenvolvimento de processos industriais eficientes para aproveitamento dessa matéria-prima torna-se cada vez mais relevante, tanto sob o ponto de vista econômico quanto tecnológico, especialmente diante da necessidade de integrar produtividade, aproveitamento de recursos e redução de desperdícios.

2.2 POTENCIAL DE MERCADO NO BRASIL E NO MUNDO DO USO DE LEITE DE COCO.

O mercado global de leite de coco tem apresentado crescimento expressivo nos últimos anos, impulsionado principalmente pela expansão do consumo de bebidas vegetais e pela busca dos consumidores por alimentos considerados mais saudáveis, naturais e sustentáveis (MARKET RESEARCH FUTURE, 2019). Esse movimento acompanha uma mudança importante nos hábitos alimentares, marcada pelo aumento da procura por produtos de origem vegetal, tanto por questões nutricionais quanto por preocupações ambientais e restrições alimentares, como a intolerância à lactose (POORE; NEMECEK, 2018; MISSELWITZ; BUTTER; VERDU, 2019; LOMER; PARKES; SANDERSON, 2008).

Entre os fatores que explicam esse crescimento, destaca-se o valor nutricional do leite de coco. Diferentemente de outras bebidas vegetais, o produto apresenta elevada concentração de triglicerídeos de cadeia média (MCTs), compostos que são metabolizados mais rapidamente pelo organismo quando comparados aos triglicerídeos de cadeia longa presentes em outras fontes lipídicas. Esses compostos são frequentemente associados ao fornecimento rápido de energia e vêm

despertando interesse crescente da indústria de alimentos funcionais e produtos voltados ao bem-estar e desempenho nutricional (GRUMEZESCU; HOLBAN, 2019).

Além disso, o leite de coco apresenta em sua composição o ácido láurico, um ácido graxo saturado com 12 átomos de carbono, amplamente estudado devido às suas potenciais propriedades antimicrobianas, antibacterianas, antivirais e funcionais. Estudos indicam que esse composto pode atuar positivamente em mecanismos relacionados à saúde, incluindo possíveis efeitos sobre processos celulares específicos, o que contribui para a valorização do produto dentro do mercado de alimentos funcionais (GRUMEZESCU; HOLBAN, 2019). Como consequência, o uso do leite de tem aumentado não apenas como ingrediente culinário, mas também como alternativa nutricional em formulações voltadas ao público que busca maior equilíbrio alimentar.

Esse crescimento também pode ser observado no desempenho do mercado global de bebidas vegetais, segmento no qual o leite de coco está inserido. Estimativas apontam que esse mercado movimentou aproximadamente US\$ 20 bilhões em 2022, com projeções indicando valores superiores a US\$ 40 bilhões até 2030, impulsionado principalmente pela busca por alimentos mais saudáveis, funcionais e alinhados às novas preferências de consumo (GRAND VIEW RESEARCH, 2023).

Outro aspecto relevante está relacionado à composição nutricional do leite de coco. O produto apresenta quantidades significativas de minerais essenciais, como ferro, cálcio, potássio, magnésio e zinco, nutrientes importantes para diferentes funções fisiológicas do organismo. Além disso, sua composição lipídica apresenta similaridade com alguns componentes encontrados no leite materno, aspecto que tem despertado interesse científico devido ao possível papel no desenvolvimento cerebral (SEOW; GWEE, 1997). Esse conjunto de características nutricionais tem contribuído para ampliar a aceitação do produto e fortalecer sua presença no mercado global de bebidas vegetais.

A composição nutricional do leite de coco demonstra de forma mais detalhada o potencial desse produto como alternativa alimentar, especialmente quando comparado a outras bebidas vegetais disponíveis no mercado. Informações relacionadas ao conteúdo de macronutrientes, minerais e valor energético do leite de coco cru podem ser observadas na Tabela 1, elaborada com base nos dados do banco nutricional do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA,

2004), permitindo melhor compreensão das características nutricionais que vêm impulsionando sua crescente valorização comercial.

Tabela 1 – Composição nutricional do leite de coco cru.

Nutrientes	Unidade	Valor
Energia	Kcal/100g	60.0
Água	g/100g	88.3
Cinzas	g/100g	0.70
Total	g/100g	5.30
Carboidratos		
Total gordura	g/100g	3.30
Total açúcar	g/100g	5.30
Fibra dietética	g/100g	0.00
Proteínas	g/100g	3.20
Calcio	mg/100g	113.0
Vitamina C	mg/100g	0.00
Sacarose	mg/100g	0.00
Lactose	mg/100g	0

Fonte: Adaptado de United States Department of Agriculture (2004).

Além dos benefícios nutricionais, outro fator que tem impulsionado o crescimento do consumo de leite de coco está relacionado à preocupação crescente com sustentabilidade. Nos últimos anos, consumidores têm demonstrado maior interesse por produtos alimentícios associados a menor impacto ambiental, especialmente quando comparados aos produtos de origem animal. Nesse contexto, as bebidas vegetais vêm ganhando espaço devido ao menor consumo de recursos naturais e à menor emissão de gases de efeito estufa durante sua produção (GRAND VIEW RESEARCH, 2023).

Quando comparado ao leite de origem animal, o leite de coco apresenta vantagens relevantes sob o ponto de vista ambiental. Estudos indicam que o potencial de aquecimento global associado à produção de leite bovino varia entre 1,14 e 2,50 kg de CO₂ equivalente por litro produzido, enquanto o leite de coco apresenta valores significativamente menores, estimados em aproximadamente 0,42 kg de CO₂ equivalente por litro (STEPHEN; ENDA; KARLI, 2017). Além disso, a produção de leite de origem animal pode demandar até nove vezes mais área de terra quando comparada à produção de bebidas vegetais, reforçando o interesse crescente por alternativas mais sustentáveis dentro da indústria alimentícia.

Essa discussão torna-se ainda mais relevante quando se considera a necessidade de sistemas alimentares mais eficientes e menos intensivos em recursos naturais. Segundo Poore e Nemecek (2018), a substituição parcial de produtos de origem animal por alternativas vegetais possui potencial significativo para reduzir emissões associadas ao setor alimentício global, contribuindo para sistemas produtivos mais sustentáveis e alinhados às demandas ambientais atuais.

Outro fator que contribui diretamente para o crescimento do mercado de bebidas vegetais é a elevada prevalência da intolerância à lactose na população mundial. Estima-se que aproximadamente 65% da população global apresente algum grau de má absorção de lactose após a infância, tornando essa condição uma das restrições alimentares mais comuns em escala mundial (MISSelWITZ; BUTTER; VERDU, 2019). Esse cenário tem incentivado a procura por alternativas ao leite de origem animal, favorecendo diretamente o crescimento de bebidas vegetais como o leite de coco.

Além disso, estudos apontam que a não persistência da enzima lactase afeta mais da metade da população da América do Sul, África e Ásia, podendo ultrapassar 70% em determinadas regiões (LOMER; PARKES; SANDERSON, 2008). Como consequência, observa-se crescimento contínuo no mercado de produtos lactose-free e bebidas vegetais, impulsionado por consumidores que buscam opções alimentares mais compatíveis com suas necessidades nutricionais. Estimativas indicam que esse mercado deverá ultrapassar US\$ 17 bilhões até 2027, refletindo tanto o aumento da conscientização sobre intolerâncias alimentares quanto a expansão do interesse por alternativas ao leite convencional (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2022).

Dessa forma, os fatores discutidos ao longo deste tópico, incluindo benefícios nutricionais, sustentabilidade, mudanças no perfil de consumo e restrições alimentares, ajudam a explicar o crescimento contínuo do mercado de leite de coco em escala global. Esse cenário reforça não apenas o potencial econômico do produto, mas também sua relevância para o desenvolvimento de processos industriais capazes de atender a uma demanda cada vez maior por alternativas vegetais de qualidade.

2.3 PRODUÇÃO DO LEITE DE COCO

De maneira geral, a produção industrial de leite de coco envolve uma sequência de operações unitárias destinadas ao preparo da matéria-prima, extração do leite, estabilização da emulsão e conservação do produto final. A Figura 1 apresenta, de forma esquemática, as principais etapas normalmente empregadas no processamento industrial do leite de coco.

Figura 1 - Etapas gerais da fabricação de leite de coco



Fonte: Adaptado de Seow e Gwee (1997); Onsaard e Siriamornpun (2013).

A produção de leite de coco ocorre a partir da extração aquosa do endosperma sólido do coco maduro, resultando em uma emulsão natural composta principalmente por água, lipídios e proteínas. De maneira geral, diferentes rotas tecnológicas podem ser utilizadas para obtenção do produto, variando desde processos artesanais até sistemas industriais altamente automatizados, envolvendo etapas de preparo da matéria-prima, extração, separação, estabilização e conservação do produto final (SEOW; GWEE, 1997). Essa flexibilidade de processamento permite adequações conforme a escala produtiva desejada, vida útil pretendida e características sensoriais esperadas do leite de coco (ONSAARD; SIRIAMORNPUN, 2013; FELLOWS, 2017).

Em termos industriais, o processo normalmente se inicia com operações preliminares de preparação da matéria-prima, uma vez que a qualidade do coco recebido influencia diretamente o rendimento de extração e as características do produto final. De acordo com Seow e Gwee (1997), etapas como limpeza, descascamento e remoção da película marrom do coco (testa) são importantes para evitar alterações de cor, sabor e aparência do leite de coco, além de minimizar a presença de compostos que possam comprometer a estabilidade da emulsão.

Após essa etapa inicial, a polpa do coco é submetida à redução de tamanho por meio de operações mecânicas, como moagem ou trituração, visando aumentar a

área superficial do material e favorecer a liberação da fase líquida durante a extração. Em processos industriais, são frequentemente empregados trituradores e moinhos mecânicos para fragmentação do endosperma, promovendo maior eficiência operacional e melhor aproveitamento da matéria-prima (SEOW; GWEE, 1997).

A etapa de extração do leite de coco consiste na separação da fração líquida presente na polpa triturada, podendo ocorrer com ou sem adição de água, dependendo da concentração desejada no produto final. Segundo Seow e Gwee (1997), a adição controlada de água antes da prensagem ou separação pode elevar significativamente o rendimento da extração, permitindo maior recuperação dos constituintes solúveis do coco. Em muitos sistemas produtivos, a extração é realizada mais de uma vez, gerando extratos de diferentes concentrações, sendo o primeiro geralmente mais concentrado e os posteriores mais diluídos.

Após a obtenção do extrato, operações de clarificação tornam-se importantes para remover partículas sólidas remanescentes sem comprometer a estabilidade natural da emulsão. De acordo com Seow e Gwee (1997), etapas de filtração ou centrifugação de baixa intensidade são frequentemente empregadas para reduzir sólidos suspensos, melhorando textura, aparência e padronização do produto.

Outro ponto relevante no processamento industrial está relacionado à estabilidade da emulsão. O leite de coco é naturalmente uma emulsão óleo-em-água e apresenta tendência à separação de fases ao longo do armazenamento, fator que pode comprometer sua aceitação comercial (SEOW; GWEE, 1997). Dessa forma, processos de homogeneização são frequentemente utilizados para reduzir o tamanho dos glóbulos lipídicos e aumentar a estabilidade do sistema. Além disso, a adição de estabilizantes pode auxiliar na manutenção da textura e na redução da separação de fases durante o armazenamento (TANGSUPHOOM; COUPLAND, 2009; ONSAARD; SIRIAMORNPUN, 2013).

Por fim, os tratamentos térmicos representam uma das etapas mais importantes para conservação do leite de coco, especialmente devido à elevada susceptibilidade microbiológica do produto e ao seu pH relativamente próximo da neutralidade. Segundo Seow e Gwee (1997), processos térmicos como pasteurização, esterilização e tratamento UHT são amplamente empregados para aumentar a vida útil do produto. A pasteurização pode ocorrer em condições brandas para conservação de curto prazo, enquanto tratamentos mais severos, associados ao

envase asséptico, são utilizados quando se deseja maior estabilidade e armazenamento à temperatura ambiente.

Dessa forma, observa-se que a produção industrial de leite de coco envolve uma sequência de operações integradas que influenciam diretamente fatores como rendimento de extração, estabilidade da emulsão, qualidade sensorial e vida útil do produto. A definição adequada da rota tecnológica torna-se essencial para garantir não apenas eficiência produtiva, mas também competitividade industrial frente ao crescimento contínuo do mercado de bebidas vegetais (SEOW; GWEE, 1997; ONSAARD; SIRIAMORNpun, 2013; FELLOWS, 2017; GRAND VIEW RESEARCH, 2023).

2.4 DIFERENTES ROTAS INDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE LEITE DE COCO

A crescente demanda por bebidas vegetais tem incentivado o desenvolvimento e a consolidação de diferentes processos industriais voltados à produção de leite de coco. Atualmente, a indústria dispõe de tecnologias que variam desde métodos mais convencionais de extração e conservação até processos mais avançados de estabilização da emulsão e aumento da vida útil do produto. Essas tecnologias buscam não apenas garantir segurança microbiológica, mas também preservar características importantes, como sabor, textura, aroma e aparência do leite de coco, fatores diretamente relacionados à aceitação do consumidor (SEOW; GWEE, 1997).

Entre os processos mais tradicionais empregados industrialmente, destaca-se a extração aquosa da polpa do coco maduro, seguida de etapas de separação e tratamento térmico. Nesse modelo produtivo, após operações preliminares como limpeza, descascamento e trituração da matéria-prima, o extrato obtido passa por operações de filtração ou centrifugação para remoção de partículas sólidas remanescentes. Em seguida, o produto é submetido à pasteurização e, posteriormente, envasado, sendo normalmente comercializado sob refrigeração. Trata-se de uma rota amplamente utilizada para a produção de leite de coco fresco ou de produtos com menor tempo de prateleira, preservando características sensoriais próximas às do produto recém-extraído (TANGSUPHOM; COUPLAND, 2009).

Outra rota industrial amplamente consolidada envolve a utilização de tratamentos térmicos mais intensivos, como a esterilização em embalagens herméticas ou o processamento UHT (*Ultra High Temperature*). Nesse sistema, o leite de coco previamente filtrado e homogeneizado é submetido a elevadas temperaturas por curto período, permitindo a eliminação de microrganismos deteriorantes e patogênicos sem comprometer excessivamente as propriedades do produto. Após o tratamento térmico, o leite de coco é envasado em condições assépticas, possibilitando armazenamento à temperatura ambiente por períodos significativamente mais longos (ONSAARD; SIRIAMORNPUN, 2013). Esse modelo de processamento tem ganhado destaque devido à praticidade logística e ao aumento da demanda por produtos de longa vida, especialmente em mercados com ampla distribuição territorial (FELLOWS, 2017; GRAND VIEW RESEARCH, 2023).

Além das formas líquidas tradicionais, a indústria também vem ampliando a produção de leite de coco em pó, uma alternativa que apresenta vantagens importantes relacionadas ao transporte, armazenamento e versatilidade de aplicação em formulações alimentícias. Nesse processo, o leite de coco previamente padronizado e estabilizado é submetido à secagem por atomização (*spray drying*), tecnologia na qual o líquido é pulverizado em uma corrente de ar quente, promovendo rápida evaporação da água e formação de partículas sólidas finas. Em muitos casos, são utilizados agentes carreadores, como maltodextrina, visando melhorar a estabilidade do pó e reduzir problemas relacionados à aglomeração e absorção de umidade durante o armazenamento (ONSAARD; SIRIAMORNPUN, 2013).

Outro avanço importante observado nos processos industriais de leite de coco está relacionado à aplicação de técnicas de homogeneização em alta pressão e ao uso de estabilizantes alimentares, como gomas naturais e emulsificantes. Esses recursos tecnológicos desempenham papel fundamental na manutenção da estabilidade da emulsão óleo-em-água característica do leite de coco, reduzindo fenômenos como separação de fases, sedimentação de partículas e variações de textura ao longo do armazenamento (TANGSUPHOOM; COUPLAND, 2009). A utilização dessas etapas torna-se especialmente relevante em produtos submetidos a longos períodos de estocagem ou comercialização em temperatura ambiente (ONSAARD; SIRIAMORNPUN, 2013).

Dessa forma, observa-se que diferentes rotas industriais já se encontram consolidadas para a produção de leite de coco, variando principalmente em função do método de conservação empregado, da estabilidade desejada e da forma final de comercialização do produto. O leite de coco pode ser disponibilizado como produto fresco refrigerado, bebida esterilizada de longa vida ou ainda na forma de pó, dependendo do público-alvo e das demandas do mercado. Assim, a escolha do processo produtivo está diretamente relacionada a fatores como infraestrutura industrial disponível, custos operacionais, requisitos de qualidade e vida útil esperada do produto (ONSAARD; SIRIAMORNPUN, 2013).

2.5 REAPROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS OBTIDOS NA PRODUÇÃO

A produção industrial de leite de coco gera diferentes subprodutos ao longo do processamento da matéria-prima, principalmente resíduos provenientes da casca, da fibra e da polpa remanescente após sua extração com água. Durante muitos anos, esses materiais foram tratados apenas como resíduos do processo produtivo. Entretanto, o avanço dos conceitos de sustentabilidade e economia circular tem incentivado o desenvolvimento de estratégias voltadas ao reaproveitamento desses subprodutos, reduzindo impactos ambientais e agregando valor econômico à cadeia produtiva do coco (SEOW; GWEE, 1997). Considerando a composição média do coco maduro, estima-se que aproximadamente 35% da massa do fruto corresponda à casca fibrosa (mesocarpo), cerca de 12 a 15% ao endocarpo (casca dura ou shell), aproximadamente 28% à polpa (endosperma sólido) e o restante à água de coco e outras frações internas, evidenciando o elevado volume de subprodutos potencialmente reaproveitáveis gerados ao longo do processamento industrial (FAO, 2013; ONSAARD; SIRIAMORNPUN, 2013; ARYEE; BOAKYE; AGYEI, 2020).

Entre os principais subprodutos gerados destaca-se o resíduo sólido da polpa após a extração do leite de coco, frequentemente denominado *coconut press cake* ou torta de coco. Mesmo após a extração, esse material ainda apresenta quantidades significativas de fibras, lipídios e proteínas, o que amplia suas possibilidades de aproveitamento. Segundo Onsaard e Siriamornpun (2013), esse resíduo pode ser utilizado na produção de farinha de coco, ingrediente que tem despertado interesse crescente na indústria alimentícia devido ao elevado teor de fibras e ao baixo conteúdo de carboidratos disponíveis. A farinha obtida pode ser

incorporada em produtos de panificação, alimentos funcionais e formulações voltadas a consumidores que buscam alternativas nutricionais mais saudáveis.

Além das aplicações alimentícias, a torta residual também apresenta potencial de utilização na alimentação animal, especialmente em dietas destinadas a ruminantes, devido ao seu conteúdo energético e fibroso. Em alguns casos, esse material pode ainda ser direcionado para processos biotecnológicos, como fermentação ou digestão anaeróbia, permitindo a produção de biogás e contribuindo para o aproveitamento energético dos resíduos gerados durante o processamento industrial do coco (FAO, 2013). Esse tipo de reaproveitamento representa uma alternativa interessante para redução de perdas e aumento da eficiência global do processo.

Outro subproduto relevante é a casca fibrosa do coco, que corresponde a uma parcela significativa da massa total do fruto e apresenta composição rica em lignina, celulose e hemicelulose. Essas características permitem diferentes aplicações industriais, incluindo a produção de cordas, mantas agrícolas, substratos para cultivo de plantas e materiais utilizados para isolamento térmico e acústico. Além disso, devido ao seu elevado poder calorífico, a casca pode ser utilizada como biomassa para geração de energia térmica em caldeiras industriais, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para processos produtivos mais sustentáveis (FAO, 2013).

O endocarpo do coco, popularmente conhecido como casca dura ou *shell*, também possui elevado potencial de reaproveitamento industrial. Segundo Onsaard e Siriamornpun (2013), esse material é amplamente utilizado na produção de carvão vegetal e carvão ativado, devido à sua elevada resistência estrutural e capacidade de formação de poros. O carvão ativado produzido a partir do endocarpo do coco apresenta alta área superficial e grande capacidade adsorvente, sendo amplamente empregado em processos de purificação de água, tratamento de efluentes industriais e remoção de contaminantes.

Além das aplicações externas à indústria alimentícia, os resíduos gerados durante o processamento do coco também podem ser reaproveitados diretamente dentro da própria planta industrial, contribuindo para maior autossuficiência energética do sistema produtivo. A casca fibrosa e o endocarpo, por apresentarem elevado poder calorífico, podem ser direcionados para alimentação de caldeiras destinadas à geração de vapor, amplamente utilizado em operações unitárias da

indústria alimentícia, como pasteurização, esterilização, limpeza de equipamentos (clean-in-place – CIP) e aquecimento de fluidos de processo (FAO, 2013). Esse reaproveitamento torna-se particularmente interessante em plantas industriais de leite de coco, uma vez que reduz custos operacionais e diminui a necessidade de aquisição de combustíveis externos.

No contexto do processo desenvolvido neste trabalho, o reaproveitamento dos resíduos sólidos do coco mostra-se especialmente relevante, visto que parte significativa da casca e dos resíduos lignocelulósicos pode ser destinada à geração de vapor em caldeira, auxiliando no suprimento da demanda térmica associada ao processamento UHT do leite de coco. Paralelamente, resíduos orgânicos mais finos e frações remanescentes da polpa podem ser direcionados para processos de digestão anaeróbia visando à produção de biogás, ampliando ainda mais o potencial de aproveitamento energético da planta. Essa integração entre produção e reaproveitamento de resíduos favorece a redução da geração de rejeitos, melhora a eficiência operacional e fortalece a sustentabilidade do processo produtivo (FAO, 2013; FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

Dessa forma, observa-se que a cadeia produtiva do coco apresenta elevado potencial de aproveitamento integral da matéria-prima, permitindo que diferentes subprodutos sejam reinseridos em aplicações alimentícias, industriais e energéticas. Mais do que reduzir desperdícios, esse aproveitamento agrega valor ao processo industrial, reduz impactos ambientais e fortalece estratégias alinhadas aos princípios de economia circular e sustentabilidade industrial, fatores cada vez mais relevantes no cenário atual da indústria de alimentos (FAO, 2013; ARYEE; BOAKYE; AGYEI, 2020).

2.6 PRINCIPAIS OPERAÇÕES E UNITÁRIAS DO PROCESSO PRODUTIVO DE ÓLEO DE COCO

A engenharia de processos industriais é fundamentada no conceito de operações unitárias, que correspondem às etapas básicas responsáveis por transformações físicas e químicas, transferência de massa e transferência de energia ao longo de um processo produtivo. A compreensão dessas operações permite analisar sistemas industriais complexos a partir da combinação de fenômenos fundamentais, como redução de tamanho, mistura, separação de fases e

transferência de calor. No setor alimentício, essas operações desempenham papel essencial na conversão de matérias-primas agrícolas em produtos seguros, padronizados e adequados ao consumo humano. No caso da produção de leite de coco, o processamento envolve uma sequência integrada de operações unitárias, incluindo limpeza da matéria-prima, redução de tamanho, extração sólido-líquido, separação de partículas, estabilização da emulsão e tratamento térmico (FELLOWS, 2017).

A etapa inicial do processo envolve operações de seleção e limpeza da matéria-prima, fundamentais para garantir qualidade do produto e reduzir riscos microbiológicos. A seleção ocorre com base em propriedades físicas dos frutos, como tamanho, integridade estrutural e estado de maturação, permitindo a retirada de cocos inadequados ao processamento. Em seguida, realiza-se a limpeza, geralmente por lavagem com água corrente, tanques de imersão ou sistemas com jatos pressurizados. Nessa operação, o escoamento do fluido gera forças de arraste e cisalhamento sobre a superfície do coco, promovendo a remoção de partículas aderidas, como solo, areia, fragmentos vegetais e parte dos microrganismos presentes externamente. A eficiência dessa etapa é favorecida pela turbulência do fluido e pela maior área de contato entre água e superfície do material (FELLOWS, 2017).

Após a limpeza ocorre a quebra do coco e a separação da casca, uma operação essencial para acesso ao endosperma sólido do fruto, matéria-prima utilizada na produção do leite de coco. Sob o ponto de vista físico, trata-se de uma operação mecânica baseada na aplicação de tensões superiores à resistência estrutural da casca. Quando submetido a esforços de impacto ou compressão, o material sofre concentração de tensões que ultrapassam seu limite de resistência mecânica, provocando a fratura controlada da estrutura rígida do coco e permitindo a separação de suas diferentes frações (FELLOWS, 2017).

Na sequência, ocorre a remoção da polpa e da película marrom (testa), seguida de uma nova etapa de lavagem. Essa operação tem como principal objetivo remover resíduos provenientes das etapas anteriores e reduzir a presença de compostos indesejáveis que possam interferir na coloração, sabor e estabilidade do produto final. Além disso, a retirada da testa contribui para obtenção de um leite de coco visualmente mais uniforme e com características sensoriais mais agradáveis ao consumidor (FELLOWS, 2017).

Posteriormente, a polpa é submetida à trituração ou moagem, operação unitária de redução de tamanho amplamente empregada na indústria química e de alimentos. Essa etapa baseia-se na aplicação de forças mecânicas, como impacto, compressão, cisalhamento e atrito, capazes de superar a resistência estrutural do material sólido, promovendo sua fragmentação em partículas menores. A redução granulométrica aumenta significativamente a área superficial específica da polpa, favorecendo os fenômenos de transferência de massa entre as fases sólida e líquida e, conseqüentemente, aumentando a eficiência da extração do leite de coco nas etapas subsequentes (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

Após a redução do tamanho das partículas, ocorre a adição de água, formando uma suspensão sólido-líquido. Do ponto de vista físico, essa etapa pode ser interpretada como uma operação de mistura e diluição, na qual partículas sólidas permanecem dispersas em um meio aquoso. A agitação favorece a homogeneização do sistema e amplia a área de contato entre as fases, intensificando os mecanismos de transferência de massa responsáveis pela solubilização e liberação dos constituintes do coco para a fase líquida (GEANKOPLIS, 2003; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

A etapa seguinte corresponde à extração do leite de coco, classificada como uma operação unitária de separação sólido-líquido. Nesse processo, a mistura triturada é submetida à aplicação de pressão mecânica, promovendo um gradiente de pressão que força o escoamento da fase líquida através da matriz sólida porosa formada pelas partículas da polpa. Como consequência da compressão do material, ocorre a expulsão do líquido retido nos espaços intersticiais, originando o extrato vegetal. Já a fração sólida remanescente constitui um importante subproduto do processo, podendo ser reaproveitada em aplicações alimentícias ou energéticas. A eficiência da extração depende de fatores como granulometria do sólido, pressão aplicada e teor de umidade da mistura (SEOW; GWEE, 1997).

Após a extração, o líquido obtido ainda contém partículas sólidas finas provenientes da polpa vegetal, tornando necessária uma etapa adicional de separação mecânica. Para isso, são normalmente empregadas operações de filtração ou centrifugação. Na filtração, a separação ocorre pela passagem do fluido através de um meio poroso, retraindo partículas de maior dimensão em função da diferença de tamanho entre sólidos e poros do material filtrante. Já na centrifugação, utiliza-se a força centrífuga para intensificar a sedimentação das partículas mais

densas, acelerando um fenômeno que ocorreria naturalmente sob ação da gravidade. Essas operações são fundamentais para melhorar a textura, aparência e uniformidade do leite de coco, além de contribuírem para maior estabilidade do produto final (GEANKOPLIS, 2003).

Em seguida ocorre a etapa de padronização da emulsão, responsável pelo ajuste da composição do produto, especialmente em relação ao teor de gordura e concentração de sólidos totais. O leite de coco caracteriza-se naturalmente como uma emulsão óleo-em-água, composta por gotículas de gordura dispersas em uma fase aquosa contendo proteínas, açúcares e outros compostos solúveis. O controle adequado das proporções dessas fases é importante para garantir uniformidade nas propriedades físico-químicas do produto, influenciando diretamente fatores como viscosidade, estabilidade e percepção sensorial (ONSAARD; SIRIAMORNpun, 2013).

Após a padronização, o produto é submetido à homogeneização, operação unitária amplamente utilizada para aumentar a estabilidade física de emulsões alimentícias. Durante esse processo, o fluido é submetido a elevadas pressões e forçado a atravessar válvulas ou orifícios estreitos, gerando intensa turbulência e elevados níveis de cisalhamento. Como resultado, ocorre redução significativa do tamanho das gotas de gordura, promovendo uma distribuição mais uniforme da fase dispersa no meio contínuo. Esse efeito reduz a tendência de separação de fases durante o armazenamento e melhora a estabilidade física do leite de coco ao longo da vida útil do produto (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

Na sequência, realiza-se o tratamento térmico, etapa considerada uma das mais importantes para garantia da segurança microbiológica e ampliação da vida útil do alimento. Essa operação fundamenta-se na transferência de calor entre um fluido de aquecimento e o produto alimentício, promovendo aumento controlado de temperatura. Dependendo do objetivo do processo, podem ser utilizados tratamentos como pasteurização ou processamento UHT (*Ultra High Temperature*). Na pasteurização, o produto é aquecido a temperaturas moderadas por tempo controlado, seguido de resfriamento rápido, promovendo inativação de microrganismos e enzimas sem comprometer significativamente as propriedades sensoriais do alimento. Já no tratamento UHT, empregam-se temperaturas mais elevadas por curto período, permitindo obtenção de produtos estáveis por períodos prolongados sem necessidade de refrigeração (FELLOWS, 2017).

Por fim, após o tratamento térmico, o leite de coco é encaminhado para o envase asséptico, operação responsável por garantir a manutenção das condições microbiológicas alcançadas nas etapas anteriores. Nessa fase, o produto é transferido para recipientes previamente esterilizados sob condições controladas, minimizando riscos de contaminação externa. Com o envase, encerram-se as principais operações unitárias do processo produtivo, restando apenas etapas relacionadas ao armazenamento e distribuição, nas quais devem ser mantidas condições adequadas de higiene e conservação para garantir a qualidade do produto até o consumo final (SEOW; GWEE, 1997; ONSAARD; SIRIAMORNUN, 2013; FELLOWS, 2017).

Dessa forma, observa-se que a produção de leite de coco envolve uma combinação integrada de operações unitárias que atuam diretamente sobre propriedades físicas, químicas e microbiológicas da matéria-prima. O entendimento dessas etapas torna-se essencial para o desenvolvimento de processos industriais mais eficientes, seguros e economicamente viáveis, permitindo obtenção de produtos com qualidade padronizada e maior competitividade no mercado de bebidas vegetais.

3 DESCRITIVO DO PROCESSO

O processo proposto neste trabalho foi desenvolvido com o objetivo de produzir aproximadamente 50.000 kg de leite de coco por dia, utilizando como matéria-prima principal o coco maduro e empregando operações mecânicas de separação e extração, seguidas de etapas de purificação, estabilização e conservação térmica do produto. Considerando limitações relacionadas à capacidade operacional dos equipamentos industriais selecionados e aos volumes de armazenamento adotados no projeto, optou-se pela realização da produção diária em duas bateladas de aproximadamente 25.000 kg cada. Essa configuração permite melhor aproveitamento da infraestrutura proposta, maior controle operacional e maior flexibilidade do processo produtivo.

De forma geral, o sistema foi concebido para operar predominantemente em regime descontínuo, embora algumas operações ocorram de maneira contínua em função da própria natureza dos equipamentos industriais utilizados e da capacidade de produção. A planta produtiva foi estruturada a partir de equipamentos

amplamente empregados na indústria de alimentos, incluindo tanques de armazenamento, tanques de lavagem, trituradores, centrífugas, descascadores abrasivos, sistemas de moagem, filtros, reatores de homogeneização, trocador de calor a placas para tratamento térmico UHT, além de bombas, válvulas de controle e unidades auxiliares, como caldeira e sistema de tratamento e reaproveitamento de água.

O processo produtivo tem início com a recepção e armazenamento das matérias-primas principais: coco maduro e água de lavagem, mantidos em tanques independentes até sua utilização. Na sequência, os cocos são direcionados para a etapa de lavagem, cujo principal objetivo é remover impurezas superficiais, como solo, poeira e materiais aderidos ao fruto, contribuindo para melhores condições higiênico-sanitárias ao longo do processamento.

Após a limpeza, o coco segue para operações mecânicas de redução de tamanho, realizadas inicialmente em trituradores, que promovem a fragmentação do material para facilitar as etapas posteriores de separação. Em seguida, a corrente processada é encaminhada para centrífugas, responsáveis pela separação das principais frações constituintes do coco, incluindo casca, água de coco e polpa sólida. Essa etapa é particularmente importante, pois permite direcionar adequadamente cada corrente do processo, além de favorecer o reaproveitamento dos subprodutos gerados.

A polpa obtida é então encaminhada aos descascadores abrasivos, equipamentos responsáveis pela remoção da película marrom (testa) aderida à superfície do endosperma. A retirada dessa fração torna-se necessária para obtenção de um produto com melhor aparência, coloração mais uniforme e características sensoriais mais adequadas ao padrão comercial esperado para o leite de coco. Após essa etapa, a polpa branca segue para moagem e prensagem, promovendo a ruptura celular do material e favorecendo a liberação da fração líquida rica em lipídios e compostos solúveis.

O leite de coco bruto obtido na extração ainda apresenta partículas sólidas finas provenientes da polpa processada, tornando necessária uma etapa de filtração para remoção dessas impurezas. Após a clarificação, o produto é direcionado para a homogeneização, etapa fundamental para garantir maior estabilidade da emulsão óleo-em-água característica do leite de coco. Nessa fase, ocorre também a adição

controlada de estabilizantes, visando reduzir a tendência de separação de fases durante o armazenamento e melhorar a uniformidade do produto final.

Na sequência, o leite de coco é submetido ao tratamento térmico UHT (*Ultra High Temperature*), realizado em trocador de calor a placas. Essa etapa desempenha papel essencial na garantia da segurança microbiológica do produto, promovendo a inativação de microrganismos deteriorantes e patogênicos, além de contribuir significativamente para o aumento da vida útil do alimento sem necessidade de refrigeração. Após o aquecimento, o produto segue para resfriamento e posterior envase asséptico, garantindo a preservação das condições microbiológicas alcançadas durante o processamento.

Além da linha principal de produção, o processo contempla sistemas auxiliares indispensáveis para viabilidade operacional da planta. Entre eles destaca-se o sistema de geração de vapor por meio de caldeira, responsável pelo fornecimento de energia térmica necessária ao tratamento UHT e demais demandas de aquecimento do processo. De maneira complementar, o projeto também incorpora um sistema de reaproveitamento parcial da água de lavagem, permitindo redução no consumo hídrico e melhor aproveitamento dos recursos utilizados ao longo da operação.

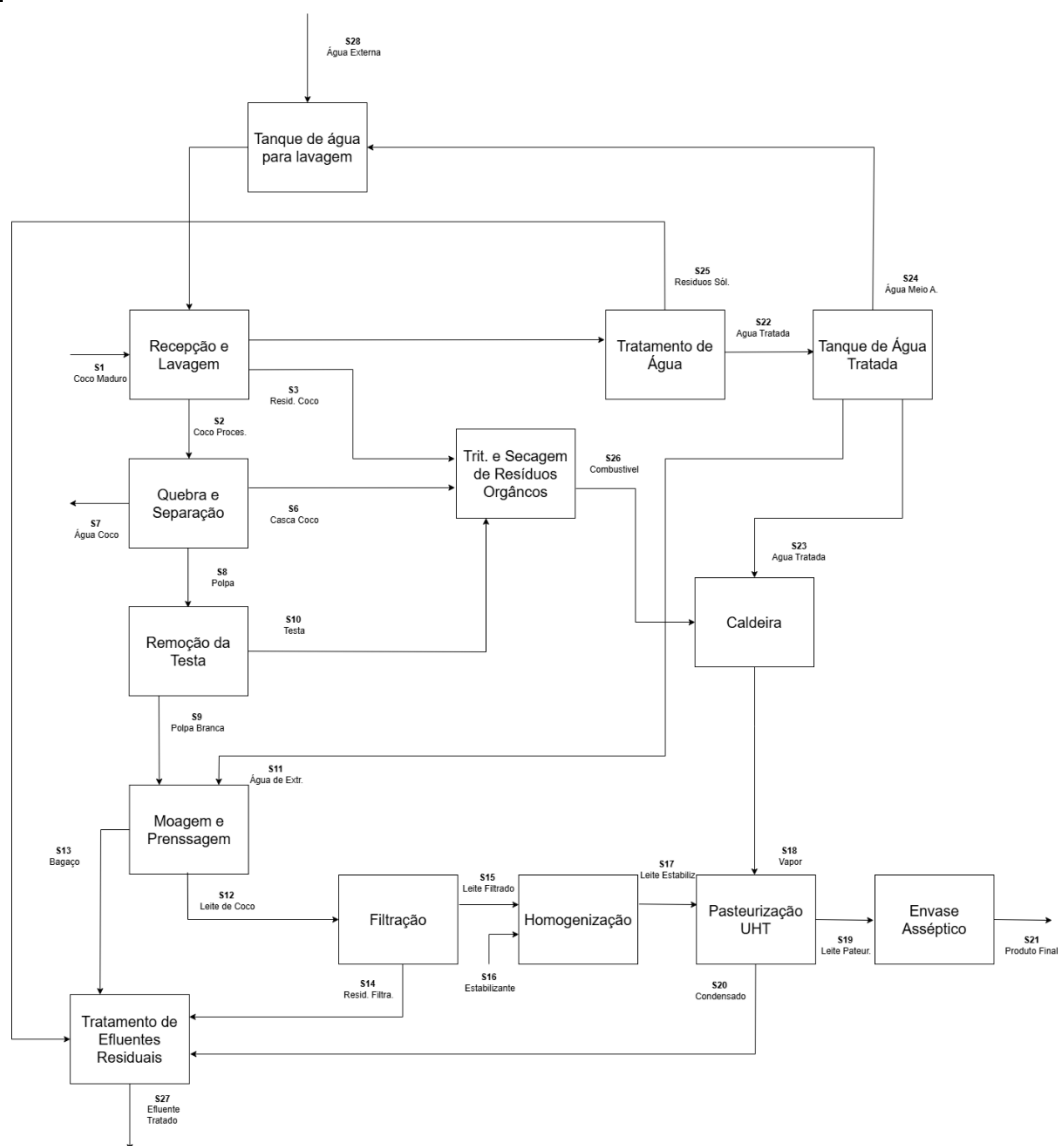
Outro aspecto relevante considerado no desenvolvimento do processo refere-se ao reaproveitamento dos resíduos gerados. Parte significativa das frações sólidas provenientes do processamento do coco, especialmente cascas e materiais lignocelulósicos, pode ser direcionada para geração de energia térmica na própria caldeira, contribuindo para redução dos custos operacionais e maior sustentabilidade da planta industrial. Já os efluentes líquidos e demais resíduos sólidos são encaminhados para sistemas específicos de tratamento, minimizando impactos ambientais associados ao processo produtivo.

Dessa forma, o processo desenvolvido neste trabalho integra diferentes operações unitárias e equipamentos industriais em uma configuração tecnicamente viável, alinhada às limitações reais de capacidade industrial e às exigências de qualidade do produto final. A adoção de duas bateladas diárias permite atingir a capacidade de produção proposta, ao mesmo tempo em que favorece maior controle operacional, eficiência produtiva e aproveitamento dos recursos disponíveis ao longo do processo.

4 FLUXOGRAMA DE BLOCOS (BFD)

A organização geral do processo produtivo proposto pode ser mais bem compreendida por meio do Diagrama de Blocos do Processo (BFD), apresentado na Figura 2, no qual são representadas as principais operações unitárias envolvidas na produção de leite de coco, bem como a integração entre as correntes de massa, utilidades e sistemas auxiliares da planta. A estrutura do diagrama permite visualizar de forma simplificada a sequência lógica do processo, evidenciando as interações entre as diferentes etapas produtivas e os sistemas de reaproveitamento incorporados ao projeto.

Figura 2 - Diagrama de blocos do processo (BFD) para produção de leite de coco.



Fonte: Autor (2026).

O diagrama de blocos do processo foi estruturado de forma a representar a sequência lógica das operações unitárias envolvidas na produção de leite de coco, bem como a integração entre as correntes de massa e os sistemas auxiliares. A disposição dos blocos segue o fluxo principal da matéria-prima, iniciando-se na etapa de recepção e lavagem e avançando progressivamente até o envase do produto final (Figura 2).

O bloco de recepção e lavagem foi posicionado no início do processo por ser responsável pela preparação da matéria-prima, recebendo tanto o coco maduro quanto a água de lavagem. A partir dessa etapa, o fluxo sólido segue para a quebra e separação, onde ocorre a divisão do coco em suas principais frações. Essa organização inicial permite que apenas a fração de interesse, a polpa, siga para as etapas subsequentes, enquanto as demais correntes são direcionadas para reaproveitamento ou destinação adequada.

Na sequência, os blocos de remoção da testa, moagem e prensagem foram organizados de maneira linear, representando o preparo gradual da polpa até a obtenção do leite de coco bruto. A presença da etapa de adição de água durante a moagem evidencia a necessidade de integração com o sistema de utilidades da planta, sendo parte dessa água proveniente do tratamento e reaproveitamento interno, reduzindo a dependência de abastecimento externo e contribuindo para maior eficiência hídrica do processo.

As etapas de filtração, homogeneização, pasteurização UHT e envase foram posicionadas de forma sequencial, compondo a linha principal de processamento do produto líquido. Essa disposição reflete a necessidade de continuidade operacional, visto que cada etapa depende diretamente da anterior para garantir que o leite de coco atenda às especificações desejadas de qualidade, estabilidade e segurança microbiológica (Figura 2).

Paralelamente à linha principal, foram incorporados blocos auxiliares destinados ao tratamento e reaproveitamento de correntes secundárias. O sistema de tratamento de água recebe parte da água proveniente da lavagem e a converte em água tratada, posteriormente redistribuída para diferentes aplicações dentro do próprio processo, incluindo novas etapas de lavagem e alimentação da caldeira para geração de vapor. Essa integração evidencia uma estratégia de reaproveitamento hídrico que reduz o consumo de água e melhora a sustentabilidade operacional da planta.

De maneira semelhante, o bloco de geração de energia foi inserido para representar o aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos gerados ao longo do processo, como cascas, testa e frações descartadas da lavagem. Esses resíduos podem ser convertidos em combustível para alimentação da caldeira, permitindo a geração de vapor utilizado em operações térmicas do processo e promovendo maior autossuficiência energética da unidade industrial.

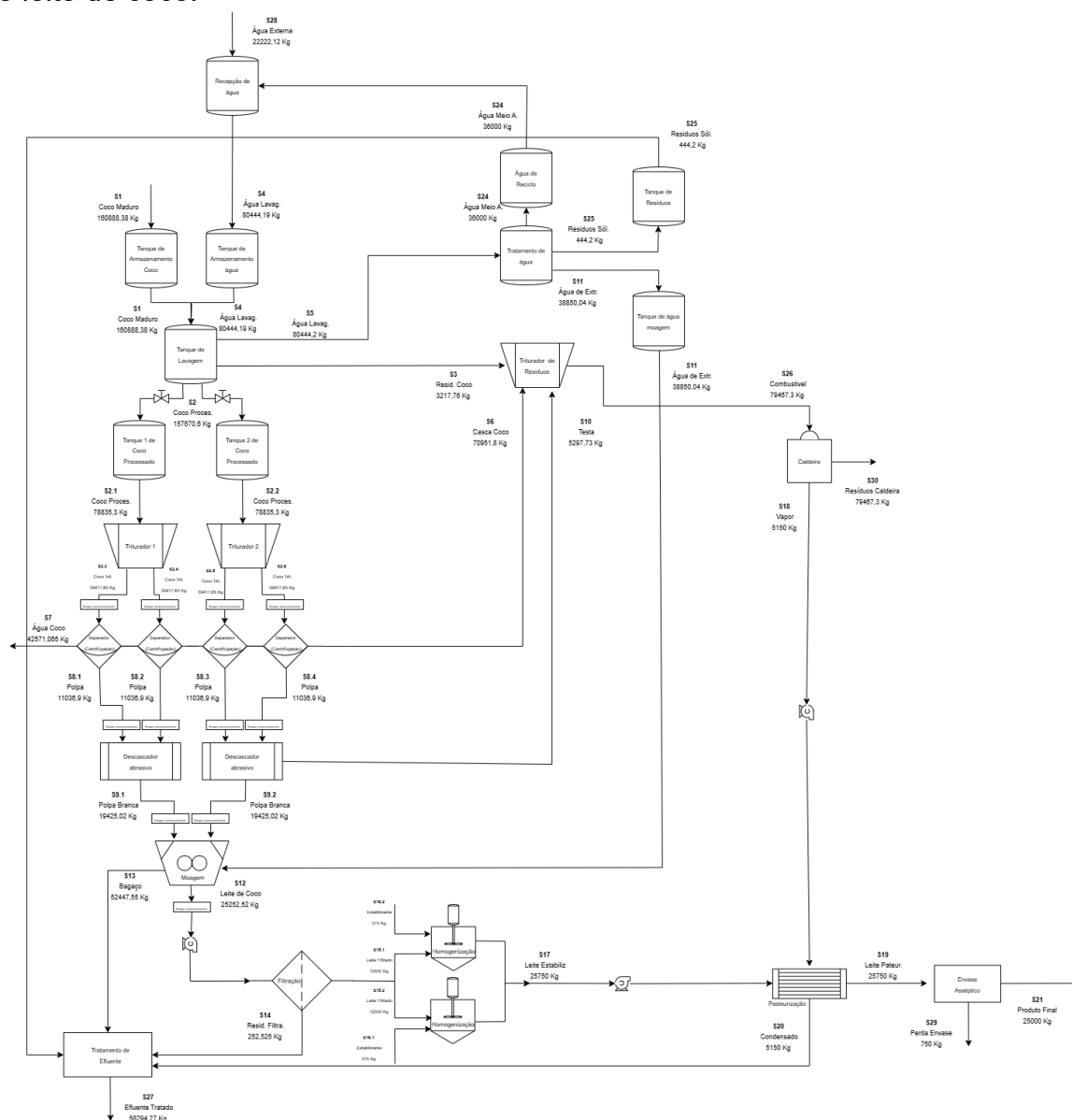
O bloco de tratamento de efluentes foi posicionado ao final das correntes líquidas residuais, recebendo fluxos provenientes da extração, filtração, condensação e tratamento de água. Essa disposição assegura que os efluentes sejam devidamente tratados antes da destinação final, contribuindo para atendimento às exigências ambientais e redução dos impactos associados ao processo produtivo.

Por fim, a distribuição dos blocos no BFD evidencia não apenas a sequência operacional da produção de leite de coco, mas também a integração entre produção, reaproveitamento de recursos e tratamento de resíduos (Figura 2). Essa configuração favorece maior eficiência operacional, reduz perdas de matéria-prima e contribui para a viabilidade técnica e ambiental da planta proposta, alinhando o processo aos princípios de sustentabilidade e otimização industrial.

5 FLUXOGRAMA DE PROCESSO (PFD)

A configuração detalhada do processo produtivo pode ser observada por meio do Fluxograma de Processo (*Process Flow Diagram* – PFD), apresentado na Figura 3, no qual são representados os principais equipamentos, correntes de massa e integrações operacionais da planta proposta. Diferentemente do diagrama de blocos, o PFD permite uma visualização mais aprofundada do processo, evidenciando a sequência das operações unitárias, a interligação entre equipamentos e a presença de sistemas auxiliares responsáveis pelo fornecimento de utilidades, reaproveitamento de recursos e tratamento de resíduos.

Figura 3 - Fluxograma de Processo (PFD) da planta proposta para produção de leite de coco.



Fonte: Autor (2026).

O fluxograma do processo proposto foi desenvolvido com foco na viabilidade operacional em escala industrial, considerando limitações reais de capacidade dos equipamentos, integração entre correntes e otimização do uso de recursos (Figura 3). Um dos principais aspectos considerados durante o desenvolvimento do processo foi a necessidade de fracionamento da carga processada, o que levou à adoção de equipamentos operando em paralelo em etapas específicas. Além disso, após o dimensionamento preliminar dos equipamentos, foram incorporados tanques intermediários de armazenamento entre algumas operações unitárias, permitindo

maior flexibilidade operacional e tornando o processo mais compatível com capacidades industriais reais.

Na etapa inicial do processo, o coco maduro e a água utilizada na lavagem são armazenados em tanques independentes, responsáveis por garantir alimentação contínua e controlada do sistema. Em seguida, o material é direcionado para a etapa de lavagem, cuja função é remover impurezas superficiais provenientes do transporte e armazenamento da matéria-prima. Conforme apresentado no PFD (Figura 3), após essa operação, válvulas direcionais controlam o direcionamento do fluxo, permitindo maior estabilidade operacional e melhor gerenciamento das etapas subsequentes.

Devido à elevada carga de processamento, a etapa de trituração foi concebida com equipamentos operando em paralelo, permitindo melhor distribuição da matéria-prima e redução da sobrecarga operacional. Essa mesma lógica foi aplicada às etapas subsequentes de separação sólido-líquido, nas quais diferentes equipamentos atuam simultaneamente para manter a continuidade do processo e garantir compatibilidade entre as vazões das correntes. Após a trituração, o material é temporariamente armazenado em tanques intermediários, possibilitando o acúmulo gradual da produção antes da alimentação das etapas seguintes e evitando a necessidade de processamento instantâneo de toda a batelada.

Após a trituração, o material segue para a etapa de centrifugação, onde ocorre a separação das principais frações do coco, incluindo casca, água de coco e polpa. Essa separação é essencial para direcionar corretamente cada corrente dentro da planta, permitindo tanto o reaproveitamento de subprodutos quanto a continuidade do processamento da fração de interesse, a polpa do coco. Da mesma forma, após a centrifugação, a polpa é encaminhada para tanques de armazenamento intermediário, permitindo desacoplar operacionalmente as etapas e garantir alimentação mais uniforme dos equipamentos subsequentes.

A polpa obtida é então encaminhada para a remoção da testa, etapa importante para garantir melhor aparência, sabor e estabilidade do produto final. Devido às limitações de capacidade dos equipamentos industriais selecionados, as etapas de trituração, centrifugação, remoção da testa e moagem foram estruturadas de forma sequencial, com apoio de tanques intermediários de armazenamento. Dessa forma, o material pode ser processado em múltiplos ciclos menores ao longo da batelada, sendo acumulado temporariamente antes de seguir para a operação

seguinte. Essa estratégia torna o processo mais compatível com a realidade industrial e evita a interpretação de que toda a carga processada percorre simultaneamente todas as etapas do fluxograma.

Em seguida, ocorre a moagem da polpa, acompanhada da adição de água de extração, favorecendo a liberação dos componentes responsáveis pela formação do leite de coco. Após a moagem, o leite de coco bruto também é direcionado para um tanque intermediário, responsável por armazenar temporariamente o produto antes da etapa de filtração. Um aspecto relevante do processo proposto é a integração com o sistema de reaproveitamento hídrico, no qual parte da água utilizada nessa etapa é proveniente do tratamento interno das correntes do próprio processo (Figura 3). Essa estratégia reduz o consumo de água potável e reforça a proposta de sustentabilidade da planta industrial.

Após a extração, o leite de coco bruto passa por etapas de filtração e homogeneização. A filtração tem como objetivo remover partículas sólidas remanescentes, enquanto a homogeneização promove maior estabilidade da emulsão, reduzindo a tendência de separação de fases durante o armazenamento. Nessa etapa também ocorre a adição de estabilizantes, fundamentais para manter a uniformidade do produto ao longo da vida útil.

Na sequência, o produto é submetido ao tratamento térmico por meio de pasteurização UHT, etapa essencial para garantir segurança microbiológica e aumento da estabilidade comercial do leite de coco. Após o aquecimento controlado e posterior resfriamento, o produto é encaminhado para o envase asséptico, minimizando riscos de contaminação e permitindo maior tempo de armazenamento sem necessidade de refrigeração.

Além da linha principal de processamento, o PFD incorpora sistemas auxiliares fundamentais ao funcionamento da planta. Destaca-se o sistema de reaproveitamento de água, responsável pelo tratamento parcial das correntes líquidas geradas no processo, permitindo sua reutilização em operações específicas. Da mesma forma, o sistema de geração de vapor apresenta forte integração com os resíduos sólidos gerados ao longo do processamento. Cascas, testa e demais resíduos orgânicos são direcionados para etapas de preparação e posterior utilização como combustível na caldeira, reduzindo a dependência de fontes externas de energia e contribuindo para maior eficiência energética do sistema (Figura 3).

Por fim, considerando as limitações operacionais inerentes ao processamento industrial do leite de coco e a necessidade de garantir estabilidade entre as diferentes etapas do processo, a planta foi estruturada para operar em duas bateladas diárias. A utilização de tanques intermediários entre operações críticas contribui para essa estratégia, permitindo o acúmulo temporário de material e melhor sincronização entre equipamentos com capacidades distintas. Essa decisão será posteriormente detalhada no diagrama de Gantt, no qual será possível visualizar a sequência das operações, o uso de paralelismo entre equipamentos e os possíveis gargalos operacionais do sistema. Dessa forma, o PFD evidencia não apenas a sequência produtiva do leite de coco, mas também a integração entre eficiência operacional, reaproveitamento de recursos e sustentabilidade do processo proposto.

6 BALANÇO DE MASSA (PFD)

O balanço de massa representa uma das etapas mais importantes no desenvolvimento de um processo industrial, pois permite quantificar as correntes envolvidas, verificar a coerência entre entradas e saídas do sistema e garantir a consistência técnica do processo proposto (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005; GEANKOPLIS, 2003). No presente trabalho, o balanço de massa foi desenvolvido com o objetivo de quantificar todas as correntes relacionadas à produção de leite de coco, além de validar a integração entre as diferentes operações unitárias propostas no fluxograma do processo.

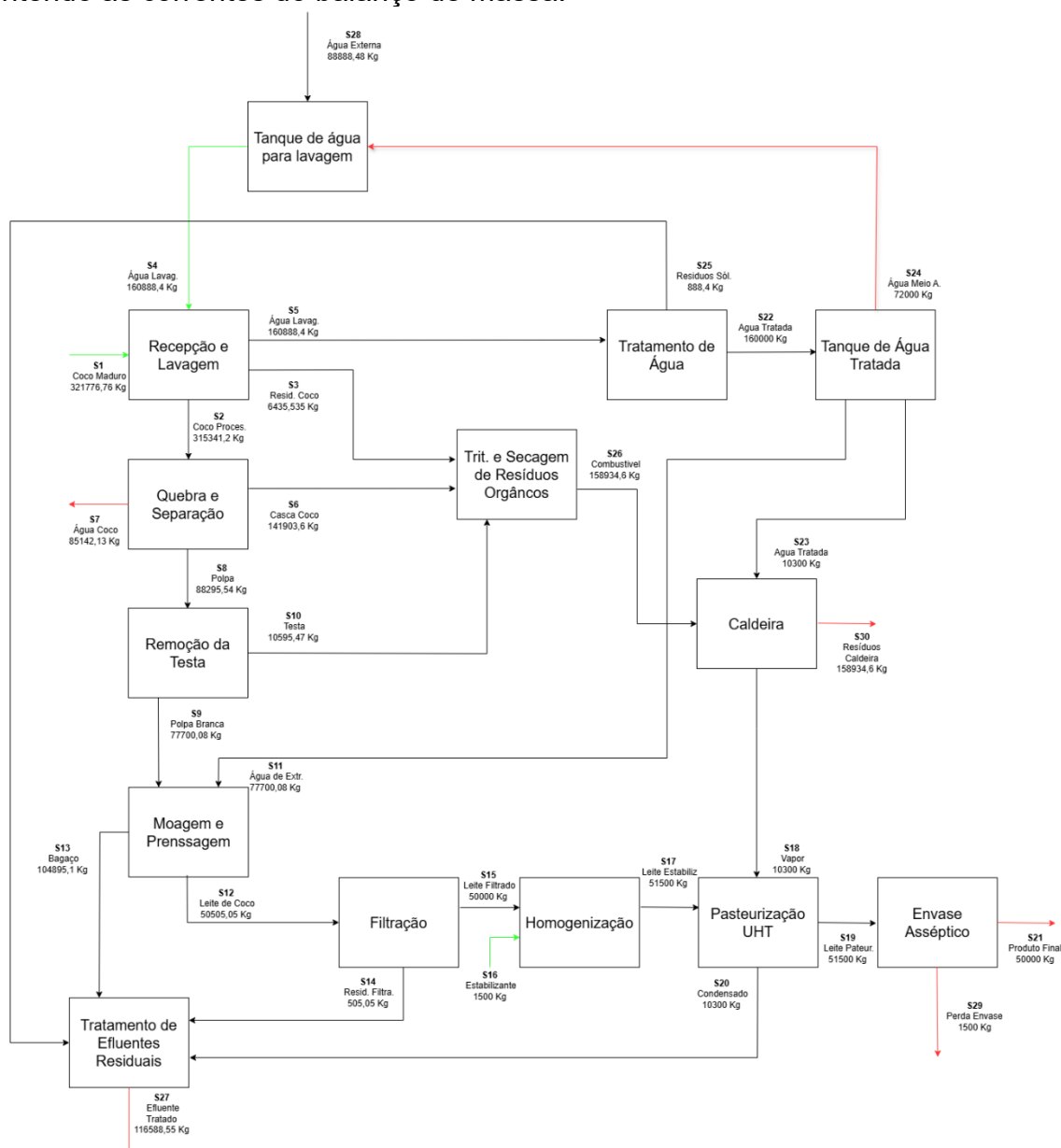
Para realização do balanço, foi considerada uma capacidade produtiva de aproximadamente 50.000 kg de leite de coco envasado por dia, sendo a operação estruturada em duas bateladas produtivas, conforme discutido anteriormente no desenvolvimento do processo. Dessa forma, buscando melhor organização e rastreabilidade das correntes, todos os cálculos apresentados ao longo deste tópico foram realizados em termos de massa por batelada, considerando uma produção aproximada de 25.000 kg de produto final por ciclo operacional.

A construção do balanço de massa foi realizada a partir da definição das principais etapas do processo produtivo, levando em consideração rendimentos típicos encontrados na literatura para operações como separação do coco, remoção da testa, extração do leite de coco, filtração e tratamento do produto. Além disso, foram consideradas correntes auxiliares, como água de lavagem, água de extração,

reaproveitamento hídrico e geração de resíduos sólidos, permitindo uma visão mais completa do comportamento do sistema.

A Figura 4 apresenta o fluxograma de blocos do processo contendo todas as correntes identificadas e devidamente quantificadas, servindo como base para o desenvolvimento dos balanços de massa apresentados nas subseções seguintes. A partir desse fluxograma, cada etapa do processo será analisada individualmente, permitindo compreender a distribuição de massa ao longo da planta e a influência de cada operação unitária no rendimento global do processo.

Figura 4 - Fluxograma de blocos do processo de obtenção de leite de coco contendo as correntes do balanço de massa.



Fonte: Autor (2026).

6.1 RECEPÇÃO E LAVAGEM

A Figura 5 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de Recepção e lavagem, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 5 – Balanço de massa para recepção e lavagem



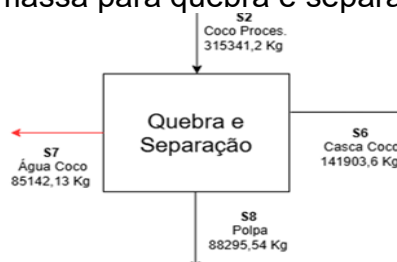
Fonte: Autor (2026).

A etapa de recepção e lavagem recebe as correntes S1 de coco maduro, com 321.776,76 kg, e S4 de água de lavagem, com 160.888,40 kg. A massa de coco foi determinada a partir da necessidade de produção final de 50.000 kg de leite de coco, considerando que apenas 28% do coco é polpa e que 1 kg de polpa gera 0,65 kg de leite (SEOW; GWEE, 1997; ONSAARD; SIRIAMORNPNUN, 2013; FAO, 2013). A água de lavagem foi definida adotando-se a proporção de 1 kg de água para cada 0,5 kg de coco processado. Após a operação, obtém-se S2 de coco processado, com 315.341,20 kg, assumindo que 98% do coco é aproveitado, e S3 de resíduos, com 6.435,535 kg, correspondendo a 2% de perdas. Toda a água utilizada sai como S5, com 160.888,40 kg, sendo encaminhada para tratamento.

6.2 QUEBRA E SEPARAÇÃO

A Figura 6 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de quebra e separação, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 6 – Balanço de massa para quebra e separação



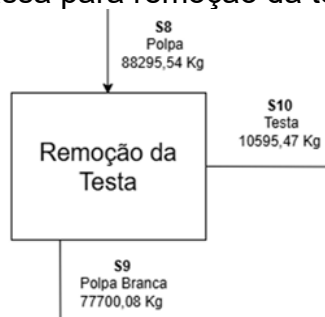
Fonte: Autor (2026).

A etapa de quebra e separação recebe a corrente S2 de coco processado, com 315.341,20 kg, e realiza a separação das frações do fruto com base em sua composição média. Dessa forma, obtém-se S6 de casca, com 141.903,60 kg, correspondente a 45% da massa, S7 de água de coco, com 85.142,13 kg, equivalente a 27%, e S8 de polpa, com 88.295,54 kg, representando 28% do coco, sendo está a fração de interesse para o processo. (FAO, 2013; ONSAARD; SIRIAMORNPNUN, 2013).

6.3 REMOÇÃO DA TESTA

A Figura 7 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de remoção de testa, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 7 – Balanço de massa para remoção da testa



Fonte: Autor (2026).

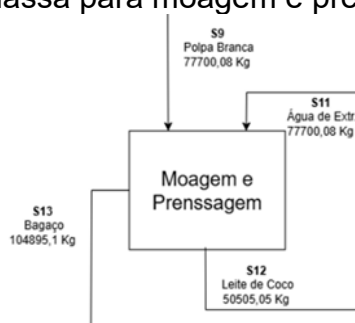
A etapa de remoção da testa recebe a corrente S8 de polpa, com 88.295,54 kg, e realiza a separação da película externa. Considera-se que 12% da polpa

corresponde à testa (SEOW; GWEE, 1997; ONSAARD; SIRIAMORNPUN, 2013), gerando a corrente S10 com 10.595,47 kg, enquanto os 88% restantes formam a corrente S9 de polpa branca, com 77.700,08 kg, que segue para a extração.

6.4 MOAGEM E PRENSAGEM

A Figura 8 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de moagem e prensagem, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 8 – Balanço de massa para moagem e prensagem



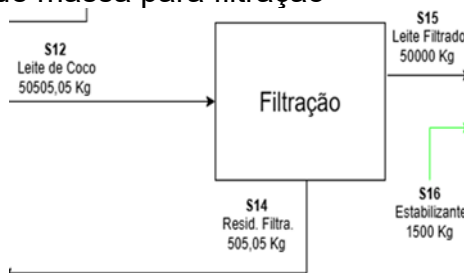
Fonte: Autor (2026).

A etapa recebe S9 de polpa branca, com 77.700,08 kg, e S11 de água de extração, também com 77.700,08 kg, adotando-se a proporção de 1:1 para facilitar a extração. Considerando o rendimento de 0,65 kg de leite por kg de polpa (SEOW; GWEE, 1997; ONSAARD; SIRIAMORNPUN, 2013), obtém-se S12 de leite de coco bruto, com 50.505,05 kg. O restante da massa, composto por fibras e água não extraída, forma S13, com 104.895,10 kg.

6.5 FILTRAÇÃO

A Figura 9 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de filtração, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 9 – Balanço de massa para filtração



Fonte: Autor (2026).

A corrente S12 de leite de coco bruto, com 50.505,05 kg, é submetida à filtração para remoção de sólidos. Considera-se uma perda de 1% nessa etapa, resultando em S14 de resíduos, com 505,05 kg, e S15 de leite filtrado, com 50.000 kg.

6.6 HOMOGENIZAÇÃO

A Figura 10 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de homogenização, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 10 – Balanço de massa para homogenização



Fonte: Autor (2026).

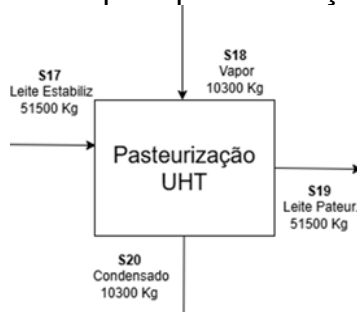
A etapa recebe S15 de leite filtrado, com 50.000 kg, e S16 de estabilizante, com 1.500 kg. A quantidade de estabilizante foi definida como 3% da massa do leite filtrado, visando garantir estabilidade da emulsão. Como resultado, obtém-se S17 de leite estabilizado, com 51.500 kg.

6.7 PASTEURIZAÇÃO UHT

A Figura 11 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da

etapa de pasteurização UHT, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 11 – Balanço de massa para pasteurização UHT



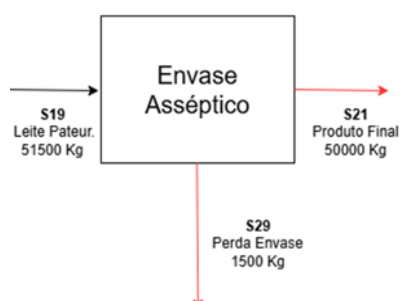
Fonte: Autor (2026).

A corrente S17 de leite estabilizado, com 51.500 kg, recebe S18 de vapor, com 10.300 kg, definido como 20% da massa do produto para garantir o aquecimento adequado. Após a troca térmica, não há variação de massa no produto, resultando em S19 de leite pasteurizado, com 51.500 kg. O vapor utilizado condensa integralmente, formando S20 com 10.300 kg.

6.8 ENVASE ASSÉPTICO

A Figura 12 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de envase asséptico, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 12 – Balanço de massa para envase asséptico



Fonte: Autor (2026).

A etapa recebe S19 de leite pasteurizado, com 51.500 kg. Considera-se uma perda operacional de aproximadamente 2,91% durante o envase, resultando em S29 de perdas, com 1.500 kg. A corrente final S21 de leite envasado é de 50.000 kg, atendendo à produção desejada.

6.9 TRATAMENTO DE ÁGUA

A Figura 13 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de tratamento de água, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 13 – Balanço de massa para tratamento de água



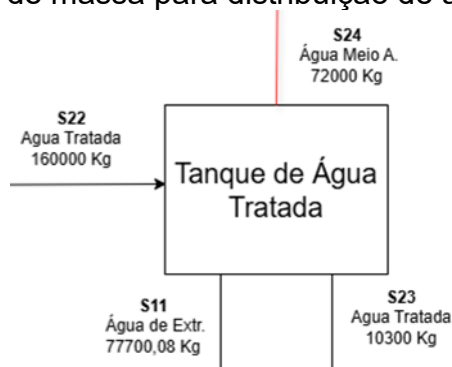
Fonte: Autor (2026).

A corrente S5 de água de lavagem, com 160.888,40 kg, é tratada visando seu reaproveitamento. Considera-se que 99,5% da água é recuperada, gerando S22 com 160.000 kg, enquanto 0,5% correspondem a sólidos removidos, formando S25 com 888,40 kg.

6.10 DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A Figura 14 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de distribuição de água, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 14 – Balanço de massa para distribuição de água



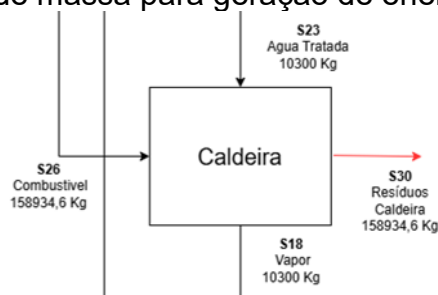
Fonte: Autor (2026).

A corrente S22 de água tratada, com 160.000 kg, é distribuída em três frações. A corrente S23, com 10.300 kg, alimenta a caldeira para geração de vapor. A corrente S24, com 72.000 kg, é reutilizada na lavagem. A diferença necessária para atingir a demanda de lavagem é suprida pela corrente S28 de água externa, com 88.888,48 kg, garantindo o fechamento da corrente S4.

6.11 GERAÇÃO DE ENERGIA

A Figura 15 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de geração de energia, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 15 – Balanço de massa para geração de energia



Fonte: Autor (2026).

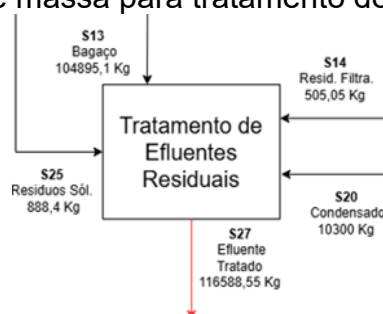
As correntes S3, com 6.435,535 kg, S6, com 141.903,60 kg, e S10, com 10.595,47 kg, são combinadas para formar S26 de combustível, com 158.934,60 kg. Esse valor corresponde à soma dos resíduos orgânicos do processo, que são

utilizados como biomassa na caldeira. Após a combustão, obtém-se S30, com a mesma massa, representando os resíduos gerados.

6.12 TRATAMENTO DE EFLUENTES

A Figura 16 apresenta a representação esquemática do balanço de massa da etapa de tratamento de efluentes, destacando as principais correntes de entrada e saída envolvidas no processo.

Figura 16 – Balanço de massa para tratamento de efluentes



Fonte: Autor (2026).

Por fim, a partir das considerações adotadas e dos valores calculados para cada corrente, verifica-se que o balanço global de massa do processo encontra-se devidamente fechado, apresentando erro nulo quando consideradas as aproximações utilizadas.

As correntes de entrada do sistema, representadas no fluxograma (Figura 4) em verde, correspondem às correntes S1, S4 e S16, enquanto as correntes de saída, destacadas em vermelho, correspondem às correntes S7, S21, S24, S27, S29 e S30.

7 BALANÇO DE ENERGIA

Para a realização do balanço de energia do processo, foi selecionada a etapa de pasteurização UHT, representada pela corrente S17 de leite de coco estabilizado (Figura 3) alimentando o trocador de calor. A escolha dessa etapa ocorreu devido à elevada demanda energética necessária para aquecer o produto até temperaturas

de esterilização, tornando-se uma das operações termicamente mais relevantes dentro da planta proposta.

O equipamento adotado para essa operação foi um trocador de calor a placas, utilizando vapor saturado como fluido de aquecimento. A seleção desse equipamento foi baseada em sua elevada eficiência de troca térmica, grande área de transferência de calor por unidade de volume e elevada turbulência do escoamento (FELLOWS, 2017; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005), características que favorecem operações de aquecimento rápido, como o processamento UHT. Além disso, trocadores a placas apresentam vantagens operacionais importantes para a indústria alimentícia, incluindo facilidade de limpeza por sistemas *Cleaning in Place* (CIP), menor ocupação de espaço e maior eficiência energética quando comparados a equipamentos tubulares convencionais (FELLOWS, 2017; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

Embora o leite de coco apresente sólidos suspensos e elevado teor lipídico, a etapa prévia de homogeneização reduz significativamente a possibilidade de separação de fases e incrustações, tornando viável a utilização do trocador de calor a placas no processo proposto.

Como dito anteriormente, considerou-se a operação da planta em duas bateladas diárias, conforme estabelecido anteriormente no PFD e no diagrama de Gantt. Dessa forma, cada batelada processa aproximadamente metade da produção diária total, resultando em uma massa de leite estabilizado de aproximadamente 25.750 kg por batelada.

A vazão mássica do produto foi calculada considerando um tempo operacional de 1,5 horas para a etapa de pasteurização, conforme apresentado na Equação 1.

$$m' = m/t \quad (1)$$

Na Equação 1, m' representa a vazão mássica do leite de coco processado, expressa em kg/s, m corresponde à massa total de produto processada por batelada e t representa o tempo total da etapa de pasteurização, expresso em segundos.

A partir das condições adotadas, obteve-se uma vazão mássica aproximada de 4,77 kg/s.

O leite de coco foi considerado entrando no sistema à temperatura ambiente,

próxima de 25 °C, devendo atingir 140 °C para a realização do tratamento UHT. Para bebidas vegetais emulsificadas, adotou-se um calor específico médio de 3,8 kJ·kg⁻¹·K⁻¹, valor compatível com sistemas contendo água, lipídios e sólidos dispersos (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006; FELLOWS, 2017). Embora a temperatura final do processo seja superior ao ponto de ebulição da água em pressão atmosférica, não foi considerada mudança de fase do produto durante o aquecimento, uma vez que sistemas UHT industriais operam sob pressão controlada no interior do trocador de calor, mantendo o produto predominantemente no estado líquido ao longo do tratamento térmico. Dessa forma, o balanço energético foi conduzido considerando apenas calor sensível associado ao aumento de temperatura do leite de coco (FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005). A carga térmica necessária para o aquecimento do produto foi determinada a partir do balanço de energia em regime permanente, utilizando a Equação 2.

$$Q = m' \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

Na Equação 2, Q representa a carga térmica requerida pelo processo (kW ou kJ·s⁻¹), m corresponde à vazão mássica do leite de coco (kg·s⁻¹), c_p representa o calor específico do produto (kJ·kg⁻¹·K⁻¹) e ΔT corresponde à variação de temperatura necessária para atingir a condição de pasteurização UHT (K ou °C).

A partir dos parâmetros adotados, obteve-se uma demanda térmica aproximada de 2,08 MW, representando a energia necessária para elevar a temperatura do leite de coco até as condições de processamento UHT.

Para suprir essa demanda energética, considerou-se a utilização de vapor saturado proveniente da caldeira da planta, operando aproximadamente a 3 bar, condição típica para processos térmicos na indústria alimentícia (FELLOWS, 2017; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005). Admitindo calor latente médio de condensação igual a 2130 kJ/kg, a vazão de vapor necessária foi estimada pela Equação 3.

$$m'_{\text{vapor}} = Q/\lambda \quad (3)$$

Na Equação 3, m'vapor representa a vazão mássica de vapor requerida (kg·s⁻¹), Q corresponde à carga térmica do processo (kW ou kJ·s⁻¹) e λ representa o

calor latente de condensação do vapor saturado utilizado no aquecimento ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$).

O cálculo resultou em uma demanda aproximada de 3.520 kg/h de vapor, totalizando cerca de 5.280 kg por batelada. Esse valor apresentou elevada proximidade com a corrente S18, previamente estimada no balanço de massa (5.150 kg), demonstrando coerência entre as estimativas adotadas no desenvolvimento do processo.

Após a troca térmica, considera-se que praticamente toda a massa de vapor seja condensada, originando a corrente S20 de condensado, cuja vazão permanece próxima da massa de vapor utilizada no aquecimento.

Por fim, foi realizado o dimensionamento preliminar da área de troca térmica do equipamento, utilizando a equação geral de transferência de calor, apresentada na Equação 4.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (4)$$

Na Equação 4, Q representa a carga térmica do processo (kW ou $\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}$), U corresponde ao coeficiente global de transferência de calor do equipamento ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$), A representa a área efetiva de troca térmica (m^2) e ΔT_{lm} corresponde à diferença de temperatura média logarítmica entre os fluidos quente e frio ao longo do trocador (K ou $^{\circ}\text{C}$).

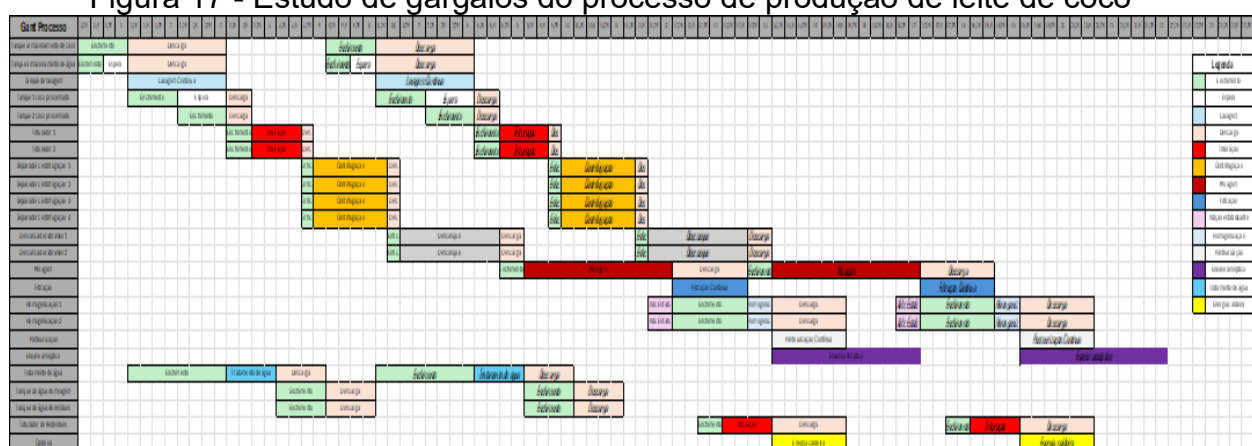
Considerando coeficiente global típico de $4000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ para trocadores de calor a placas utilizados na indústria alimentícia (FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005), e as temperaturas de operação do sistema, estimou-se uma área necessária de troca térmica próxima de $11,45 \text{ m}^2$. O valor obtido reforça uma das principais vantagens dos trocadores a placas: a elevada eficiência térmica, permitindo menores áreas de troca quando comparados a trocadores tubulares convencionais.

Dessa forma, o balanço de energia demonstra que o sistema proposto apresenta capacidade térmica suficiente para realizar o aquecimento do leite de coco até condições UHT, mantendo coerência com o balanço de massa previamente estabelecido e reforçando a viabilidade da integração energética da planta, especialmente pelo reaproveitamento dos resíduos sólidos do coco como combustível na geração de vapor da caldeira.

8 ESTUDO DE GARGALO

O planejamento temporal das operações do processo foi realizado por meio da elaboração de um diagrama de Gantt, com o objetivo de avaliar a sequência operacional, a sobreposição entre etapas e a identificação de possíveis gargalos produtivos. Além disso, o diagrama permitiu verificar a viabilidade da produção diária proposta, considerando restrições de capacidade dos equipamentos e tempos de processamento associados a cada operação unitária. A representação completa da programação operacional do processo pode ser observada na Figura 17.

Figura 17 - Estudo de gargalos do processo de produção de leite de coco



Fonte: Autor (2026).

Considerando que grande parte do sistema opera em regime descontínuo, o processo foi estruturado em dois ciclos produtivos de aproximadamente 25.000 kg ao longo de 24 horas, permitindo atingir a capacidade diária de 50.000 kg de leite de coco envasado. Essa estratégia foi adotada para tornar a operação mais compatível com limitações reais de capacidade dos equipamentos industriais, além de proporcionar maior controle sobre cada etapa do processo.

A etapa inicial envolve a recepção e o armazenamento das matérias-primas, especialmente do coco maduro e da água de lavagem, os quais são armazenados em tanques independentes e alimentados de forma controlada. O enchimento desses tanques ocorre progressivamente, seguido da transferência para o tanque de lavagem, garantindo um fornecimento contínuo de matéria-prima sem sobrecarregar etapas subsequentes.

A lavagem foi concebida como uma operação contínua, permitindo que o coco seja processado gradualmente à medida que entra no sistema. Essa configuração reduz períodos de inatividade entre etapas e evita acúmulo excessivo de material, contribuindo para maior fluidez operacional.

Após a lavagem, o coco processado é direcionado para dois tanques intermediários operando de forma alternada e controlada por válvulas direcionais. Enquanto um tanque é preenchido, o outro pode permanecer em espera ou iniciar sua descarga para as etapas seguintes. Essa estratégia foi adotada para desacoplar a etapa de lavagem do restante do processo, proporcionando maior flexibilidade operacional e reduzindo o risco de interrupções no fluxo produtivo.

As operações de trituração e centrifugação foram dimensionadas utilizando equipamentos em paralelo, uma decisão importante para atender à elevada massa de material processada por batelada. A utilização simultânea de múltiplos trituradores e centrífugas reduz significativamente o tempo necessário dessas operações e minimiza a formação de filas entre etapas consecutivas, favorecendo um fluxo mais equilibrado ao longo do processo. Além disso, foram incorporados tanques intermediários de armazenamento após as etapas de trituração e centrifugação. Esses tanques funcionam como pulmões operacionais, permitindo o acúmulo temporário do material processado antes da alimentação da etapa seguinte. Como o enchimento e a descarga ocorrem simultaneamente ao funcionamento dos equipamentos adjacentes, os tempos associados a essas transferências foram consideradas desprezíveis quando comparados aos tempos de processamento das operações unitárias, não provocando aumento significativo na duração total do processo.

De forma semelhante, a remoção da testa do coco foi estruturada utilizando descascadores abrasivos operando em paralelo. Essa escolha contribui para manter a compatibilidade de capacidade entre as etapas, reduzindo o risco de acúmulo de polpa antes da moagem e tornando o processamento mais uniforme. Após essa operação, a polpa também é direcionada para tanques intermediários de armazenamento, permitindo que a moagem seja alimentada de forma contínua e independente das oscilações momentâneas da etapa anterior.

Entre todas as operações avaliadas, a etapa de moagem e extração destacou-se como a mais crítica do processo. Mesmo considerando equipamentos compatíveis com a escala industrial proposta, essa operação demanda maior tempo

de processamento devido ao elevado volume de material e à complexidade da extração do leite de coco. Dessa forma, a moagem caracteriza-se como o principal gargalo produtivo da planta, sendo responsável por limitar a velocidade global do processo. Após a moagem, o leite de coco bruto é armazenado temporariamente em um tanque intermediário antes da filtração. Novamente, esse armazenamento não foi considerado um acréscimo relevante ao tempo total de processamento, uma vez que atua apenas como elemento de equalização de fluxo entre operações consecutivas.

Após a extração, as etapas de filtração e homogeneização foram organizadas de maneira contínua, permitindo transferência praticamente imediata do produto entre operações. Essa configuração reduz tempos de espera e melhora o aproveitamento da capacidade produtiva. A adição do estabilizante ocorre integrada à etapa de homogeneização, simplificando a linha de processo e reduzindo a necessidade de equipamentos adicionais.

A pasteurização UHT representa uma etapa de elevada relevância operacional, uma vez que depende diretamente do fornecimento contínuo de energia térmica proveniente da caldeira. Qualquer limitação na geração de vapor pode impactar diretamente a continuidade do processo. Nesse contexto, o reaproveitamento de resíduos sólidos do próprio coco, como casca e testa, para geração de vapor contribui para maior autonomia energética da planta e reduz a dependência de combustíveis externos, fortalecendo a proposta de sustentabilidade do projeto.

Na etapa final, o envase asséptico foi planejado para acompanhar continuamente a vazão proveniente da pasteurização, evitando acúmulo de produto tratado e garantindo maior estabilidade operacional.

Paralelamente à linha principal de produção, os sistemas auxiliares de tratamento de água e de efluentes foram considerados operações contínuas e independentes do tempo crítico do processo. Essa abordagem garante suporte operacional às etapas produtivas sem comprometer diretamente a produtividade da planta, além de favorecer o reaproveitamento de recursos e contribuir potencialmente para a redução do impacto ambiental associado ao processo.

De maneira geral, o diagrama de Gantt evidencia que o processo foi estruturado com significativa sobreposição entre operações, estratégia essencial para reduzir o tempo total de produção e melhorar a eficiência global da planta. A inclusão dos tanques intermediários não alterou significativamente a duração global do ciclo

produtivo, uma vez que esses equipamentos desempenham função de armazenamento temporário e equalização de fluxo, operando de forma simultânea às etapas de processamento. Assim, sua principal contribuição está relacionada ao aumento da flexibilidade operacional e à compatibilização das capacidades dos equipamentos, e não à ampliação do tempo de produção. A utilização de equipamentos em paralelo nas etapas mais demandantes, associada à continuidade operacional das etapas subsequentes, permitiu minimizar gargalos e distribuir de forma mais equilibrada a carga de processamento ao longo do tempo. Além disso, a defasagem entre os dois ciclos produtivos favorece um melhor aproveitamento dos equipamentos disponíveis, demonstrando que o sistema proposto apresenta viabilidade operacional dentro do período de 24 horas.

9 LISTA DE EQUIPAMENTOS

O dimensionamento preliminar dos equipamentos do processo foi realizado com base nas correntes obtidas no balanço de massa, considerando as características físicas dos materiais processados em cada etapa. Para correntes líquidas, como água de lavagem, água de extração e leite de coco, foram adotados valores típicos de densidade próximos a 1000 kg/m^3 . Já para materiais sólidos ou particulados, como coco maduro, polpa, testa e resíduos orgânicos, adotou-se a densidade aparente, uma vez que esses materiais apresentam espaços vazios entre partículas ou fragmentos, influenciando diretamente no volume efetivamente ocupado durante armazenamento e processamento.

Como etapa inicial do dimensionamento, estimou-se o volume útil necessário de cada equipamento a partir da relação entre massa processada e densidade do material, conforme apresentado na Equação 5.

$$V = m/p \quad (5)$$

Em que V corresponde ao volume útil do equipamento (m^3), m representa a massa processada ou armazenada (kg) e p refere-se à densidade ou densidade aparente do material (kg/m^3).

Após a obtenção do volume útil, aplicou-se um fator de segurança operacional de 20%, buscando evitar condições de operação excessivamente próximas da

capacidade máxima dos equipamentos. Essa margem adicional também permite absorver pequenas oscilações do processo, facilitar movimentação do material, promover melhor desempenho operacional e reduzir riscos associados a transbordamentos ou sobrecarga dos sistemas.

$$V_{proj} = V \times FS \quad (6)$$

Onde V_{proj} representa o volume de projeto (m^3) e FS corresponde ao fator de segurança adotado (adimensional).

Nos equipamentos de armazenamento, especialmente os tanques, as dimensões geométricas foram estimadas a partir da relação entre volume, altura e diâmetro, conforme apresentado na Equação 7.

$$V_{proj} = \pi D^2 H / 4 \quad (8)$$

Nessa relação, D representa o diâmetro do equipamento (m) e H sua altura (m).

Para tornar o dimensionamento preliminar mais coerente com a realidade industrial, foram adotadas proporções geométricas compatíveis com equipamentos comercialmente disponíveis na indústria alimentícia. Em tanques verticais de armazenamento, por exemplo, são comuns relações entre altura e diâmetro (H/D) variando entre 1,5 e 3,0, configuração que favorece melhor aproveitamento do espaço físico da planta e armazenamento de grandes volumes (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005; FELLOWS, 2017). Por outro lado, equipamentos de processo, como trituradores, moinhos, reatores de homogeneização e descascadores, normalmente apresentam geometrias mais compactas, priorizando estabilidade mecânica, facilidade de alimentação, movimentação do material e manutenção operacional.

Além disso, é importante destacar que equipamentos operando em regime contínuo, como trituradores, centrífugas, moinhos, filtros e trocadores de calor, não armazenam simultaneamente toda a massa processada durante uma batelada. Assim, os volumes calculados para esses equipamentos representam valores equivalentes de processamento, utilizados como referência para seleção de capacidades industriais compatíveis com a escala proposta. Essa abordagem

permitiu manter coerência entre o balanço de massa, a capacidade operacional dos equipamentos e a viabilidade técnica da planta industrial proposta.

9.1 RACIONAL DOS EQUIPAMENTOS

O dimensionamento preliminar dos equipamentos da planta foi realizado com base nas correntes obtidas no balanço de massa, considerando as propriedades físicas dos materiais processados em cada etapa e as características operacionais de cada equipamento. Para materiais líquidos, como água de lavagem, água reciclada, água de extração e leite de coco, adotaram-se densidades próximas de 1000 kg/m^3 , enquanto para materiais sólidos ou heterogêneos, como coco maduro, polpa e resíduos orgânicos, utilizou-se densidade aparente, considerando a presença de vazios entre partículas ou frutos armazenados. O volume útil dos equipamentos foi estimado a partir da relação entre massa e densidade, conforme apresentado pela Equação 5, sendo posteriormente aplicado um fator de segurança operacional de 20%, de acordo com a Equação 6, visando evitar operação em capacidade máxima, acomodar variações de processo e garantir maior flexibilidade operacional.

Os tanques de armazenamento e processos foram dimensionados considerando as características específicas das correntes manipuladas em cada etapa. Os maiores volumes correspondem ao tanque de armazenamento de coco maduro e ao tanque de lavagem, consequência direta da elevada vazão mássica necessária para atender à capacidade produtiva diária proposta. Para o armazenamento do coco inteiro, adotou-se densidade aparente de 550 kg/m^3 , valor compatível com materiais vegetais granulares e com a presença de espaços vazios entre frutos. Já para o coco processado, utilizou-se densidade aparente ligeiramente superior, de 650 kg/m^3 , devido ao aumento da compactação após fragmentação inicial. No tanque de lavagem, foi considerada uma densidade média equivalente de 750 kg/m^3 , representando a mistura heterogênea entre coco e água durante a operação. Os tanques auxiliares destinados ao armazenamento de água reciclada e água de moagem foram dimensionados com base na densidade da água, enquanto o tanque de resíduos considerou densidade intermediária de 650 kg/m^3 , característica de resíduos orgânicos úmidos ricos em fibras vegetais. (FAO, 2013; FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005). As geometrias estimadas foram definidas de

forma compatível com equipamentos industriais disponíveis comercialmente, adotando relações altura/diâmetro típicas da indústria alimentícia e agroindustrial (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005; FELLOWS, 2017).

Nas etapas de redução de tamanho, foram considerados trituradores industriais destinados tanto ao processamento do coco quanto ao reaproveitamento dos resíduos sólidos da planta. Os trituradores principais operam em paralelo, recebendo aproximadamente metade da corrente total de coco processado, estratégia adotada para reduzir a carga individual de processamento e aumentar a viabilidade operacional da linha. Para o coco triturado, adotou-se densidade aparente de 650 kg/m^3 , enquanto o triturador de resíduos, responsável pelo processamento de cascas, testa e demais sólidos destinados à geração energética, foi dimensionado considerando densidade média de 350 kg/m^3 , típica de biomassa lignocelulósica fibrosa (FAO, 2013; FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005). Como esses equipamentos operam continuamente e não funcionam como unidades de armazenamento, o dimensionamento priorizou capacidade de processamento, espaço para alimentação e movimentação do material, além de estabilidade mecânica. A inclusão do triturador de resíduos representa um importante elemento de integração energética do processo, permitindo o reaproveitamento da biomassa residual como combustível da caldeira.

A etapa de separação inicial das frações do coco foi projetada utilizando centrífugas industriais operando em paralelo, configuração necessária devido à elevada vazão de alimentação e às limitações operacionais associadas a equipamentos de separação sólido-líquido. O uso de múltiplas centrífugas reduz a carga individual de processamento, melhora a estabilidade operacional e minimiza riscos de sobrecarga ou perda de eficiência na separação das frações do coco. Para o material alimentado, composto por coco triturado úmido contendo simultaneamente polpa, casca e água de coco, adotou-se densidade aparente média de 700 kg/m^3 . (SEOW; GWEE, 1997; FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005). Como esses equipamentos operam de forma dinâmica e contínua, seu dimensionamento considerou predominantemente a capacidade de separação e estabilidade rotacional, em vez de volume de armazenamento.

Na sequência, a etapa de remoção da testa foi estruturada com dois descascadores abrasivos operando em paralelo, reduzindo o risco de formação de gargalos entre centrifugação e moagem. A polpa alimentada aos descascadores

apresenta elevada umidade e maior grau de compactação, razão pela qual foi adotada densidade aparente média de 920 kg/m^3 (SEOW; GWEE, 1997; ONSAARD; SIRIAMORNPNUN, 2013; FELLOWS, 2017). O dimensionamento desses equipamentos considerou espaço suficiente para movimentação da polpa e contato abrasivo eficiente, priorizando geometrias horizontais compactas, típicas de aplicações vegetais industriais (FAO, 2013; FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

A etapa de moagem e extração do leite de coco foi projetada com um moinho industrial responsável pela desintegração da polpa branca e liberação da fase líquida rica em gordura e sólidos solúveis. Além da polpa proveniente da etapa anterior, o sistema recebe água de extração oriunda do reaproveitamento hídrico interno da planta, favorecendo a formação da emulsão e aumentando a eficiência da extração. Para a polpa branca, adotou-se densidade média de 980 kg/m^3 , comportamento característico de materiais semifluidos com elevada umidade (FAO, 2013; FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005). Embora tenha sido utilizado apenas um moinho, a escolha mostrou-se viável devido à redução de volume promovida nas etapas anteriores, permitindo compatibilidade com a produção proposta em duas bateladas diárias.

Após a moagem, o leite de coco bruto é encaminhado para filtração contínua, operação destinada à remoção de partículas sólidas remanescentes, como fibras finas e resíduos suspensos. Essa etapa é importante para aumentar a estabilidade do produto e melhorar o desempenho das operações subsequentes. Para o leite de coco bruto, adotou-se densidade média de 1020 kg/m^3 , considerando sua composição rica em água, gordura emulsificada e sólidos dissolvidos (SEOW; GWEE, 1997; TANGSUPHOOM; COUPLAND, 2009; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006). O sistema de filtração foi concebido para operação contínua, priorizando capacidade de vazão e área efetiva de separação.

A homogeneização do produto foi realizada por meio de dois reatores operando em paralelo, responsáveis pela incorporação do estabilizante e uniformização da emulsão. Essa operação reduz a tendência de separação de fases durante o armazenamento e melhora a estabilidade físico-química do produto final. Para o leite estabilizado, adotou-se densidade média de 1030 kg/m^3 , refletindo a presença de gordura emulsificada e estabilizantes (TANGSUPHOOM; COUPLAND, 2009; ONSAARD; SIRIAMORNPNUN, 2013; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006). A

configuração paralela dos reatores permite reduzir o tempo total de processamento e minimizar gargalos antes da etapa térmica.

Na pasteurização UHT, foi selecionado um trocador de calor de placas, equipamento amplamente empregado na indústria alimentícia devido à elevada eficiência térmica, compactação estrutural e facilidade de higienização (FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006). O dimensionamento foi fundamentado nos resultados do balanço de energia, considerando a carga térmica necessária para aquecer o leite de coco até a temperatura de processamento. A escolha por trocador de placas favorece elevadas taxas de transferência de calor e reduz o consumo energético quando comparado a alternativas convencionais, além de garantir maior eficiência operacional para fluidos emulsificados como o leite de coco (FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

O fornecimento de vapor ao sistema térmico é realizado por uma caldeira industrial alimentada parcialmente pelos resíduos sólidos gerados na própria planta, como casca do coco, testa removida e demais resíduos fibrosos. Para essa biomassa, adotou-se densidade aparente média de 350 kg/m^3 , valor típico de materiais lignocelulósicos utilizados como combustível industrial (FAO, 2013; FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005). Essa estratégia permite transformar resíduos agroindustriais em fonte energética, reduzindo simultaneamente custos operacionais, descarte externo e dependência de combustíveis fósseis, contribuindo significativamente para a sustentabilidade do processo.

Por fim, o sistema de bombeamento foi distribuído ao longo das etapas contínuas do processo, sendo responsável pela transferência das correntes líquidas entre os equipamentos e pela manutenção da estabilidade operacional da linha. Foram consideradas predominantemente bombas centrífugas sanitárias em aço inoxidável, amplamente utilizadas na indústria alimentícia devido à facilidade de limpeza, compatibilidade com sistemas CIP e elevada confiabilidade operacional (FELLOWS, 2017; MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006). Nas etapas envolvendo leite de coco, especialmente após moagem, filtração e homogeneização, as bombas assumem papel ainda mais relevante devido ao aumento da viscosidade do fluido, sendo essenciais para vencer perdas de carga e garantir alimentação estável do sistema de pasteurização. Além

da função hidráulica, o bombeamento também exerce papel estratégico na sincronização entre operações descontínuas e contínuas, contribuindo para o melhor aproveitamento dos equipamentos ao longo das duas bateladas diárias previstas no processo.

9.2 LISTA DE EQUIPAMENTOS

Os resultados do dimensionamento preliminar dos equipamentos encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Lista de Equipamentos

Equipamento	Corrente	Material (Kg)	Massa (Kg)	Densidade (kg/m³)	V útil (m³)	Fator Segurança	Volume Projeto (m³)	Diâmetro (m)	Altura (m)
Tanque armazenamento coco	S1	Coco maduro	160888,38	550	292,52	1,2	351,02	6	12,4
Tanque armazenamento água	S4	Água lavagem	80444,19	1000	80,44	1,2	96,53	4	7,7
Tanque lavagem	S1 + S4	Coco + água	241332,57	750	321,78	1,2	386,14	7	10
Tanque água reciclo	S24	Água reciclada	36000	1000	36	1,2	43,2	3	6,1
Tanque resíduos	S25	Resíduo sólido úmido	444,2	650	0,68	1,2	0,82	1	1
Tanque água moagem	S11	Água extração	38850,04	1000	38,85	1,2	46,62	3	6,6
Tanque 1 coco processado	S2.1	Coco processado	78835,3	650	121,29	1,2	145,55	5	7,4
Tanque 2 coco processado	S2.2	Coco processado	78835,3	650	121,29	1,2	145,55	5	7,4
Triturador 1	S2.1	Coco processado	78835,3	650	121,29	1,2	145,55	2,5	3
Triturador 2	S2.2	Coco processado	78835,3	650	121,29	1,2	145,55	2,5	3
Triturador de Resíduos	S3 + S6 + S10	Biomassa residual do coco	79467,3	350	227,05	1,2	272,46	3	3,5
Centrífuga 1	S2.3	Coco triturado	39417,65	700	56,31	1,2	67,57	1,8	2,5
Centrífuga 2	S2.4	Coco triturado	39417,65	700	56,31	1,2	67,57	1,8	2,5
Centrífuga 3	S2.5	Coco triturado	39417,65	700	56,31	1,2	67,57	1,8	2,5
Centrífuga 4	S2.6	Coco triturado	39417,65	700	56,31	1,2	67,57	1,8	2,5
Descascador abrasivo 1	S8.1 + S8.2	Polpa com testa	22073,8	920	23,99	1,2	28,79	2,5	1,5
Descascador abrasivo 2	S8.3 + S8.4	Polpa com testa	22073,8	920	23,99	1,2	28,79	2,5	1,5

Moinho	S9.1 + S9.2	Polpa branca	38850,04	980	39,64	1,2	47,57	2,5	3
Sistema de Filtração	S12	Leite de coco bruto	25252,52	1020	24,76	1,2	29,71	2	2
Reator Homogeneização 1	S15.1 + S16.1	Leite filtrado + estabilizante	12875	1030	12,5	1,2	15	2	5
Reator Homogeneização 1	S15.2 + S16.2	Leite filtrado + estabilizante	12875	1030	12,5	1,2	15	2	5
Trocador de calor de placas	S17	Leite estabilizado	25750	1030	25	1,2	30	2,5	1,2
Caldeira a biomassa	S26	Biomassa de resíduos do coco	79467,3	350	227,05	1,2	272,46	4	12

Fonte: Autor 2026

10 CUSTOS DO PROCESSO

A estimativa econômica do processo foi realizada com o objetivo de fornecer uma análise preliminar da viabilidade financeira da planta proposta para produção de leite de coco. Como este trabalho se encontra em nível conceitual de projeto, ainda sem especificação comercial definitiva dos equipamentos e sem detalhamento completo de instalação industrial, optou-se pela utilização de metodologias simplificadas amplamente empregadas na Engenharia Química para estimativas iniciais de custos.

Nesse contexto, os custos foram divididos em três componentes principais: CAPEX (*Capital Expenditure*), correspondente ao investimento necessário para implantação da planta; OPEX (*Operational Expenditure*), referente aos custos de operação do processo; e TOTEX (*Total Expenditure*), obtido pela soma dos custos de investimento e operação. Essa abordagem permite uma avaliação integrada do sistema produtivo, fornecendo uma visão preliminar da viabilidade econômica da planta ainda em fase de desenvolvimento.

10.1 ESTIMATIVA DO CAPEX

A estimativa do investimento de capital da planta foi realizada utilizando o Método dos Fatores de Lang, amplamente empregado em projetos conceituais de Engenharia Química devido à sua simplicidade e boa representatividade para estimativas preliminares (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

Esse método considera que o custo total da planta pode ser estimado a partir do somatório do custo dos equipamentos principais multiplicado por um fator empírico, responsável por incorporar custos indiretos associados à implantação industrial, como tubulações, instrumentação, instalações elétricas, obras civis, automação, montagem mecânica e engenharia do projeto.

O cálculo do CAPEX foi realizado conforme apresentado na Equação 9.

$$\text{CAPEX} = \sum \text{CE} \cdot \text{Flang} \quad (9)$$

Em que CAPEX corresponde ao investimento total estimado da planta (R\$), $\sum \text{CE}$ representa o somatório do custo dos equipamentos principais (R\$), e FLang corresponde ao fator de Lang adotado para o tipo de processo. Considerando que a produção de leite de coco envolve simultaneamente operações com materiais sólidos e fluidos, incluindo moagem, separação sólido-líquido, movimentação hidráulica, homogeneização e tratamento térmico, o processo foi classificado como uma planta fluido-sólido. Dessa forma, adotou-se Flang igual a 3,5. (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

Os custos-base dos equipamentos foram estimados a partir de valores típicos de mercado compatíveis com equipamentos industriais utilizados na indústria alimentícia, considerando capacidade semelhante à proposta neste projeto. Foram incluídos tanques de armazenamento e processo, trituradores, centrífugas, descascadores abrasivos, moinho industrial, sistema de filtração, reatores de homogeneização, trocador de calor para pasteurização UHT, caldeira e sistema de bombeamento. Ressalta-se que os valores adotados possuem caráter aproximado, sendo adequados para análises preliminares em projetos conceituais. A Tabela 3 apresenta a estimativa simplificada dos custos dos principais equipamentos do processo.

Tabela 3 - Estimativa simplificada de custos dos equipamentos

Equipamento	Quantidade	Custo unitário estimado (R\$)	Total (R\$)
Tanques de armazenamento/processo	7	180.000	1.260.000

Trituradores	3	220.000	660.000
Centrífugas industriais	4	320.000	1.280.000
Descascadores abrasivos	2	180.000	360.000
Moinho industrial	1	280.000	280.000
Sistema de filtração	1	150.000	150.000
Reatores de homogeneização	2	220.000	440.000
Pasteurizador UHT (placas)	1	950.000	950.000
Caldeira biomassa	1	1.200.000	1.200.000
Sistema de bombeamento	-	300.000	300.000
TOTAL			6.880.000

Fonte: Autor 2026.

A partir do somatório dos custos estimados dos equipamentos principais da planta, obteve-se um valor total aproximado de R\$ 6.880.000. Com base nesse valor, foi aplicado o Método dos Fatores de Lang, adotando-se um fator global igual a 3,5, compatível com plantas industriais que envolvem processamento combinado de sólidos e fluidos, como é o caso da produção de leite de coco. A utilização desse fator permite incorporar, de forma simplificada, não apenas os custos relacionados à aquisição dos equipamentos principais, mas também despesas associadas à instalação industrial, incluindo tubulações, instrumentação, sistemas elétricos, obras civis, montagem mecânica e engenharia do projeto. Dessa forma, o CAPEX estimado para implantação da planta foi de aproximadamente R\$ 24,08 milhões, valor que representa uma estimativa global do investimento necessário para viabilizar a unidade industrial proposta. Ressalta-se que essa estimativa possui caráter preliminar, sendo adequada para estudos conceituais em nível de projeto final de curso (PFC), nos quais o objetivo principal é obter uma ordem de grandeza do investimento necessário para implementação do processo produtivo proposto.

10.2 ESTIMATIVA DO OPEX

Após a estimativa do investimento inicial, realizou-se o cálculo do OPEX (*Operational Expenditure*), correspondente aos custos associados à operação da planta, incluindo manutenção, consumo de utilidades, mão de obra, seguros, suporte operacional e despesas administrativas.

Como o projeto ainda se encontra em fase conceitual e não possui detalhamento completo de custos operacionais específicos, o OPEX foi estimado em função do CAPEX total da planta, metodologia amplamente utilizada em estudos preliminares de Engenharia Química (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005).

O cálculo foi realizado conforme a Equação 10.

$$\text{OPEX} = f \cdot \text{CAPEX} \quad (10)$$

Em que OPEX corresponde ao custo operacional anual estimado da planta (R\$/ano), f representa o fator operacional adotado e CAPEX corresponde ao investimento total necessário para implantação da unidade industrial. Neste trabalho, adotou-se um fator operacional igual a 0,15, correspondente a 15% do CAPEX ao ano, valor considerado compatível com plantas alimentícias de média complexidade operacional (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 2005). A escolha desse fator foi baseada nas características do processo proposto, que envolve equipamentos sanitários, sistema de pasteurização UHT, geração própria de vapor, reaproveitamento hídrico e integração energética entre resíduos sólidos e produção de utilidades. Com base no investimento previamente estimado para a planta, obteve-se um OPEX anual aproximado de R\$ 3.612.000,00, indicando que os custos de operação do sistema são da ordem de R\$ 3,61 milhões por ano. Esse valor representa uma estimativa preliminar dos custos associados à manutenção da operação industrial, incluindo consumo de utilidades, manutenção dos equipamentos, despesas operacionais e suporte ao funcionamento contínuo da planta.

10.3 ESTIMATIVA DO TOTEX

Por fim, realizou-se a estimativa do TOTEX (*Total Expenditure*), indicador utilizado para representar o custo total associado ao sistema, considerando

simultaneamente os investimentos de implantação e os custos operacionais. O TOTEX foi calculado conforme a Equação 11.

$$\text{TOTEX} = \text{CAPEX} + \text{OPEX} \quad (11)$$

Com base nos valores previamente estimados para o investimento de implantação da planta (CAPEX) e para os custos operacionais anuais (OPEX), obteve-se um TOTEX aproximado de R\$ 27.692.000. Esse valor representa o custo total estimado do projeto, considerando tanto os recursos necessários para implantação da unidade industrial quanto os custos associados à sua operação. Embora se trate de uma estimativa simplificada, adequada ao nível conceitual deste trabalho, os resultados obtidos demonstram coerência com a capacidade produtiva proposta e com a complexidade operacional do processo de produção de leite de coco. Além disso, essa estimativa fornece uma base inicial importante para futuras análises econômicas mais detalhadas, incluindo estudos de fluxo de caixa, tempo de retorno do investimento (*payback*), valor presente líquido e análises de sensibilidade relacionadas aos principais custos do processo.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho permitiu demonstrar que a produção industrial de leite de coco UHT, na capacidade proposta de 50.000 kg por dia, apresenta viabilidade técnica quando fundamentada em critérios consistentes de engenharia de processos, integração operacional e adequação às limitações reais dos equipamentos industriais. Mais do que apenas propor uma sequência produtiva, o estudo buscou responder a uma questão central: seria possível transformar uma matéria-prima naturalmente heterogênea, como o coco, em um processo industrial operacionalmente coerente, tecnicamente eficiente e com potencial econômico? Os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento indicam que essa proposta é factível.

Durante o projeto, ficou evidente que a viabilidade do sistema não depende exclusivamente da eficiência isolada de cada operação unitária, mas, principalmente, da forma como essas etapas são integradas. Inicialmente, o processamento de toda a produção diária em uma única batelada poderia parecer

uma alternativa mais simples; entretanto, a análise das capacidades industriais disponíveis evidenciou limitações operacionais relevantes. Nesse contexto, a divisão da produção em duas bateladas diárias mostrou-se uma decisão de engenharia fundamentada, capaz de aproximar o projeto das condições reais de operação industrial, além de reduzir riscos associados ao superdimensionamento de equipamentos e à perda de estabilidade operacional.

Outro aspecto importante observado foi a relevância do paralelismo operacional nas etapas de maior demanda. A utilização de equipamentos em paralelo em operações críticas mostrou-se essencial para minimizar gargalos e manter a continuidade do fluxo produtivo. Esse resultado evidencia um princípio frequentemente aplicado na engenharia de processos: o aumento da capacidade produtiva nem sempre está relacionado à adoção de equipamentos maiores, mas, muitas vezes, à melhor organização e distribuição do processamento ao longo da planta. Dessa forma, a robustez operacional do sistema proposto esteve diretamente associada à sua flexibilidade e à capacidade de adaptação entre as diferentes etapas do processo.

Além da coerência operacional, o projeto também evidenciou oportunidades relevantes de integração de recursos. O reaproveitamento parcial da água de processo e a utilização dos resíduos sólidos do coco como biomassa energética representam soluções que vão além da simples redução de custos operacionais, contribuindo também para o desempenho ambiental do sistema. Em um cenário industrial cada vez mais orientado pela eficiência hídrica, energética e pela redução da geração de resíduos, a incorporação dessas estratégias reforça o alinhamento do processo aos princípios de sustentabilidade e economia circular.

Sob a perspectiva econômica, os resultados obtidos sugerem potencial atratividade para implantação industrial. Embora a instalação da planta exija investimento inicial significativo, a relação entre os custos estimados do processo e os valores praticados pelo mercado para leite de coco UHT indica uma possibilidade preliminar de viabilidade econômica. Naturalmente, fatores externos, como tributação, oscilações no preço da matéria-prima, custos logísticos e competitividade do setor, influenciam diretamente a rentabilidade efetiva do empreendimento. Ainda assim, os resultados encontrados fornecem uma base consistente para estudos econômicos mais aprofundados.

Por outro lado, é importante reconhecer que este trabalho possui limitações inerentes ao seu caráter conceitual. Algumas simplificações foram necessárias, especialmente quanto ao uso de propriedades médias dos materiais, estimativas preliminares de custos e adoção de parâmetros típicos de equipamentos industriais. Dessa forma, estudos futuros poderão aprofundar a proposta por meio de simulações computacionais mais robustas, análises econômicas detalhadas, estudos de sensibilidade, validações experimentais e investigações de mercado mais específicas.

De maneira geral, o desenvolvimento deste projeto evidencia o papel fundamental da engenharia química na transformação de oportunidades de mercado em soluções tecnicamente executáveis. A planta proposta demonstrou ser capaz de integrar desempenho técnico, racionalidade operacional, reaproveitamento de recursos e potencial econômico em uma mesma estrutura produtiva. Mais do que apresentar um arranjo industrial para produção de leite de coco, este estudo reforça a importância de decisões de engenharia fundamentadas, nas quais eficiência, viabilidade e sustentabilidade devem coexistir para construção de processos verdadeiramente competitivos.

Por fim, conclui-se que o leite de coco representa não apenas um produto de crescente valorização comercial, mas também uma oportunidade estratégica para o desenvolvimento de processos alimentícios mais eficientes e alinhados às transformações do perfil de consumo contemporâneo. Nesse contexto, o presente trabalho contribui tanto para a compreensão técnica do processo produtivo quanto para a discussão sobre a necessidade de projetar sistemas industriais mais inteligentes, integrados e sustentáveis.

12 CONCLUSÃO

Conclui-se que o desenvolvimento de uma proposta de processo industrial para produção de leite de coco UHT, com capacidade de 50.000 kg por dia, mostrou-se tecnicamente viável quando estruturado a partir de princípios de engenharia química aplicados ao balanço de massa e energia, dimensionamento de equipamentos e integração das operações unitárias. O processo proposto permitiu organizar uma linha produtiva coerente com condições industriais reais, contemplando desde o preparo da matéria-prima até as etapas de extração,

estabilização, tratamento térmico UHT e envase asséptico.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, também foi possível identificar oportunidades de melhoria da eficiência operacional e de aproveitamento de recursos, especialmente por meio do reaproveitamento parcial da água de processo e da utilização dos resíduos sólidos do coco para geração de energia térmica. Do ponto de vista econômico, embora se trate de uma análise preliminar, as estimativas de investimento e custos operacionais indicaram potencial de viabilidade para implantação da proposta. Dessa forma, considera-se que os objetivos do trabalho foram alcançados, evidenciando que a produção industrial de leite de coco pode representar uma alternativa tecnicamente consistente, operacionalmente organizada e alinhada às demandas atuais do mercado de produtos de origem vegetal.

REFERÊNCIAS

- CHEN, H.; WANG, Y.; SUN, X.; PENG, Y.; XIAO, L. Mixing effect of polylactic acid microplastic and straw residue on soil property and ecological function. *Chemosphere*, v. 243, p. 125271, 2020. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.125271.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Coconut processing and by-product utilization. Rome: FAO, 2013.
- FELLOWS, P. J. Food processing technology: principles and practice. 4. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017.
- FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Lactose-free products market size, share and industry analysis. Pune: Fortune Business Insights, 2022.
- GEANKOPLIS, C. J. Transport processes and separation process principles. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- GRAND VIEW RESEARCH. Plant-based beverages market size, share & trends analysis report. San Francisco: Grand View Research, 2023.
- GRUMEZESCU, A. M.; HOLBAN, A. M. Natural beverages: the science of beverages. v. 13. [S.l.]: Elsevier, 2019.
- INTERNATIONAL COCONUT COMMUNITY. Coconut statistical yearbook 2020. 37. ed. Jakarta: International Coconut Community, 2022.
- LOMER, M. C. E.; PARKES, G. C.; SANDERSON, J. D. Review article: lactose intolerance in clinical practice – myths and realities. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, v. 27, p. 93–103, 2008.
- MARKET RESEARCH FUTURE. Coconut milk market research report – forecast to 2023. 2019. Disponível em: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/coconut-milk-market-3024>. Acesso em: 27 maio 2026.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. Unit operations of chemical engineering. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2005.
- MISSELWITZ, B.; BUTTER, M.; VERDU, E. F. Lactose intolerance: from diagnosis to correct management. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, v. 49, p. 1251–1260, 2019.
- ONSAARD, E.; SIRIAMORNpun, S. Coconut milk processing and preservation. In: *Handbook of coconut products and processing*. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2013.
- POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, v. 360, n. 6392, p. 987–992, 2018.
- SEOW, C. C.; GWEE, C. N. Coconut milk: chemistry and technology. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 32, n. 3, p. 189–201, 1997.

STEPHEN, C.; ENDA, C.; KARLI, V. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, pt. 2, p. 766–783, 2017.

TANGSUPHOOM, N.; COUPLAND, J. N. Effect of surface-active stabilizers on the microstructure and stability of coconut milk emulsions. *Food Hydrocolloids*, v. 23, p. 1797–1803, 2009.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). National nutrient database for standard reference. Washington, DC: USDA, 2004.

WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. Dairy science and technology. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.