

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

MARIANY ARISTIDES BOLDRIN

**PROJETO DE UMA PLANTA DE PRODUÇÃO DE EXTRATO BIOATIVO DO
RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DO ABACAXI**

POÇOS DE CALDAS/MG

2025

MARIANY ARISTIDES BOLDRIN

**PROJETO DE UMA PLANTA DE PRODUÇÃO DE EXTRATO BIOATIVO DO
RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DO ABACAXI**

Trabalho apresentado como parte dos requisitos para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Química na Universidade Federal de Alfenas - *campus* Poços de Caldas.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Lodi
Coorientadora: Profa. Dra. Alessandra R. P. Ambrozin.

POÇOS DE CALDAS/MG

2025

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

Boldrin, Mariany Aristides.

Projeto de uma planta de produção de extrato bioativo do resíduo agroindustrial do abacaxi / Mariany Aristides Boldrin. - Poços de Caldas, MG, 2025.

55 f. : il. -

Orientador(a): Leandro Lodi.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. Abacaxi. 2. Subproduto. 3. Resíduo agroindustrial. 4. Planta industrial.
I. Lodi, Leandro, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

Mariany Aristides Boldrin

**PROJETO DE UMA PLANTA DE PRODUÇÃO DE EXTRATO BIOATIVO DO
RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DO ABACAXI**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharela em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 12 de novembro de 2025

Prof. Dr. Leandro Lodi

Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL MG)

Assinatura:



Documento assinado digitalmente

LEANDRO LODI

Data: 18/11/2025 16:57:32-0300

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

Prof. Dr. Maurielem Guterres Dalcin

Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL MG)

Assinatura:



Documento assinado digitalmente

MAURIELEM GUTERRES DALCIN

Data: 19/11/2025 10:05:58-0300

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

Prof.^a Dr.^a Marlus Pinheiro Rolemberg

Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL MG)

Assinatura:



Documento assinado digitalmente

MARLUS PINHEIRO ROLEMBERG

Data: 19/11/2025 10:31:00-0300

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

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida que me presenteou e pela oportunidade de concluir este sonho.

Agradeço à minha família que esteve comigo nos momentos mais importantes e que, constantemente, me apoiou com amor, carinho e paciência durante todas as etapas da vida. Eu amo muito vocês.

E, por fim, agradeço aos professores do curso de Engenharia Química pelos conhecimentos compartilhados durante essa trajetória, especialmente aos professores Dr. Leandro Lodi e Dra. Alessandra Regina Pepe Ambrozin, pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, muito obrigada pelos ensinamentos essenciais.

RESUMO

A busca por alternativas sustentáveis e inovadoras para o aproveitamento de resíduos agroindustriais, especificamente os provenientes do abacaxi, impulsionou o desenvolvimento deste estudo. Reconhecendo o potencial desses resíduos como fonte de compostos fenólicos e antioxidantes de alto valor para a indústria, este trabalho se baseou em resultados de laboratório anteriores, nos quais se explorou e otimizou métodos de extração do resíduo do abacaxi. Para isso, diferentes métodos de extração foram avaliados em laboratório, incluindo infusão, decocção, infusão e Soxhlet, com o objetivo de determinar a eficiência na obtenção dos compostos desejado. Os resultados experimentais mostraram que a decocção se destacou como o método mais eficiente para a extração dos compostos bioativos do resíduo de abacaxi. A partir destes resultados, o presente trabalho visou a criação de uma planta industrial que maximize a utilização desse subproduto para obtenção de um extrato rico em substâncias bioativas. Para isso, foram elaborados fluxogramas de processo, balanços de massa e energia da etapa de extração, e estimativas de equipamentos e custos, contribuindo para a viabilização prática da extração dos compostos fenólicos e antioxidantes, agregando valor aos resíduos do processamento do abacaxi. Portanto, este estudo não apenas buscou otimizar os processos, mas também promoveu novas visões em relação à sustentabilidade e a valorização dos resíduos agroindustriais de abacaxi e suas aplicações na indústria.

Palavras-chave: abacaxi; subproduto; resíduo agroindustrial; planta industrial.

ABSTRACT

The search for sustainable and innovative alternatives for the use of agro-industrial waste, specifically from pineapple, drove the development of this study. Recognizing the potential of this waste as a source of high-value phenolic and antioxidant compounds for industry, this work was based on previous laboratory results, which explored and optimized pineapple waste extraction methods. To this end, different extraction methods were evaluated in the laboratory, including infusion, decoction, maceration, and Soxhlet, to determine their efficiency in obtaining the desired compounds. The experimental results showed that decoction stood out as the most efficient method for extracting bioactive compounds from pineapple waste. Based on these results, the present work aimed to create an industrial plant that maximizes the utilization of this byproduct to obtain an extract rich in bioactive substances. To this end, process flowcharts, mass and energy balances for the extraction state, and equipment and cost estimates were developed, contributing to the practical feasibility of extracting phenolic compounds and antioxidants, adding value to pineapple processing waste. Therefore, this study not only sought to optimize processes but also promoted new insights regarding the sustainability and valorization of pineapple agro-industrial waste and its applications in industry.

Keywords: pineapple; by-product; agro-industrial waste; industrial plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais variedades de abacaxi comercializadas na CEAGESP.....	14
Figura 2 - Compostos fenólicos de <i>Ananas comosus</i>	17
Figura 3 - Estrutura molecular da bromelina.....	18
Figura 4 - Extrator Soxhlet.....	23
Figura 5 - Fluxograma de processamento de suco de abacaxi.....	28
Figura 6 - Tanque inox de armazenamento.....	30
Figura 7 - Filtro prensa.....	32
Figura 8 - Destilador à vácuo.....	33
Figura 9 - Fluxograma de blocos do processo de extração dos compostos bioativos do resíduo de abacaxi (BFD).....	34
Figura 10 - PFD do processo de extração.....	35
Figura 11 - Balanço de massa do processo de ebulição.....	39
Figura 12 - Balanço de massa do processo de destilação.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais variedades de abacaxi comercializadas na CEAGESP....	15
Tabela 2 - Composição química média do abacaxi.....	16
Tabela 3 - Massa dos extratos e eficiência de cada método de extração do resíduo de abacaxi.....	28
Tabela 4 - Variáveis e massas de entrada.....	36
Tabela 5 - Balanço de massa (entrada).....	42
Tabela 6 - Parâmetros de densidade.....	42
Tabela 7 - Dados da batelada em escala industrial.....	43
Tabela 8 - Dados estimados.....	45
Tabela 9 - Dados para perdas de calor.....	46
Tabela 10 - Estimativa de custos dos equipamentos e instrumentação.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. Objetivo geral	13
2.1. Objetivos específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. O abacaxi	14
3.1.1. Substâncias bioativas do abacaxi	15
3.2. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais	18
3.2.1. Resíduo agroindustrial do abacaxi e suas aplicações	19
3.3. Métodos de extração	22
3.3.1. Método Soxhlet	23
3.3.2. Método decocção	24
3.3.3. Método infusão	24
3.3.4. Método maceração	24
3.3.5. Etanol como solvente extrator	25
4. ESCALONAMENTO	26
4.1. Descritivo do processo	27
4.1.1. Recepção e armazenamento da matéria-prima	28
4.1.2. Armazenamento do solvente	29
4.1.3. Extração sólido-líquido	30
4.1.4. Filtração	30
4.1.5. Destilação	31
4.1.6. Armazenamento do produto	32
4.2. Fluxograma de blocos	32
4.3. Fluxograma de processo (PFD)	33
4.4. Balanço de massa	34
4.5. Balanço de energia	38
4.6. Lista de equipamentos e estimativa de custos	46
5. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

O abacaxizeiro, originário das Américas, é amplamente cultivado no Brasil, sendo considerado uma das culturas mais exigentes, com florescimento desuniforme, presença de fungos no desenvolvimento da cultura e complexo padrão comercial. A árvore, vastamente distribuída nas regiões tropicais, possui frutos cilíndricos, com polpa branca, amarela ou laranja-avermelhada e constituídos por 100 a 200 frutinhos (GRANADA et al, 2004).

O consumo de abacaxi apresenta geração de resíduos, como a casca, coroa, talos e folhas, correspondendo a 38% do peso do fruto. Além de se destacar por seu valor energético, composição de açúcares e valor nutritivo, o abacaxi possui sais minerais, como cálcio, fósforo, magnésio, e possui uma enzima chamada bromelina, digestivo natural. Com potencial anti-inflamatório, digestivo, mucolítica, a bromelina é um subproduto do abacaxi com valor agregado e grande importância na indústria (BAZZI et al, 2020).

Conforme o trabalho de MANETTI, DELAPORTE e LAVERDE JR. (2009), o abacaxi (*Ananas comosus*) possui uma complexa mistura de mais de 280 constituintes voláteis que contribuem para seu aroma, sendo a clássica furanona do abacaxi (4-hidroxi-2,5-dimetil-3[2H] - furanona ou furaneol®) um dos metabólitos secundários chave.

O Brasil, com clima favorável e grande território, é forte na fruticultura, mas também há grande desperdício pós-colheita e processamento. A utilização de abacaxi na indústria de sucos e polpas gera diversos resíduos agroindustriais. Utilizar resíduos agroindustriais, como os da indústria de suco de abacaxi (casca, caule etc.), é crucial para conservar recursos e agregar valor. Esses resíduos do abacaxi, que representam uma grande parte da planta não comercializada, possuem potencial para produção de compostos bioativos de alto valor (FERREIRA et al, 2017).

Dentre os métodos de extração que podem ser empregados para obter extratos com compostos bioativos do abacaxi, evidenciam-se: arraste de vapor, extração com solventes orgânicos, CO₂ supercrítico, extração por Soxhlet, prensagem (SILVA, 2018).

A ampliação da produção, também conhecida como escalonamento, representa uma fase essencial na criação de produtos industriais, pois busca

replicar os resultados alcançados em volumes menores. Na engenharia química, o escalonamento é descrito como a reprodução de processos em proporções maiores, com o objetivo de alcançar a produção em nível comercial.

A passagem dos resultados de laboratório para a produção industrial é um desafio bem conhecido entre os pesquisadores, exigindo a superação de dificuldades técnicas e a aplicação prática do conhecimento teórico (THORPE, 2016). Essa progressão é vital para estabelecer um processo industrial capaz de converter o resíduo agroindustrial do abacaxi em um extrato que possa ser comercializado em grande quantidade.

O escalonamento do trabalho foi baseado nos resultados obtidos em laboratório no Trabalho de Conclusão de Curso de Megda e Boldrin (2019) de título “Aproveitamento do resíduo agroindustrial do abacaxi: avaliação de diferentes tipos de extração sólido-líquido”.

A extração de compostos bioativos do resíduo agroindustrial do abacaxi se faz uma prática viável tanto economicamente quanto do ponto de vista dos benefícios à saúde que os compostos possuem.

O abacaxi possui propriedades antioxidantes e anticancerígenas, sendo seu consumo diário indicado por nutricionistas e especialistas em nutrição funcional, dadas as substâncias favoráveis ao organismo humano, como a vitamina C e polifenóis, presentes na fruta.

O aumento da demanda por produtos naturais e que promovam bem-estar também está interligado ao reaproveitamento de alimentos, devido ao crescente interesse em uma alimentação mais saudável e que também seja sustentável, considerando os impactos ambientais que a indústria de alimentos produz.

Assim, transformar o resíduo agroindustrial do abacaxi proveniente da indústria de sucos e polpas em um produto com alta concentração de compostos bioativos e que possui aplicações tanto no ramo farmacêutico quanto na indústria de cosméticos é altamente vantajoso.

Outro fator a ser considerado nesse quesito é a estratégia que o Marketing Verde pode gerar nos resultados de uma empresa quando há divulgação de ações visando sustentabilidade e responsabilidade ambiental, como a redução do consumo, reutilização de matérias-primas e conservação dos recursos naturais para as próximas gerações.

É nítida a importância de se estudar e pesquisar novas formas de

trabalhar com os resíduos orgânicos da indústria de alimentos, pois, assim, além de prevenir impactos ambientais, novos produtos são pensados e novas formas de transformar os subprodutos de uma matéria-prima de um determinado processo industrial são projetadas e divulgadas.

Assim, o presente trabalho visa realizar o estudo de escalonamento do processo de extração sólido-líquido de compostos bioativos do resíduo agroindustrial do abacaxi, a partir dos resultados de laboratório, para dimensionar um sistema em nível piloto/industrial e, conseqüentemente, agregar valor a esse subproduto.

2. OBJETIVOS

Projetar uma planta industrial para extração de compostos bioativos do resíduo agroindustrial de abacaxi obtido como subproduto de indústrias de suco, baseada em dados obtidos em laboratório.

2.1. Objetivos específicos

O presente trabalho teve os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolvimento de um descritivo de processo para extração de compostos bioativos do abacaxi;
- Elaboração do fluxograma de blocos do processo de extração do resíduo de abacaxi por decocção;
- Elaboração do fluxograma do processo de extração do resíduo de abacaxi por decocção;
- Apresentação do balanço de massa e energia referentes à extração;
- Estimativa da lista de equipamentos necessários para execução da planta e seus custos.

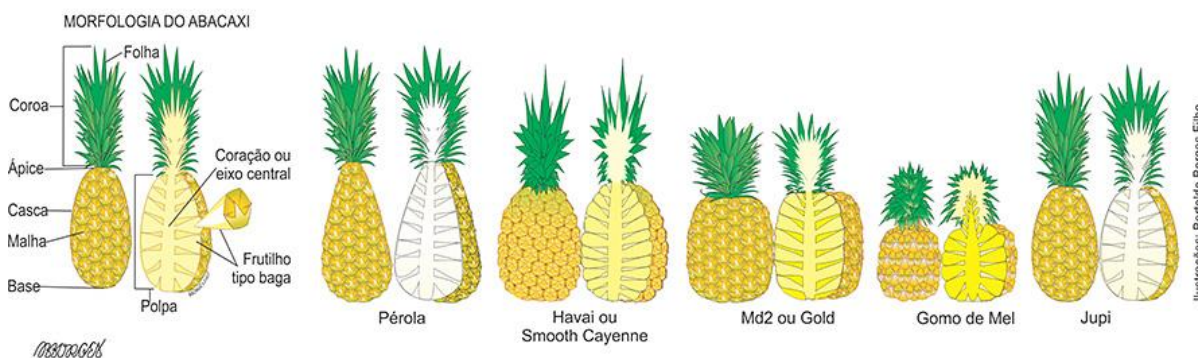
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O abacaxi

Ananas comosus L. Merrill é uma fruta da família Bromeliaceae de origem americana (Brasil e Paraguai), cujo nome popular é abacaxi. Cultivado em todos os estados do Brasil, com 2,32 milhões de toneladas produzidas em uma área total de 68,15 mil hectares, resulta em 2,22 bilhões para o PIB agrícola. É considerada a quinta fruta mais produzida no país, em sua maioria, para o mercado interno. Seus cultivares mais conhecidos são: Pérola, *Smooth Cayenne*, Gomo de mel, *Gold* e Jupí, que se diferenciam segundo sua morfologia, conforme Figura 1, mas também quanto ao conteúdo de açúcar, composição química e teor de acidez (Embrapa, 2024).

De acordo com os dados de 2023 do IBGE, o maior produtor foi o Pará. O valor da produção total brasileira foi de, aproximadamente, 4 bilhões de reais e área colhida 63,94 mil hectares (IBGE, 2024).

Figura 1: Principais variedades de abacaxi comercializadas na CEAGESP.



Fonte: CEAGESP, 2024.

A cultivar *Smooth Cayenne* apresenta porte baixo, folhas verde-arroxeadas e verde-escuro de até 1 metro de comprimento, com fruto grande, de formato cilíndrico, com até 2,5 kg de peso. Diferencia-se por apresentar presença parcial de espinhos na coroa e polpa amarela, conforme Tabela 1. A cultivar Pérola apresenta formato cônico, presença total de espinhos na coroa e polpa com coloração branco-pérola, suculenta, mas pouco adequada para industrialização

devido baixa acidez. A cultivar Gomo de mel possui formato ligeiramente cilíndrico, presença total de espinhos e polpa com coloração amarelo-ouro e de ótimo sabor. O cheiro característico do abacaxi é devido ao *n*-butirato de etila, um éster líquido incolor com odor de abacaxi, utilizado em perfumes e cosméticos (Granada et al, 2004, Brown, 2005).

Tabela 1: Principais variedades de abacaxi comercializadas na CEAGESP.

Variedade	Formato	Frutinhos	Casca	Presença de espinhos	Coloração da polpa
Pérola	Cônico	Achatado	Fina	Total	Branco-pérola
Havaí (<i>Smooth Cayenne</i>)	Cilíndrico	Achatado	Média	Parcial	Amarelo
MD-2 ou <i>Gold</i>	Cilíndrico	Achatado	Grossa	Ausente	Amarelo-ouro
Gomo de mel	Ligeiramente cilíndrico	Saliente	Média	Total	Amarelo-ouro
Jupi	Cilíndrico	Achatado	Fina	Total	Branco-pérola

Fonte: CEAGESP, 2024.

3.1.1. Substâncias bioativas do abacaxi

Substâncias bioativas são compostos que têm um efeito sobre um sistema vivo, tecido ou célula, atuando no metabolismo e fisiologia humana, promovendo benefícios à saúde, retardando o aparecimento de doenças ou mesmo sendo usadas no seu tratamento. Nutricionalmente, tais compostos se diferenciam dos nutrientes essenciais. O corpo humano pode funcionar sem compostos bioativos, mas a ausência de nutrientes pode causar danos a curto e longo prazo. Ainda assim, os compostos bioativos apresentam grande influência na saúde. As substâncias bioativas apresentam ação funcional, exercendo ações do ponto de vista biológico, como, por exemplo, atividade antioxidante, estimulação do

sistema imune, atividade antibacteriana e antiviral, entre outras (COSTA; JORGE, 2011).

A composição química do abacaxi (em termos de nutrientes essenciais) (Tabela 2) pode variar de acordo com alguns fatores, como a época em que é produzido, acidez, local, além de condições ambiente, como tipo de solo e atmosfera (FRANCO, 1989; USDA, 2020).

Tabela 2: Composição química média do abacaxi.

Componentes	Quantidade (por 100 gramas)
Glicídio	13,70 g
Proteínas	0,40 g
Lipídios	0,20 g
Cálcio	18,00 mg
Ferro	0,50 mg
Fósforo	8,00 mg
Fibras	0,95 g
Niacina	0,82 mg
Ácido ascórbico	28,20 mg
Tiamina	80,00 mcg
Riboflavina	128,00 mcg
Retinol	5,00 mcg
Calorias	52 kcal

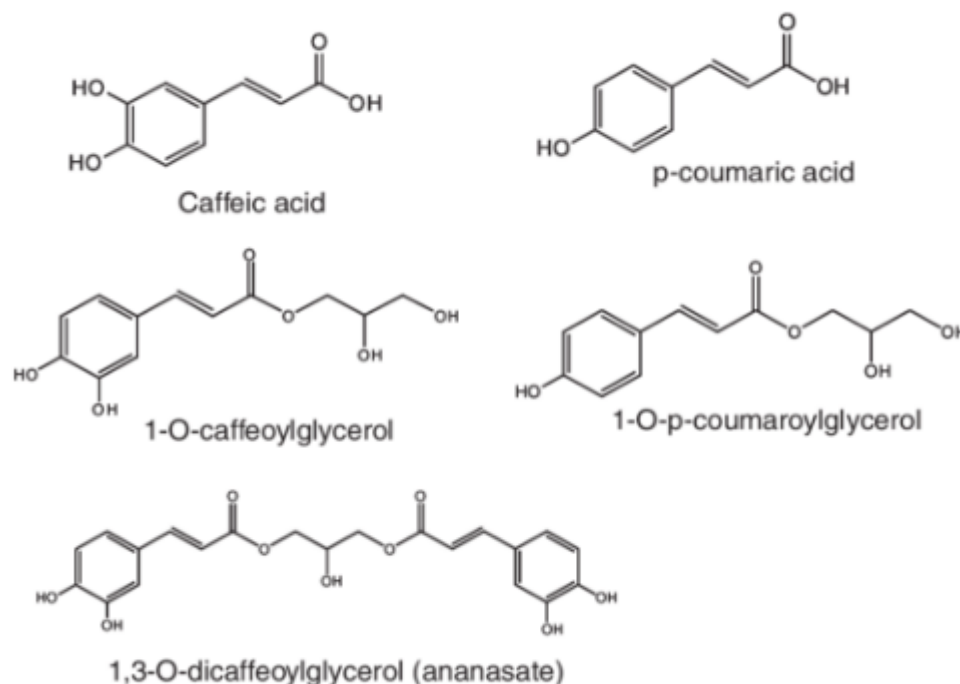
Fonte: FRANCO, 1989.

A produção de abacaxi, cuja ocorrência é geralmente no verão, produz frutos com maior teor de açúcares e menor acidez. Além disso, sua composição química pode ser diferente dependendo do tipo de cultivar (SILVA, V.M.B, 2012; GRANADA et al, 2004).

O abacaxi é rico em compostos fenólicos, que são substâncias com propriedades antioxidantes, com diversos benefícios para a saúde, pois combatem os radicais livres, prevenindo o envelhecimento precoce e doenças degenerativas. De acordo com o trabalho de SEFFRIN (2017), a casca do abacaxi é uma fonte de compostos antioxidantes, sendo seu extrato uma alternativa natural ao uso dos antioxidantes sintéticos, resultando na valorização do resíduo e corroborando com a sustentabilidade.

Alguns dos compostos fenólicos presentes no abacaxi tem suas estruturas ilustradas na Figura 2.

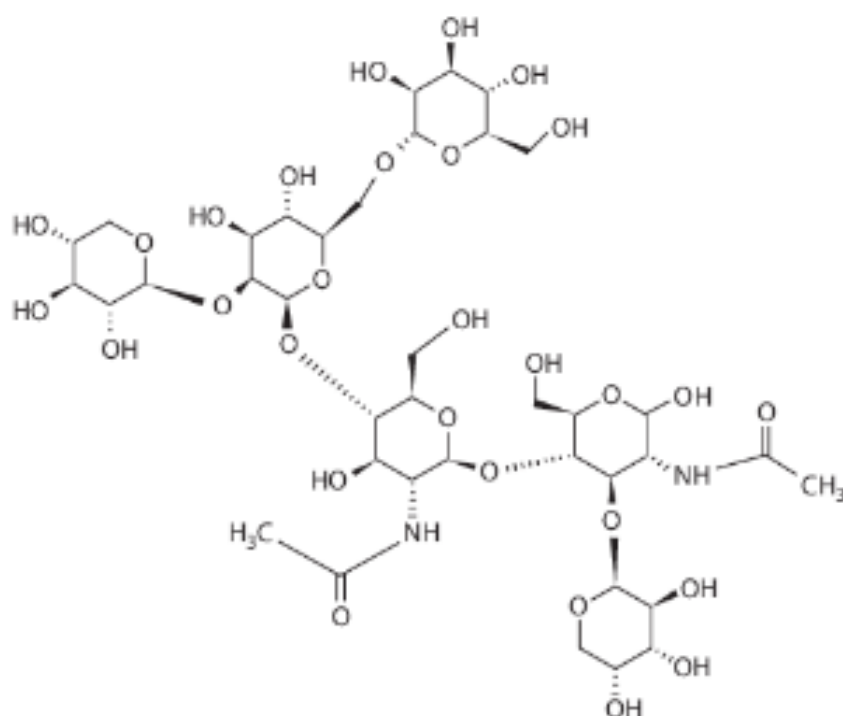
Figura 2: Compostos fenólicos de *Ananas comosus*.



Fonte: Hu *et al.* (2011)

A bromelina (Figura 3) é uma enzima proteolítica, ou seja, possui a capacidade de “quebrar” proteínas, sendo encontrada no abacaxi (*Ananas comosus*). Ela é obtida do caule da planta, mas também pode ser encontrada em outras partes, como a polpa e a coroa. Possui ações anti-inflamatórias, digestivas, anticoagulantes, cicatrizantes e analgésicas. Na indústria de alimentos, é muito utilizada para amaciar carnes e, na indústria de cosméticos, em produtos para pele devido às propriedades cicatrizantes e anti-inflamatórias. A bromelina presente no extrato de abacaxi apresenta maior atividade proteolítica quando extraída da polpa do que das folhas do abacaxizeiro (França-Santos *et al.*, 2009).

Figura 3 – Estrutura molecular da bromelina.



Fonte: Iftikhar Ahmed, 2016

3.2. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais

O reaproveitamento de resíduos agroindustriais é uma prática sustentável que vem se popularizando com o incentivo político-social por uma indústria mais verde e circular. Os resíduos gerados na produção agrícola e agroindustrial, quando descartados de forma inadequada, geram impactos profundos no ecossistema e na biosfera, atingindo de forma nociva rios, florestas, lençóis freáticos e a vida marinha (SANTOS, 2008).

Assim, reaproveitar os resíduos agroindustriais e torná-los subprodutos torna-se uma prática consciente, ecológica e econômica, pois, existem casos em que o subproduto possui maior valor agregado que o próprio produto principal. É o caso do leite, cujos subprodutos (por exemplo, manteiga, requeijão e queijo) possuem maior valor agregado que a matéria-prima primordial (ROCHA; PELEGRINI; LOPES, 2018).

Portanto, empresas que não possuem metodologias de reaproveitamento dos seus subprodutos tornam-se ultrapassadas e não se beneficiam dos

impactos desta prática que transforma um material que, antes visto como “resíduo”, “descarte” ou “detrito”, através de novos processamentos, torna-se um produto com valor agregado (Woiciechowski et al., 2015).

3.2.1. Resíduo agroindustrial do abacaxi e suas aplicações

O Brasil destaca-se na fruticultura devido às suas condições climáticas e vasta extensão territorial. Entretanto, ocorre também muito desperdício, desde a colheita ao processamento dos frutos. Dessa forma, a aplicação dos resíduos das agroindústrias torna-se essencial, levando em conta a conservação dos recursos naturais e agregação de valor a uma condição antes vista como um problema sem solução. As indústrias de suco concentrado de fruta, como a de abacaxi, geram muitos resíduos durante o processamento da matéria-prima. Apenas 63% da planta é comercializável, o restante (casca, caule, coroa, talos e folhas) é considerado resíduo agrícola, com grande capacidade para a produção de bromelina, por exemplo, com valor comercial e biotecnológico elevado (FERREIRA et al, 2017).

Também a indústria de conservas de abacaxi gera grande quantidade de resíduos que são desperdiçados. Aproximadamente, de 65 a 75% do fruto abacaxi é desperdiçado durante sua industrialização (NEVES, 1995; BORGES et al, 2004). Dessa forma, como a porção comestível da fruta representa apenas de 22,5 a 35%, o restante é descartado pela agroindústria e esses resíduos, como cascas, centros, aparas e outras partes servem para obtenção de subprodutos, como material base para alimentação animal e elaboração de geleias (RODRIGUES E SILVA; ZAMBIAZI; 2008).

A utilização do resíduo na elaboração de geleias possui uma alta contribuição na eliminação de desperdícios e redução de custos, pois dispensa o uso de pectina, sendo uma alternativa de baixo custo, boa composição nutricional e contribuição para redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado dos subprodutos na natureza (Pontes et al.,2018).

Mais uma forma de reutilizar o resíduo agroindustrial do abacaxi é na utilização da farinha a partir da casca de abacaxi como meio de cultura no crescimento de bactérias e leveduras, conforme o trabalho de Silva et al. (2023). O autor verificou que todas as leveduras cresceram no meio ágar-casca de

abacaxi e que apenas 30% das bactérias obtiveram crescimento no meio de cultura padrão. Assim, a farinha elaborada a partir da casca de abacaxi foi eficiente na elaboração de meios de cultura de crescimento de leveduras, mas ineficiente para crescimento de bactérias, devido a uma possível ação inibitória da bromelina.

A utilização de resíduo de abacaxi na elaboração de barras alimentícias também é uma alternativa. Conforme Paiva et al. (2012), a utilização de subprodutos como ingredientes de barras alimentícias é muito importante devido ao aproveitamento obtido, valor nutricional agregado ao produto através das fibras e redução dos custos de produção.

O trabalho de Abílio et al. (2009) constatou que as cascas são consideradas melhor fonte de bromelina que as polpas, reforçando a importância dos resíduos industriais do processamento do abacaxi para a obtenção de bromelina, contribuindo para a redução de resíduos lançados no meio ambiente e promovendo mais uma fonte de receita para indústrias que utilizam bromelina como matéria prima.

De acordo com MIRI et al. (2019), a farinha da casca do abacaxi possui valores de lipídeos superiores aos da farinha de trigo, podendo, assim, ser agregada a novos produtos alimentícios na panificação e na indústria de alimentos. Corroborando, dessa forma, com o trabalho de Oliveira, Oliveira e Mendes (2021), cujos resultados da avaliação das propriedades físico-químicas e da composição nutricional da farinha da casca de abacaxi como forma de aproveitamento do subproduto do processamento do abacaxi foram positivos, em que a farinha apresentou elevado teor de fibras em comparação com a farinha de trigo branca, com a possibilidade de seu uso para suplementação alimentar, enriquecendo nutricionalmente receitas de novos produtos ou para consumo *in natura*.

A aceitação e avaliação sensorial do bolo acrescido de suco de resíduos de abacaxi (cascas, talos, coroa e miolos do abacaxi), visando o aumento de ingestão de fibras na dieta alimentar, foi estudado por Martin et al (2012). Verificou-se que o produto elaborado com resíduos do abacaxi foi bem aceito, considerado um produto barato, de fácil preparo, boa aceitabilidade em relação ao sabor, textura, aroma e aparência e teores de fibra maiores que o bolo de abacaxi convencional sem acréscimo de nenhuma fonte de fibra.

Além de aplicações nutricionais, o resíduo agroindustrial de abacaxi pode ser utilizado em cosméticos. A enzima bromelina encontrada no resíduo é dermocalmante, trata acne, rugas e pele seca e possui o benefício de acelerar a recuperação da pele após tratamentos estéticos. De acordo com o trabalho de Costa (2023), há potencial do uso da casca de abacaxi para formulação de cosméticos esfoliantes, considerando-se os resultados obtidos de estabilidade, teor de ativos umectante, emolientes e teor nutricional satisfatório para uso em cosméticos.

No trabalho de CORREA et al. (2018), foram utilizados a casca e o miolo do abacaxi para obter um sabonete esfoliante com fibra de abacaxi. Os resultados obtidos através de controle visual e controle físico-químico demonstraram que os sabonetes apresentaram boa estabilidade e funcionalidade.

O bagaço de abacaxi possui alta efetividade na produção de ácido cítrico. Sua bioconversão com farelo de soja tem sido estratégica para a indústria alimentícia na obtenção de antioxidantes fenólicos, que inibem a oxidação e aumentam a vida de prateleira e segurança dos alimentos (Woiciechowski et al., 2015).

Os resíduos agroindustriais do abacaxi também são amplamente utilizados na alimentação animal, seja na forma de silagem ou feno, diminuindo gastos e sendo uma boa fonte de fibra para ganho de peso. Como são ricos em açúcares, possuem excelente palatabilidade e aceitabilidade pelos animais, além disso, seu alto teor de fibras é interessante para ruminantes, mas há ressalvas para animais monogástricos, que não processam alimentos fibrosos. (PAULA; JÚNIOR, 2019; SOUZA et al, 2021).

A indústria de bebidas também pode ser beneficiada com o uso dos subprodutos de abacaxi. O trabalho de Araújo et al. (2009) avaliou as características de um vinho produzido com abacaxi, que obteve resultados satisfatórios, semelhante à de vinhos de uvas quanto ao pH, acidez e etanol. O trabalho de ALIAN e MUSSENGUE (1976) analisou a viabilidade de um vinho com os resíduos de abacaxi, com resultados organolépticos semelhantes ao vinho comum. Além de vinhos, os resíduos de abacaxi podem ser utilizados na produção de fermentados, com graduação alcoólica de 4 a 14% (v/v) em volume,

e produção de vinagre, obtendo bons resultados e reduzindo o desperdício e impactos ambientais (DINIZ, 2017; ALVARENGA, 2014).

3.3. Métodos de extração

A extração de componentes orgânicos encontrados em organismos vivos, como plantas e frutas, existe desde a pré-história até meados do século XIX. Atualmente, vários compostos orgânicos que são extraídos de fontes naturais fazem parte do cotidiano, por exemplo, medicamentos, pigmentos, perfumes etc. (GONZÁLEZ; ANJOS, 2023). Há métodos de extração a quente, como, por exemplo, infusão, decocção e extração por Soxhlet, em que o aumento de temperatura é utilizado para facilitar a extração, aumentando a solubilidade das substâncias no solvente e existe a extração a frio, em que o calor não é utilizado para obter os compostos de interesse, destacam-se: percolação e maceração (SIMÕES, 2007).

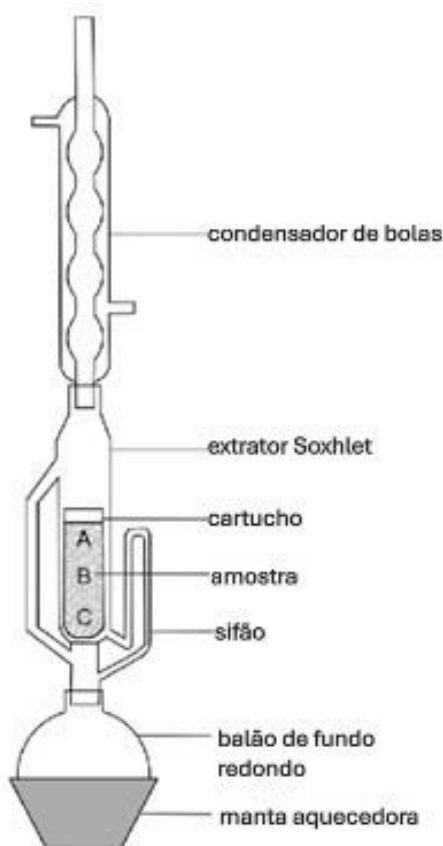
Existem diversos métodos de extração sólido-líquido que resultam em extratos com concentrações e características diferentes, a depender da parte que se quer extrair, textura e dureza do vegetal (SIMÕES et al, 2007; NAVARRO, 2005). Para otimizar a extração, é importante se atentar à fatores como agitação, temperatura e tempo, pois o processo de extração depende, majoritariamente, dos fenômenos de difusão (SIMÕES et al, 2007).

Além disso, a renovação do solvente em contato com o vegetal deve ser considerada de forma para aumentar a velocidade do processo, assim como o aumento da temperatura que, em muitos casos, provoca o aumento de solubilidade. Portanto, em geral, a extração a quente é mais eficaz que a extração a frio. E, por fim, o tempo é um fator que dependerá das características do material, sua rigidez e das características do composto a ser extraído, solvente escolhido e técnicas utilizadas para aprimorar a operação (SIMÕES et al, 2007).

3.3.1. Método Soxhlet

De acordo com PAVIA et al. (2009), o método de extração sólido-líquido realizado através de uma vidraria especial chamada Soxhlet é utilizado quando o composto que se deseja extrair é ligeiramente solúvel no solvente extrator, assim, é utilizada a técnica de extração contínua, em que o solvente é continuamente reciclado, evitando o uso de grandes quantidades de solvente, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Extrator Soxhlet



Fonte: Adaptado de Shinzato, 2010

O funcionamento do extrator Soxhlet ocorre através das seguintes etapas:

- O substrato a ser extraído é colocado na câmara central do Soxhlet, embrulhado em papel de filtro;
- O solvente extrator é colocado no balão de fundo redondo;
- A manta aquecedora aumenta a temperatura do balão até a temperatura de ebulição, o solvente é evaporado e sobe pelo braço lateral, encontra o

condensador resfriado e é condensado, gotejando sobre o substrato a ser extraído;

- O solvente entra em contato com o substrato e é realizada a extração do material, enquanto isso a câmara central é preenchida com o solvente;
- Quando o solvente atinge a altura do sifão, ele volta para o balão de vidro através da sifonação, mas, agora, com as substâncias extraídas;
- Assim, com o solvente no balão, o processo é reiniciado e é possível realizar quantas extrações forem necessárias. Por fim, desliga-se a manta aquecedora, o extrato no balão é coletado, o substrato descartado e o solvente removido por destilação.

3.3.2. Método decocção

A decocção é um método de extração que visa manter o material vegetal em contato com o solvente em ebulição por um determinado período. Trata-se de uma técnica empregada, geralmente, quando o material vegetal é duro. O uso dessa técnica depende do extrato que se deseja obter e sua sensibilidade à temperatura, porque grande parte dos compostos ativos são alterados quando há aquecimento prolongado (SIMÕES et al, 2007).

3.3.3. Método infusão

Neste tipo de extração, os solventes são levados até a temperatura de ebulição e, após o processo de ebulição, são vertidos em recipiente com o material vegetal que se deseja extrair o composto bioativo e tampa-se o recipiente por um determinado período para manter a temperatura por mais tempo (OLIVEIRA et al, 2016). Aplica-se às partes vegetais de estrutura mole, de forma que, possam ser mais facilmente penetradas e extraídas pelo solvente extrator através do corte de suas partes (SIMÕES, 2007).

3.3.4. Método maceração

A maceração é um método convencional, com ampla utilização por ser simples e de baixo custo. Consiste em deixar o material vegetal em contato com

um solvente orgânico durante determinado tempo e sob agitação para extração dos compostos de interesse. Não há alteração na temperatura, sendo realizado em temperatura ambiente e sem renovação do solvente (MELECCHI, 2005; BISCAIA, 2007).

3.3.5. Etanol como solvente extrator

O etanol, também chamado álcool etílico, é uma substância orgânica obtida da fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução de acetaldeído e é amplamente utilizado como solvente extrator para obtenção de óleos e compostos bioativos de plantas (DENT et al, 2015). Na extração de compostos de plantas e óleos, é uma alternativa ao hexano e pode ser utilizado para extração com o benefício de ser mais barato e extrair com maior qualidade e eficiência. Na extração de compostos bioativos em plantas, o etanol misturado com a água forma o etanol aquoso, capaz de extrair uma gama de compostos polares, tais como os polifenóis.

Conforme ALMEIDA (2018), a utilização do etanol, como alternativa ao hexano no processo de extração comercial de óleos vegetais possui vantagem em relação à sua maior segurança operacional, baixa toxicidade. Além disso, possui alta produção, devido ao amplo uso como biocombustível. Destacam-se, ainda, como vantagens do uso de etanol como solvente extrator: derivado de fonte renovável, biodegradável e não tóxico; pequena polaridade; requer menor refinamento e há recuperação do solvente com baixo gasto de energia.

4. ESCALONAMENTO

O escalonamento, também chamado de *scale up* na engenharia química, consiste em reproduzir resultados técnicos obtidos em escala laboratorial (miligramas ou gramas) para escalas maiores (quilos ou centenas de quilogramas) por meio de operações químicas e/ou físicas. Esse processo é essencial para determinar a viabilidade técnica do processo, fornecendo as informações necessárias para transformar uma tecnologia ou produto de laboratório em um novo produto comercial pronto para o mercado (ALVES et al; 2024).

O presente trabalho se fundamentou nos dados experimentais coletados no trabalho de conclusão de curso de Megda e Boldrin (2019), realizado em ambiente laboratorial.

Neste trabalho, foram obtidos extratos de substâncias bioativas a partir do resíduo agroindustrial do abacaxi, utilizando-se diferentes tipos de extrações sólido-líquido. Os resultados e as informações obtidas no trabalho de Megda e Boldrin (2019) serviram como base de dados e ponto de partida essencial para as investigações e desenvolvimentos no presente projeto.

Para a obtenção do resíduo de abacaxi, utilizou-se um abacaxi processado por microprocessador, sendo selecionadas apenas a casca e coroa do fruto, a fim de produzir um resíduo com pouca quantidade de água e açúcar.

A massa utilizada em cada método foi 5 g de resíduo para 100 ml de solvente extrator (etanol). O período em cada processo foi 15 minutos (exceto Soxhlet), e todos os procedimentos foram realizados em triplicata, para avaliar a reprodutibilidade.

O método de extração sólido-líquido mais eficiente foi a decocção, um método realizado a quente e com simples procedimento, em que o material vegetal é aquecido juntamente com o solvente, o que pode justificar sua eficiência. A massa média do extrato obtida pela decocção foi de 0,026 g, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Massa dos extratos e eficiência de cada método de extração do resíduo de abacaxi.

Método	Massa média (g) + σ	Eficiência (%)
Maceração	0,02038 ± 0,00303	0,38
Infusão	0,02141 ± 0,00253	0,42
Decocção	0,02654 ± 0,00453	0,52
Soxhlet	0,02111 ± 0,00362	0,40

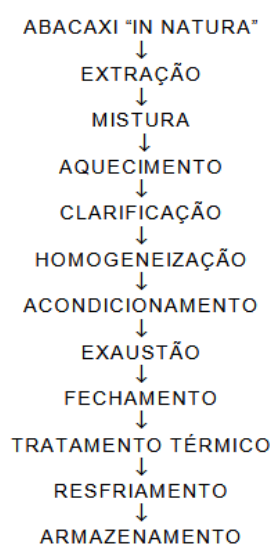
Fonte: MEGDA; BOLDRIN, 2019

A seguir, apresentam-se os resultados e discussões do presente trabalho: um projeto em escala industrial, utilizando os dados obtidos em laboratório.

4.1. Descritivo do processo

Antes mesmo do processo ao qual se dispõe o presente trabalho, existe a produção do suco de abacaxi, que servirá de base para a obtenção do resíduo agroindustrial a ser reutilizado para obtenção de compostos bioativos. De forma resumida, o processamento de suco de abacaxi é desenvolvido conforme as etapas descritas na figura 5.

Figura 5 – Fluxograma de processamento de suco de abacaxi.



Fonte: Granada et al (2004).

O processo de produção, que se inicia com o abacaxi "in natura", compreende primeiramente a extração do suco, seguida pela mistura de ingredientes e pelo subsequente aquecimento. Após essa fase térmica, o produto passa pela clarificação para remoção de partículas e pela homogeneização para uniformidade. Em seguida, o suco é submetido ao acondicionamento em embalagens, seguido pela fase de exaustão (remoção de ar) e pelo fechamento hermético do recipiente. Finalmente, o produto fechado recebe o tratamento térmico (esterilização ou pasteurização), sendo então resfriado rapidamente antes de ser encaminhado para o armazenamento.

Observa-se na Figura 5 que a etapa de extração que precede a mistura exerce um importante papel para o presente trabalho, tendo em vista que é nesta etapa em que o resíduo do abacaxi é separado do suco e pode ser utilizado para obtenção de compostos bioativos.

Para estimar a massa do extrato obtido durante o processo, utilizou-se os resultados do trabalho laboratorial de MEGDA; BOLDRIN (2019), em que a decocção foi o melhor método de extração, conforme Tabela 3, anteriormente apresentada no item 4 sobre escalonamento. Assim, obteve-se que a extração de 5 g de resíduo de abacaxi com 100 ml de etanol, resultam em 0,026 g de extrato (seco) rico em compostos bioativos.

Os dados do trabalho em laboratório (Megda & Boldrin, 2019), indicaram que a extração por decocção é a mais eficiente. Assim, a quantidade média de massa extraída em cada batelada será de, aproximadamente, 0,52% do valor da massa de resíduo de abacaxi alimentado no início da extração.

A elaboração do processo a seguir baseia-se na aplicação de operações sobre dados quantitativos de matérias-primas e produtos, os quais foram obtidos em ambiente laboratorial.

4.1.1. Recepção e armazenamento da matéria-prima

Estimou-se que, no processo de recebimento e armazenamento de resíduo de abacaxi, a planta de produção realizará a compra em larga escala dos subprodutos das indústrias certificadas de sucos de abacaxi da região que passam pela análise de qualidade, para garantir que o material vegetal é seguro para o consumo. O transporte será realizado por meio de caminhões-tanque

mantendo o material vegetal em condições que o mantenham preservado. O material obtido consiste em restos de abacaxi, constituídos de casca, coroa, talo central e folhas.

Próxima à área de processamento, a massa de resíduo de abacaxi é transferida para um tanque de armazenamento de aço inox temporário T1 (Figura 6), sob temperatura ambiente.

Figura 6: Tanque inox de armazenamento.



Fonte: MXM Tanques de aço inox (2025).

4.1.2. Armazenamento do solvente

Assim como o resíduo agroindustrial, o etanol também será comprado em larga escala de fornecedores qualificados, com pureza de 96% (v/v). O etanol com concentração de 70% possui capacidade de extração maior que o do etanol puro, conforme os estudos de Spigno et al. (2007) e SEFFRIN (2017), que apresentam que as misturas de solventes e água são mais eficientes para a extração de compostos fenólicos e bioativos do que o sistema de solvente único. Entretanto, tendo em vista a eficiência econômica durante a extração, avaliou-se que a utilização do etanol puro evita a inclusão de mais operações unitárias no processo, o que encareceria o produto, assim utiliza-se o etanol puro como solvente. O transporte do solvente também ocorrerá através de caminhões-

tanque até o tanque de armazenamento T2.

Algumas medidas de segurança serão tomadas para garantir que o transporte do solvente seja adequado: verificação da integridade do caminhão, prevenção de vazamentos, uso de equipamentos de proteção individual, garantia de boa ventilação no local, aquisição de dispositivos contra incêndios, como extintores e alarmes, além do controle de acesso do local restrito para pessoas autorizadas.

O solvente será mantido em um tanque encamisado, evitando vazamentos e otimizando a contenção do líquido.

4.1.3. Extração sólido-líquido

Como o processo definido para a obtenção do resíduo foi a decocção, estimou-se que o resíduo do abacaxi será transportado por esteira até o tanque de ebulição (TE) com o solvente (previamente armazenado no tanque T2) na quantidade estabelecida em laboratório através de esteira. O transporte do etanol é feito através de tubulações e uma bomba centrífuga (B1).

A ebulição acontecerá através de uma resistência elétrica, até chegar no ponto de ebulição do etanol, devido ao fato de 94% da mistura ser composta de etanol (percentual calculado considerando 5 gramas de resíduo para 78,9 gramas de etanol). A mistura ficará em ebulição para extrair os compostos bioativos durante 2 horas.

4.1.4. Filtração

Após a ebulição, a mistura passará por filtração, para separar a parte líquida (extrato etanólico rico em substâncias bioativas) da parte sólida (resíduo do abacaxi). Tendo em vista o uso em operações de filtragem industrial, foi escolhido pra esse processo o filtro prensa (Figura 7).

No processo de extração do bagaço de abacaxi com etanol, o filtro-prensa é operado em batelada após o tempo de residência no extrator, durante 3 horas. A mistura de etanol e extrato é bombeada sob pressão elevada para as câmaras do filtro-prensa, forçando o líquido através dos panos filtrantes, enquanto as partículas sólidas do bagaço ficam retidas. Após a formação completa da torta,

um volume de solvente limpo pode ser levado para a etapa de lavagem, deslocando esse etanol residual preso nos poros da torta, o que favorece na recuperação máxima do solvente e na viabilidade econômica do processo. Finalmente, a pressão é liberada, as placas são abertas e a torta de bagaço esgotada (agora com baixo teor de solvente) é descartada, concluindo o ciclo (FILTRO... 2025).

Figura 7: Filtro prensa.



Fonte: FILTRO... 2025.

4.1.5. Destilação

Finalizada a filtração, a mistura etanólica é transferida por meio de bomba de vácuo para um destilador (Figura 8), para remover o excesso de etanol e concentrar a solução, para obter um extrato altamente concentrado de substâncias bioativas do abacaxi. O destilador D1 funciona da seguinte forma: reduzindo a pressão sobre o líquido, é possível realizar a destilação, no período de 6 horas, dimensionando o aquecedor com potência suficiente para atender o período proposto, em uma temperatura mais baixa que o ponto de ebulição em pressão normal.

Figura 8: Destilador à vácuo.



Fonte: Wenzhou Lihong Machinery Technology Co., Ltd. (2025).

4.1.6. Armazenamento do produto

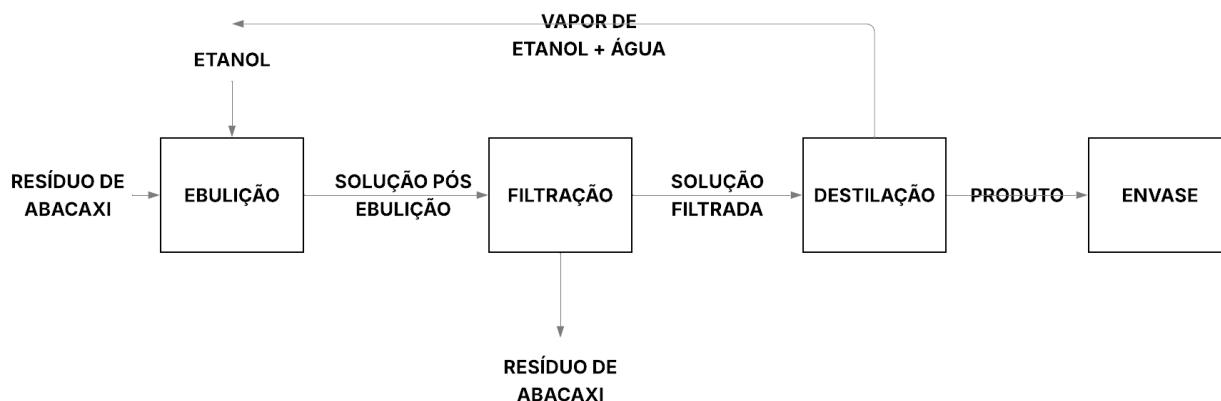
Devido à instabilidade das substâncias bioativas em relação à presença de luz e oxigênio, é necessário realizar o armazenamento em tanque de aço inox, mesmo modelo do tanque de armazenamento do resíduo, conforme figura 6. Após o armazenamento, o produto segue para o processo de envase.

4.2. Fluxograma de blocos

O fluxograma de blocos, ou também, do inglês BFD (*Block Flow Diagram*), é um diagrama simples usado para simplificar a visualização de um processo, com os principais equipamentos e fluxos de um processo. Cada bloco representa uma função do processo e as linhas mostradas com setas indicam a direção do fluxo. Assim é possível formar um ponto de partida e avaliar preliminarmente as principais características do processo, cujos detalhes mais específicos serão desenvolvidos no fluxograma de processos (PFD, *Process Flow Diagram*).

Na Figura 9, está apresentado o fluxograma de blocos do processo de extração de compostos bioativos do resíduo agroindustrial de abacaxi.

Figura 9 - Fluxograma de blocos do processo de extração dos compostos bioativos do resíduo de abacaxi (BFD).



Fonte: autoria própria.

Através da Figura 9, observa-se que o processo se inicia com a entrada do resíduo de abacaxi, previamente moído pelo fornecedor da matéria prima, no processo de ebulição com o solvente etanol.

Após a ebulição, a solução etanólica de resíduo de abacaxi passa pelo processo de filtração, com duas saídas do processo, a massa residual da filtração e a solução filtrada.

A próxima etapa é a destilação, cujo objetivo é separar o etanol do extrato desejado rico em substâncias bioativas do abacaxi. O etanol separado da destilação retorna para a etapa de ebulição em um ciclo que otimiza a utilização do solvente e o produto é envasado.

4.3. Fluxograma de processo (PFD)

O Fluxograma de Processo (PFD - *Process Flow Diagram*) é uma ferramenta fundamental na engenharia, utilizado para representar visualmente o processo de conversão do resíduo agroindustrial do abacaxi em extratos ricos em compostos bioativos.

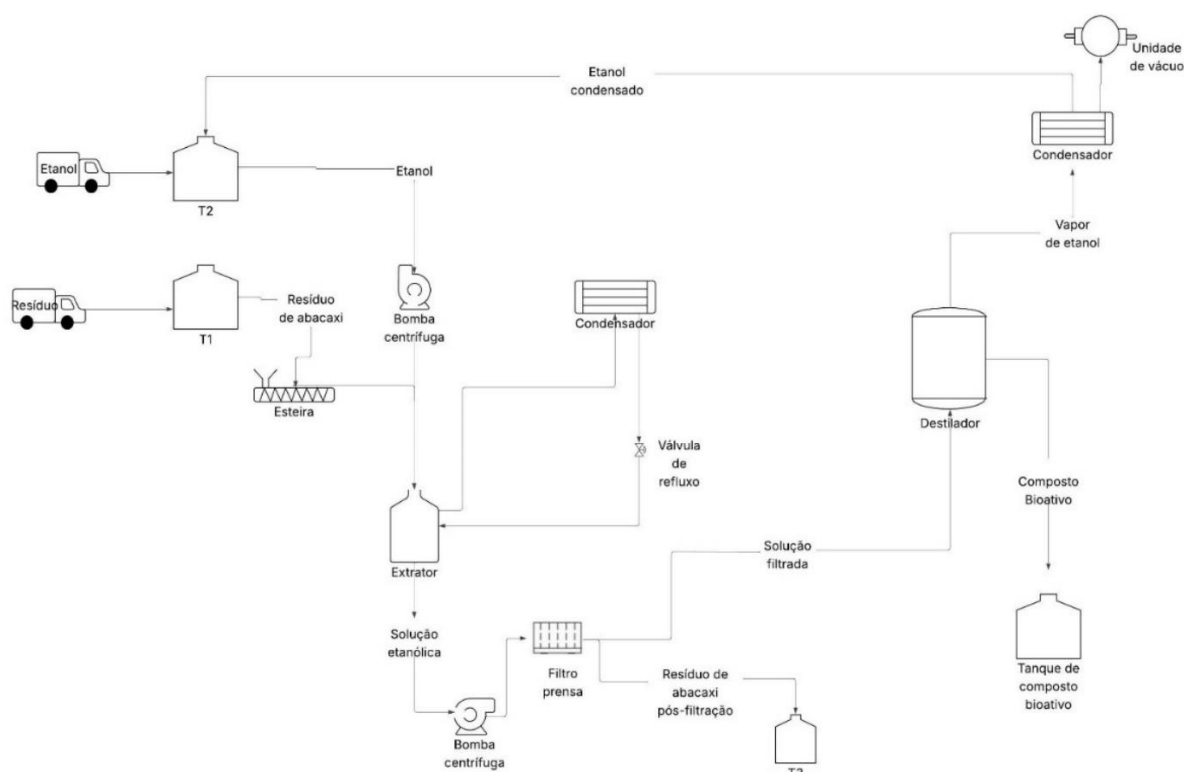
O diagrama simplificado abaixo ilustra as etapas essenciais e a sequência do processo de extração sólido-líquido, desde a entrada da matéria prima e

solvente, passando pelas unidades operacionais chave, como o equipamento de extração (extrator), até as fases de separação (filtração/centrifugação) e concentração final do extrato.

Através da interconexão entre os equipamentos e as correntes de material, o PFD serve como base para o estudo de escalonamento, permitindo a análise dos balanços de massa e energia e o posterior dimensionamento do processo para produção em escala industrial.

Seguem as principais etapas de processo de extração sólido-líquido (decoção) de compostos bioativos do resíduo de abacaxi, utilizando etanol como solvente, seguido pela recuperação do solvente por destilação, conforme a Figura 10.

Figura 10 – PFD do processo de extração.



Fonte: autoria própria.

4.4. Balanço de massa

O balanço de massa é a base de todo projeto de engenharia de processos. Para um processo de extração simples, onde o solvente (etanol)

remove componentes do sólido (resíduo de abacaxi), deve-se considerar a Lei de Conservação da Massa: a massa total que entra deve ser igual à massa total que sai (FELDER, 2005).

Entretanto, para calcular o balanço de massa completo precisa-se de alguns dados cruciais: a quantidade de massa que entra no processo de abacaxi, a quantidade de massa que entra no processo de etanol, a composição do resíduo de abacaxi (percentual de sólidos insolúveis e extratos solúveis) e o rendimento da extração (quanto de extrato o etanol consegue remover). Define-se as seguintes variáveis e massas de entrada, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Variáveis e massas de entrada.

Corrente	Componente	Massa (kg)	Notas
Entrada 1	Bagaço de Abacaxi	$M_{\text{resíduo}} = 0,57 \text{ t}$	Sólido a ser processado.
Entrada 2	Etanol (solvente)	$M_{\text{etanol}} = 9,1 \text{ t}$	Densidade do etanol ($\approx 0,789 \text{ kg/L}$)
Massa Total de Entrada		$M_{\text{entrada}} = 0,57 \text{ t} + 9,1 \text{ t} = 9,67 \text{ t}$	

Fonte: autoria própria.

Sendo as massas de entrada calculadas da seguinte forma:

O produto de desejo do processo é 3 kg de extrato rico em compostos bioativos do resíduo agroindustrial do abacaxi, por batelada. Assim, é necessário obter as massas do resíduo e do solvente etanol que geram 3 kg de extrato.

Foram utilizados 100 ml de etanol juntamente com 5 g do resíduo, para obter 0,026 g de extrato (0,52% de eficiência), através do método de decocção.

O valor desejado em massa é de 3.000 gramas de extrato, por batelada, totalizando em 4 bateladas por dia, o total de 12.000 gramas de extratos, ou seja, 12 kg por dia.

Assim, calcula-se para o obter a massa necessária de resíduo de abacaxi:

$$\frac{0,026 \text{ g}}{5 \text{ g}} = \frac{3.000 \text{ g}}{x \text{ (g)}}$$

$$x = \frac{3.000 \times 5}{0,026}$$

$$x = 576.923,1 \text{ g}$$

$$x = 576,92 \text{ kg}$$

$$x = 0,57 \text{ ton de resíduo de abacaxi}$$

Sucessivamente, calcula-se para obter a massa necessária de etanol:

$$\frac{5 \text{ g}}{576.923,1 \text{ g}} = \frac{78,9 \text{ g}}{x \text{ (g)}}$$

$$x = \frac{576.923,1 \times 78,9}{5}$$

$$x = 9.103.846,518 \text{ g}$$

$$x = 9.103,85 \text{ kg}$$

$$x = 9,1 \text{ ton de solvente etanol}$$

As duas correntes de saída principais do extrator são: sólido esgotado, ou resíduo pós-extração, o sólido que perdeu parte de seus componentes e o extrato líquido, o solvente com os componentes extraídos dissolvidos. Sendo:

- X: Fração mássica dos sólidos insolúveis no bagaço (sempre permanece no sólido).
- Y: Fração mássica dos extratos solúveis no bagaço (açúcares, ácidos etc.).
- R: Rendimento da Extração (fração dos extratos solúveis que foram removidos pelo etanol).

Calculando o sólido esgotado ($M_{\text{sólido esgotado}}$):

A massa de sólido esgotado é composta pelos sólidos insolúveis originais

mais a massa de etanol que fica retida nele.

- Massa de sólidos insolúveis: $M_{\text{resíduo}} \times X = 0,57 \text{ (t)} \times X$
- Massa de solúveis não extraídos: $M_{\text{resíduo}} \times Y \times (1 - R)$
- Massa de etanol retido: $M_{\text{etanol retido}}$ (estimada com base na umidade final do sólido).

$$M_{\text{sólido esgotado}} = (0,57 \text{ [t]} \times X) + (0,57 \text{ [t]} \times Y \times (1 - R)) + M_{\text{etanol retido}}$$

Calculando o extrato líquido (M_{extrato}):

O extrato é composto pelo etanol que não foi retido no sólido, mais os componentes que foram extraídos.

- Massa de Etanol: $M_{\text{etanol}} - M_{\text{etanol retido}} = 9,1 \text{ [t]} - M_{\text{etanol retido}}$
- Massa de Extratos Solúveis Extraídos: $M_{\text{resíduo}} \times Y \times R = 0,57 \times Y \times R$

$$M_{\text{extrato}} = (9,1 \text{ [t]} - M_{\text{etanol retido}}) + (0,57 \text{ [t]} \times Y \times R)$$

Assim, através dos dados obtidos acima, calcula-se a equação do balanço de massa total. A massa total de entrada deve ser igual à massa total de saída:

$$M_{\text{entrada}} = M_{\text{sólido esgotado}} + M_{\text{extrato}}$$

$$9,67 = [(0,57 \times X) + (0,57 \times Y \times (1 - R)) + M_{\text{etanol retido}}] + [9,1 - M_{\text{etanol retido}}] + (0,57 \text{ [t]} \times Y \times R)$$

Observa-se que o termo $M_{\text{etanol retido}}$ se cancela na equação total, demonstrando a conservação da massa total:

$$9,67 \text{ [t]} = (0,57 \text{ [t]} \times X) + (0,57 \text{ [t]} \times Y) + 9,1 \text{ [t]}$$

Assume-se que o resíduo é composto apenas por sólidos insolúveis e

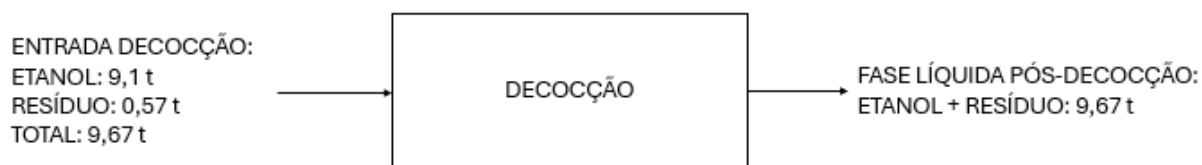
extratos solúveis, assim $X + Y = 1$ e a equação se simplifica para:

$$9,67 \text{ t} = 0,57 \text{ t} + 9,1 \text{ t}$$

$$9,67 \text{ t} = 9,67 \text{ t}$$

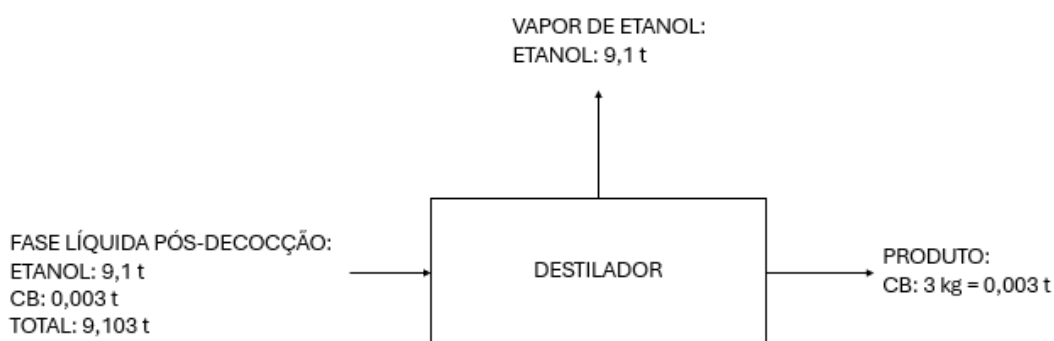
Conclui-se que o balanço de massa se verifica em 9,67 toneladas, entretanto, para determinar a composição e a massa exata de cada corrente de saída (sólido esgotado e extrato em massa) são necessários os valores X (composição), Y (composição), R (rendimento) e M etanol retido (retenção de solvente).

Figura 11: Balanço de massa do processo de decocção.



Fonte: autoria própria.

Figura 12: Balanço de massa do processo de destilação.



Fonte: autoria própria.

4.5. Balanço de energia

O balanço de energia é fundamental para dimensionar trocadores de calor, otimizar custos operacionais e garantir a segurança do processo industrial.

Para o processo de extração de substâncias bioativas do resíduo de abacaxi com solvente etanol, o balanço de energia deve considerar todas as formas de energia que entram e saem do sistema solvente-extrator.

O balanço de energia geral para um sistema em estado estacionário, em que as condições não mudam com o tempo, é dado por:

$$\sum E \text{ entrada} - \sum E \text{ saída} = \Delta E \text{ sistema}$$

Em um processo contínuo (estado estacionário), $\Delta E \text{ sistema} = 0$.

A energia que entra e sai do sistema (neste caso, o tanque de extração) é composta por:

- Entalpia (H): Energia associada ao fluxo de massa (correntes de entrada e saída).
- Calor (Q): Energia trocada entre o sistema e o ambiente (aquecimento ou resfriamento).
- Trabalho (W): Energia associada ao trabalho mecânico (bombeamento ou agitação).

Assumindo que o trabalho de agitação (W) é desprezível e que as energias cinética e potencial são nulas (condição comum em tanques de extração):

$$\dot{Q} = \sum_{saída} \dot{m} \cdot H - \sum_{entrada} \dot{m} \cdot H$$

Deve-se realizar a análise das parcelas de energia, onde \dot{Q} (calor necessário) é a soma dos seguintes componentes que afetam a temperatura do extrator. Seguem as etapas do cálculo das parcelas de energia descritas abaixo:

A primeira etapa inicia-se pela energia das correntes de entrada e saída (entalpia), sendo a principal parcela. Ela representa a energia necessária para elevar as correntes de entrada (resíduo e etanol) da temperatura inicial para a temperatura de extração (T_{ext}).

$$\sum (mH) = \dot{m}_{etanol} \cdot (H_{etanol,Text} - H_{etanol,Tref}) + \dot{m}_{resíduo} \cdot (H_{resíduo,Text} - H_{resíduo,Tref})$$

Onde:

- $H = C_p \cdot \Delta T$ [J] (considerando o calor sensível).
- Como o etanol e o resíduo entram à temperatura ambiente e a extração é feita a uma temperatura elevada (temperatura de vaporização do etanol é 78 °C, à pressão de 1 atm), a maior parte da energia será para aquecer essas massas.

Assim:

$$\dot{Q}_{\text{aquecimento}} \approx (\dot{m}_{\text{etanol}} \cdot C_{p,\text{etanol}} + \dot{m}_{\text{resíduo}} \cdot C_{p,\text{resíduo}}) \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{ambiente}})$$

A segunda etapa é obter o calor de mistura ou calor de solução (\dot{Q}_{mistura}), quando o etanol se mistura com a água e outras substâncias presentes no resíduo, pode ocorrer uma liberação ou absorção de calor. A mistura de etanol com água é exotérmica, liberando calor. A dissolução dos extratos pode ser endotérmica ou exotérmica, há, portanto, necessidade de dados termodinâmicos experimentais, pois deve-se considerar que o resíduo pode ter umidade e a mistura com etanol pode resultar em um efeito exotérmico da mistura de etanol e água. Para efeitos práticos, será considerado apenas o valor de calor específico do etanol pois há majoritariamente etanol na solução.

A terceira etapa é o calor de reação ou calor de dissolução ($\dot{Q}_{\text{extração}}$). Este calor é associado ao processo físico-químico de dissolver as substâncias bioativas. Na maioria das extrações sólido-líquido, este valor costuma ser pequeno em comparação com o calor de aquecimento, mas não deve ser desprezado em um projeto detalhado.

A quarta e última etapa refere-se às perdas de calor (\dot{Q}_{perdas}), ou seja, o calor perdido para o ambiente através da parede do extrator (perdas por convecção e radiação).

$$\dot{Q}_{\text{perdas}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{ambiente}}) \text{ [J]}$$

- U : coeficiente global de transferência de calor do tanque.
- A : Área de superfície do extrator.

Assim, temos a equação de balanço de energia, que detalha a energia

que o trocador de calor precisa fornecer (\dot{Q}_{total}), sendo a soma de todos os termos:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{aquecimento} + \dot{Q}_{mistura} + \dot{Q}_{extração} + \dot{Q}_{perdas}$$

Os principais fatores a se calcular para o dimensionamento são: os valores de calores específicos (C_p), essenciais para o cálculo do processo de aquecimento; temperatura de extração (T_{ext}), sendo fator dominante, pois temperaturas mais altas aumentam as perdas e exigem mais energia para o aquecimento; e, as vazões mássicas (\dot{m}), quanto maior a vazão das correntes de entrada (kg/h), maior será a demanda total de energia.

Para realizar o dimensionamento do extrator, usa-se o balanço de balanço de massa e o volume do extrator usando as massas de entrada para uma única batelada (lote).

Tabela 5: Balanço de massa (entrada).

Corrente	Componente	Massa (t)	Notas
Entrada 1	Bagaço de abacaxi (M_B)	0,57	Sólido a ser processado.
Entrada 2	Etanol (M_E)	9,1	Solvente.
Massa total de entrada	Bagaço de abacaxi e etanol	9,67	Conservação da massa.

Fonte: autoria própria.

Verificando a razão de massa sólido/solvente (RS/L) desta batelada:

$$R \text{ S/L} = M_B / M_E = 0,57 \text{ t} / 9,1 \text{ t} \sim 1:15,96$$

Esta razão de solvente impactará no tamanho do equipamento e na concentração final do extrato.

Usa-se as massas obtidas e os parâmetros de densidade abaixo, para calcular o dimensionamento do volume do extrator.

Tabela 6: Parâmetros de densidade.

Variável	Símbolo	Valor
Densidade aparente do bagaço	$\rho_{\text{bagaço aparente}}$	0,9 kg/L = 900 kg/m ³
Densidade do etanol	ρ_{etanol}	0,789 kg / L = 789 kg / m ³

Fonte: autoria própria.

Calculando os volumes individuais do bagaço de abacaxi e etanol, tem-se:

Volume do bagaço de abacaxi (V_B):

$$V_B = \frac{ME}{\rho_{\text{bagaço aparente}}} = \frac{570 \text{ kg}}{900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,63 \text{ m}^3$$

Volume do bagaço de etanol (V_E):

$$V_E = \frac{ME}{\rho_{\text{etanol}}} = \frac{9.100 \text{ kg}}{789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 11,53 \text{ m}^3$$

Volume total da batelada:

$$V_{\text{batelada}} = V_B + V_E = 0,63 \text{ m}^3 + 11,53 \text{ m}^3 = 12,16 \text{ m}^3$$

Assim, temos que o volume do projeto do extrator será obtido através do valor do volume do bagaço de abacaxi e solvente etanol, somado a um fator de segurança de 20%.

$$V_{\text{extrator}} = V_{\text{batelada}} \times F_{\text{segurança}} = 12,16 \text{ m}^3 \times 1,2 = 14,59 \text{ m}^3.$$

Calculando a geometria do extrator cilíndrico em escala industrial, temos a proporção geométrica de $H/D = 1,2$ (Altura/Diâmetro), assim:

$$V_{\text{extrator}} = 0,3 \pi D^3$$

$$D^3 = V_{\text{extrator}} / 0,3 \pi$$

$$= 14,59 \text{ m}^3 / 0,3 \times 3,14 = 15,49 \text{ m}^3$$

$$D = \text{raiz cúbica de } 15,49 \text{ m}^3 = 2,49 \text{ m}$$

$$H = 1,2 \times D = 1,2 \times 2,49 = 2,98 \text{ m}$$

Assim, as dimensões do extrator para a batelada com 0,57 t de bagaço de abacaxi são:

- Volume total do projeto: 14,59 m³.
- Diâmetro: 2,49 metros.
- Altura: 2,98 metros.

Voltando ao balanço de energia, para dimensionar o sistema de aquecimento e determinar o consumo de utilidades, parte-se dos dados calculados:

- Massa de bagaço (M_B): 570 kg
- Massa de etanol (M_E): 9.100 kg
- Tempo de ciclo (t_{ciclo}): 3 h
- Vazão mássica Total (\dot{m}_{total}): $(570 + 9.100)/3 \approx 3.223$ kg/h
- Volume do extrator (V_{ext}): $\approx 14,59$ m³

Considera-se o sistema em estado estacionário no ponto de operação, ou o balanço de um processo em batelada (lote), onde o calor (Q) é fornecido para atingir a temperatura desejada (T_{ext}).

O calor total necessário (Q_{total}) é dividido em três componentes principais:

$$Q_{total} = Q_{sensível} + Q_{mistura} + Q_{perdas}$$

Primeiro, calcula-se o calor sensível necessário ($Q_{sensível}$). Este é o calor necessário para elevar a temperatura de todas as massas de entrada (bagaço e etanol) da temperatura ambiente (T_{amb}) até a temperatura de extração (T_{ext}).

Tabela 8: Dados estimados.

Variável	Símbolo	Valor assumido	Unidade	Notas
Temperatura ambiente	T_{amb}	25	°C	Temperatura de entrada.
Temperatura de extração	T_{ext}	78	°C	Típica para extração com etanol.
ΔT		53	°C	$(T_{ext} - T_{amb})$.
$C_{p,Etanol}$		2,44	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	Calor específico do etanol.
$C_{p,Bagaço}$		3,68	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	Estimado (inclui umidade do bagaço).

Fonte: autoria própria.

$$Q_{sensível} = (M_E \cdot C_{p,E} \cdot \Delta T) + (M_B \cdot C_{p,B} \cdot \Delta T)$$

$$Q_{sensível} = (9.100 \text{ kg} \cdot 2,44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 53^\circ\text{C}) + (570 \text{ kg} \cdot 3,68 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 53^\circ\text{C})$$

$$Q_{sensível} = (1.176.812 \text{ kJ}) + (111.172 \text{ kJ})$$

$$Q_{sensível} \approx 1.287.984 \text{ kJ}$$

Em seguida, calcula-se o calor de mistura ($Q_{mistura}$). A mistura de etanol e água é exotérmica (libera calor). Como o bagaço tem água e o etanol pode ser anidro, haverá liberação de energia que reduz a necessidade de aquecimento. O bagaço de abacaxi tem uma alta umidade. Assumindo que 5% da massa total de bagaço é água livre que se mistura com o etanol, tem-se:

$$\text{Massa de H}_2\text{O} \approx 570 \text{ kg} \times 0,05 = 28,5 \text{ kg}.$$

Utilizando um valor conservador de calor liberado de $\approx 700 \frac{\text{J}}{\text{g de água}}$ misturada ao etanol: $700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (variação alta dependendo da concentração final).

$$Q_{mistura} = M_{\text{água}} \cdot \Delta H_{mistura,\text{água}/\text{etanol}}$$

$$Q_{mistura} = 28,5 \text{ kg} \cdot \left(-700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) \approx -19.950 \text{ kJ}$$

O sinal negativo indica que esta energia é liberada pelo sistema, ajudando no aquecimento.

Por fim, calcula-se as perdas de calor (Q_{perdas}). O calor perdido para o ambiente durante o tempo que a batelada permanece na temperatura elevada.

Tabela 9: Dados para perdas de calor.

Variável	Símbolo	Valor Assumido	Unidade	Notas
Coefficiente de Transf. (U)	U	1,5	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	Reator isolado (típico).
Área Superficial (A)	A	$\approx 23,28 \text{ m}^2$ (área do cilindro é de 33 m^2 , porém a área de troca de calor é menor)	m^2	Área do cilindro: 33 m^2 $D = 2,49\text{m};$ $H = 2,98 \text{ m}.$
Tempo de Extração	t_{res}	2	h	Perdas ocorrem durante a fase quente.

Fonte: autoria própria.

Calcula-se o calor perdido (Energia total perdida por batelada). Sendo:

$$\text{Potência perdida}(P_{perdas}) = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$P_{perdas} = 1,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 23,28 \text{ m}^2 \cdot 53^\circ\text{C} = 1.850,71 \text{ W} = 1,85 \text{ kW}$$

$$Q_{perdas} = P_{perdas} \cdot t_{res} \quad Q_{perdas} = 1,85 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 2 \text{ h} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \approx 11.376 \text{ kJ}$$

O calor total que deve ser fornecido pelo sistema de aquecimento é:

$$Q_{total} = Q_{sensível} + Q_{perdas} - |Q_{mistura}|$$

$$Q_{total} = 1.287.984 \text{ kJ} + 11.376 \text{ kJ} - 19.950 \text{ kJ}$$

$$Q_{total} \approx 1.279.410 \text{ kJ por batelada}$$

Em seguida, deve-se calcular a demanda média de potência (fluxo de calor).

Para dimensionar a utilidade, calcula-se a demanda de potência média durante o tempo de aquecimento (que é menor que o tempo total do ciclo, t_{ciclo}).

Assumindo que o aquecimento do lote é feito em 1 hora (3600 s):

$$\text{Potência média de aquecimento}(P_{média}) = \frac{Q_{total}}{t_{aquecimento}}$$

$$P_{média} = \frac{1.279.410 \text{ kJ}}{3600 \text{ s}} \approx 355,39 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \text{ ou } 355,4 \text{ kW}$$

Assim, conclui-se pelo balanço de energia que para aquecer o lote de 0,57 t de bagaço e 9,1 t de etanol de 25°C a 78°C:

- Energia total requerida por batelada: $\approx 12,8 \text{ MJ}$;
- Potência média de aquecimento (em 1 hora): $\approx 355,4 \text{ kW}$.

Esta potência de 355,4 KW é o valor para o dimensionamento da superfície de troca de calor do extrator e para determinar a vazão de vapor de água necessária.

4.6. Lista de equipamentos e estimativa de custos

Para a listagem de equipamentos e estimativa dos custos, foram utilizados dados da literatura, com base no livro *Process Equipment Cost Estimation* (Lyons, 2002) e em *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes* (Turton et al. 2018). Na Tabela 10, estão apresentados os equipamentos, equipamentos necessários, suas quantidades e especificações técnicas para a execução do presente trabalho.

Importante ressaltar que foram considerados apenas os custos de compra dos equipamentos, sem considerar construção e instalações elétricas.

Tabela 10 – Estimativa de custos dos equipamentos e instrumentação.

Equipamento	Quantidade	Custo por unidade
Tanque de armazenamento	4	R\$100.000,00
Esteira	1	R\$1.000.000,00
Extrator	1	R\$250.000,00
Filtro prensa	1	R\$30.000,00
Condensador	2	R\$250.000,00
Bomba de vácuo	1	R\$3.200,00
Destilador	1	R\$250.000,00
Bomba centrífuga	2	R\$10.000,00
Válvula de refluxo	1	R\$4.000,00

Fonte: autoria própria.

Com base nos valores estimados para os equipamentos e instrumentação, é possível determinar o custo total dos equipamentos utilizados no processo, resultando em um valor de R\$ 2.457.200,00.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a viabilidade técnica e alto potencial econômico-ambiental da valorização do resíduo agroindustrial do abacaxi, como fonte de compostos de alto valor agregado (compostos bioativos, fenólicos e antioxidantes).

O projeto conceitual de extração em escala industrial de compostos bioativos comprovou a eficácia da técnica em promover o aproveitamento de resíduos com o uso de solventes não-tóxicos, apesar do custo elevado dos equipamentos, sendo este um desafio a ser considerado em relação à competitividade do produto.

De forma complementar, o trabalho de escalonamento para a extração de compostos do abacaxi forneceu uma base sólida para a implementação industrial, demonstrando que a avaliação laboratorial de métodos de extração juntamente da elaboração de fluxogramas de processo e balanços de massa e energia são cruciais para a otimização de processos, projetos e redução de custos em Engenharia Química.

Portanto, os resultados indicam que a inovação no setor agroindustrial deve passar pela integração de processos sustentáveis de reuso dos subprodutos. O sucesso da transição da escala laboratorial para a escala industrial, através de extração sólido-líquido, exige um planejamento rigoroso, que inclui escalonamento e análises econômicas detalhadas, visando a segurança, qualidade, eficiência e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abacaxi. Guia de identificação.

<https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/abacaxi-2/>. Acesso em: 02/12/2024.

Abílio, G. M. F., Holschuh, H. J., Bora, P. S., & Oliveira, E. F. d. (2009). Extração, atividade da bromelina e análise de alguns parâmetros químicos em cultivares de abacaxi. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 31(4), 1117-1121. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452009000400027>

AGROTAMA. **Bomba de Vácuo Estágio Duplo 12 CFM 750 W H 60Hz Bivolt TBV12/Tander**. Disponível em: https://www.agrotama.com.br/produtos/bomba-de-vacu-estagio-duplo-12-cfm-750-w-h-60hz-bivolt-tbv12/tander-101020912,109,985/?gad_source=1&gad_campaignid=205476668. Acesso em: 19 out. 2025

ALIAN, A.; MUSSENGE, H. M. Utilization of pineapple waste for wine making. *Journal of Science and Technology (Zambia)*, v. 1, p. 29-33, 1976.

ALMEIDA, Leonardo de Mendonça. Modelagem de extração por etanol de óleo da farinha de macaúba. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2018.

ALVARENGA, Letícia Mendonça. **FERMENTADOS ALCOÓLICO E ACÉTICO DE POLPA E CASCA DE ABACAXI (Ananas comosus (L.) Merrill): CINÉTICA DAS FERMENTAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS**. 2014. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014

ALVES, Thamires Luciana; TEIXEIRA, Ana Paula; OLIVEIRA, Breno Germano; BARBOSA, Luísa Carolina; OLIVEIRA, Maria Paula de; LAGO, Rochel. PROCESSO DE INOVAÇÃO PARA TECNOLOGIAS QUÍMICAS NASCIDAS EM UNIVERSIDADES: ações do laboratório escalab-ufmg. *Química Nova*, [S.L.], v. 48, n. 2, p. 1-9, 08 jul. 2024. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20250035>

ARAÚJO, Kátia Gomes Lima *et al.* Utilização de abacaxi (Ananas comosus L.) cv. Pérola e Smooth cayenne para a produção de vinhos: estudo da composição química e aceitabilidade. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 56-61, mar. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612009000100009>

BAZZI, Joana *et al.* **APROVEITAMENTO INTEGRAL DO ABACAXI**: uma revisão bibliográfica. 2020. 32 f. Tese (Doutorado) - Curso de Técnico em Alimentos, Instituto Federal Santa Catarina, Xanxerê, 2020.

BISCAIA, D. Comparação entre tecnologia supercrítica e técnicas convencionais de extração para obtenção de extratos de própolis avaliados

através de suas atividades biológicas. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, p.1689–1699, 2007.

BORGES, C. D., CHIM, J. F., LEITÃO, A. M., PEREIRA, E., & LUVIELMO, M. D. M. (2004). PRODUÇÃO DE SUCO DE ABACAXI OBTIDO A PARTIR DOS RESÍDUOS DA INDÚSTRIA CONSERVEIRA. *Boletim Do Centro De Pesquisa De Processamento De Alimentos*, 22(1). <https://doi.org/10.5380/cep.v22i1.117>

BROWN, Theodore; LEMAY, H. Eugene; BURSTEN, Bruce E. **Química: a ciência central**. 9 ed. Prentice-Hall, 2005.

CETRO. **Esteira Transportadora**. Disponível em: https://www.cetro.com.br/esteira-transportadora/p?idsku=1470&qad_source=1&qad_campaignid=21460670806. Acesso em: 19 out. 2025.

CORREA, C. S.; MOREIRA, D. K. T.; MONTEIRO, C. D. A.; CORREA, C. V.; NUNES, K. M. APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO DO RESÍDIO DE ABACAXI PARA OBTENÇÃO DE SABONETE ESFOLIANTE. In: VII Jornada Acadêmica da Universidade Federal do Oeste do Pará, 2018, Santarém/PA. VII Jornada Acadêmica, 2018.

Costa, B.F. (2023). Desenvolvimento de Formulação Cosmética: Creme e esfoliante facial, utilizando o caldo e pó da casca de abacaxi. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/27085/1/TCC%20BETRIZ%20FONSECA%20COSTA.pdf>. Acesso em: mar. 2025.

COSTA, Tainara; JORGE, Neuza. Compostos Bioativos Benéficos Presentes em Castanhas e Nozes. **Unopar Cient Ciênc Biol Saúde**, [Londrina], v. 3, n. 13, p. 195-203, mar. 2011. Disponível em: <https://www.uece.br/wp-content/uploads/sites/82/2021/07/Compostos-bioativos-em-castanhas-e-nozes.pdf>. Acesso em: 06 maio 2025.

Dent, Maja & Verica, Dragović-Uzelac & Garofulić, Ivona & Bosiljkov, Tomislav & Ježek, Damir. (2015). Comparison of Conventional and Ultrasound Assisted Extraction Techniques on Mass Fraction of Phenolic Compounds from sage (*Salvia officinalis* L.). *Quarterly Chemical and Biochemical Engineering*. 29. 10.15255/CABEQ. 2015. 2168.

DINIZ, Mith Phillippe Ferreira. Aproveitamento da casca de abacaxi no preparo de fermentado alcoólico. 2017. 27f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo em Agroecologia) - Instituto Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

EBARA. **Bomba Centrífuga Monoestágio RL 26A 5.0 CV.**. Disponível em: https://loja.ebara.com.br/products/bomba-centrifuga-monoestagio-rl-26a-50-0-cv-orotor-250-trifasico-motor-nova-220-380-440-v-selo-buna?qad_source=1&qad_campaignid=22325795732. Acesso em: 19 out. 2025.

EFFRIN, DEBORA C. Avaliação do potencial antioxidante do extrato da coroa do abacaxi obtido por diferentes métodos de extração. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná –Câmpus – Medianeira. 2017.

Embrapa. **Abacaxi**. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/abacaxi>. Acesso em: 30.11.2024.

FELDER, Richard M.; ROUSSEAU, Ronald W. *Princípios elementares dos processos químicos*. Tradução de Martín Aznar. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 579 p.

FERREIRA, Layane Alves *et al.* A utilização de resíduos das agroindústrias de suco de abacaxi para a produção de bromelina. **Revista Sítio Novo**: Instituto Federal do Tocantins, Gurupi, v. 1, n. 1, p. 247-357, jan. 2017.

FILTRO prensa: Funcionamento e Manutenção. Funcionamento e Manutenção. 2025. Disponível em: <https://industrial4-0.com.br/filtro-prensa/>. Acesso em: 23 nov. 2025.

FNM FILTRANS. **Filtro rotativo a vácuo**. Disponível em: <https://www.fnmfiltrans.com.br/filtro-rotativo-vacu>. Acesso em: 19 out. 2025.

França-Santos, A., Alves, R. S., Leite, N. S., & Fernandes, R. P. M. (2011). Estudos bioquímicos da enzima bromelina do Ananas comosus (abacaxi). *Scientia Plena*, 5(11). Recuperado de <https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/749>

FRANCO, G. Tabela de composição química dos alimentos. 8.ed. Rio de Janeiro: Livraria Atheneu, 1989. 230 p.

G. P., Pontes, Silva, P., A. R., dos Santos, L. G., Pacher, G. C., & da Silva, G. F. A. (2018). Composição proximal de resíduos de abacaxi (Ananas comosus) na produção de geleia tipo extra, avaliando suas características físico-químicas e sensoriais. *Cadernos de Agroecologia*, 13(2), 9-9.

GONZÁLEZ, Eduardo René Pérez; ANJOS, Luana Ribeiro dos (org.). **Química Orgânica Experimental**: manual de aulas experimentais virtuais para o ensino a distância. São Paulo: Pimenta Cultural, 2023. Disponível em: <https://www.pimentacultural.com/livro/quimica-organica/>. Acesso em: 04 fev. 2025.

GRANADA, G.G.; ZAMBIAZI, R.C.; MENDONÇA, C.R.B. Abacaxi: produção, mercado e subprodutos. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.22, p.405-422, 2004. DOI: <https://doi.org/10.5380/cep.v22i2.1203>

HU, Jun *et al.* Developmental toxicity of orally administered pineapple leaf extract in rats. **Food And Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 49, n. 6, p. 1455-1463, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2011.03.047>
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Abacaxi**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/abacaxi/br> Acesso em: 19 out. 2025.

Khalid, Nauman & Suleria, Hafiz & Ahmed, Iftikhar. (2016). Pineapple Juice. 10.1201/b19490-43.

LYONS, William C. **Process Equipment Cost Estimation: Methodology, Sources, and Handouts**. 3. ed. Houston: Gulf Publishing Company, 2002.

MANETTI, Liliana Maria; DELAPORTE, Rosemeres Horwat; LAVERDE JR., Antonio. Metabólitos secundários da família Bromeliaceae. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1885-1897, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/KkxvncrHz4chcPCrmsPtPQx/?format=pdf&lang=pt>
Acesso em: 16 out. 2025.

MARTIN, José Guilherme Prado *et al.* **Avaliação sensorial de bolo com resíduo de casca de abacaxi para suplementação do teor de fibras**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 14, n. 3, p. 281-287, 2012 Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.15871/15178595/rbpa.v14n3p281-287>. Acesso em: 26 jan. 2025.

MEGDA, Larissa Marques; BOLDRIN, Mariany Aristides. **Aproveitamento do resíduo agroindustrial do abacaxi: avaliação de diferentes tipos de extração sólido-líquido**. 2019. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia., Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2019.

MELECCHI, M. I. S. **Caracterização química de extratos de Hibiscus tiliaceus L: estudo comparativo de métodos de extração**. 88f. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

Miri *et al.* AVALIAÇÃO QUÍMICA DE FARINHA DA CASCA DE ABACAXI DA CULTIVAR PÉROLA. In: ANAIS DO 13º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 2019, Campinas. **Anais eletrônicos...**, Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/slaca/slaca2019/trabalhos/avaliacao-quimica-de-farinha-da-casca-de-abacaxi-da-cultivar-perola?lang=pt-br> Acesso em: 26 jan. 2025.

MXM INDÚSTRIA. **Tanque Inox 304 - 1000 Litros - Dorna - Reservatório**. Disponível em: <https://loja.mxm.ind.br/tanque-inox-304-1000-litros-dorna-reservatorio>. Acesso em: 19 out. 2025.

MXM TANQUES DE AÇO INOX. [Homepage]. [São Paulo]: MXM, [2025]. Disponível em: <https://mxm.ind.br/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

NAVARRO, D. F. **Estudo Químico, Biológico e Farmacológico das espécies *Allamanda blanchetti* e *Allamanda schottii* na obtenção de Moléculas Bioativas de Potencial Terapêutico**. 2005. 293 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005

NEVES, N. de A. Preparo de alimentos nutritivos e saborosos. 4.ed. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1995. 250 p.

OLIVEIRA, Vanessa Caroline de; OLIVEIRA, Isadora Rebouças Nolasco de; MENDES, Fabrícia Queiroz. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DA FARINHA DE CASCA DE ABACAXI COMO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**: pesquisa e práticas contemporâneas - Volume 2, [S.L.], p. 69-81, 2021. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/210805814> .

PAIVA, Andréa Paolucci *et al.* Characterization of food bars manufactured with agroindustrial by-products and waste. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 3, p. 333-340, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542012000300009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/Ffv4qg3sRDSvZTHvd9qsVXF/>. Acesso em: 17 fev. 2025.

PAULA, Kaio de; FARIA JÚNIOR, Oscar Lopes de. Utilização dos restos culturais e resíduos da industrialização de abacaxi na alimentação de ruminantes: revisão. **Pubvet**, [S.L.], v. 13, n. 02, p. 1-7, 5 mar. 2019. Editora MV Valero. <http://dx.doi.org/10.31533/pubvet.v13n2a271.1-7> .

PAVIA, D. L., LAMPMAN, G. M., KRIZ, G. S., ENGEL, R. G. Química Orgânica Experimental: Técnicas de escala pequena. 2ª. Ed., Porto Alegre, Bookman, 2009.

phenolics. *Journal of Food Engineering*, Amsterdam, v. 81, p. 200-208, 2007.

REVISTA CANAVIEIROS. **Mais difícil que descascar é cultivar o abacaxi**. Disponível em: <https://www.revistacanaiveiros.com.br/mais-dificil-que-descascar-e-cultivar-o-abacaxi>. Acesso em: 2 jan. 2025.

ROCHA, Águida Garreth Ferraz; PELEGRINI, Djalma Ferreira; LOPES, Marcos Aurélio. Agregação de valor ao leite por meio da produção de queijo: análise da rentabilidade em uma propriedade familiar no município de uberlândia/mg.. **Medicina Veterinária (Ufrpe)**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 283, 22 mar. 2018. Medicina Veterinaria (UFRPE). <http://dx.doi.org/10.26605/medvet-v12n4-2458>.

RODRIGUES E SILVA, A. F., & CARLOS ZAMBIAZI, R. (2008). ACEITABILIDADE DE GELÉIAS CONVENCIONAL E LIGHT DE ABACAXI OBTIDAS DE RESÍDUOS. *Boletim Do Centro De Pesquisa De Processamento De Alimentos*, 26(1). <https://doi.org/10.5380/cep.v26i1.11785>.

SAKWE, A.; AMABOGHA, B. Production of essential/fragrance oil from pineapple peel extract for direct perfume formulation to enhance efficient waste management. **Global Journal of Engineering and Technology Advances**, v. 18, n. 01, p. 038-044, 2024.

SANTOS, M. H. O. Desperdício de alimentos e sua interferência no meio ambiente. **Instituto Construir e Conhecer**, n. 5, 2008.

SEFFRIN, Debora Cristina. Avaliação do potencial antioxidante do extrato da coroa do abacaxi obtido por diferentes métodos de extração. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

Shinzato, Mirian. (2010). Alteração experimental de rochas carbonáticas, Caverna das Perólas, Iporanga (SP). Revista do Instituto Geológico. 31. 10.5935/0100-929X.20100002.

SILVA, Ana Paula Cristina da. **EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DA CASCA E COROA DO ABACAXI (MÉTODO SOXHLET)**. 2018. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Farmácia, Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2018.

Silva, R.; Noma, C.; Santos, S.; Bellini, J.; Silva, V.; Silva, C.; Brum, F. Adição de valor ao resíduo de abacaxi: Caracterização e avaliação do potencial para meio de cultura de bactérias e leveduras. Concilium 2023.

SIMÕES, C. M. O. et al. (Org.). Farmacognosia: da planta ao medicamento. 6. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

SOUSA, Ana Rafaela Bezerra Cavalcante de et al. UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS DO ABACAXI (ANANAS COMOSUS L. MERRIL) NA DIETA ANIMAL. **Novos Desafios**, Guaraí, v. 1, n. 1, p. 44-55, jun. 2021. Disponível em: <https://novosdesafios.inf.br/index.php/revista/article/view/10>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SPIGNO, G.; TRAMELLI, L.; DE FAVERO, D. M. Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc THORPE M.; RIDGMAN, T. Identifying and sharing the knowledge required for scaling up innovative technology in the process industry. International Journal of Innovation and Technology Management. v. 13, n. 6, 2016.

TURTON, R. et al. **Analysis, synthesis, and design of chemical processes**. 5th ed. Pearson Education, 2018.

US Department of Agriculture Agriculture. Nutrient Data Laboratory. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28 (Slightly revised). 2020. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/>.

WENZHOU LIHONG MACHINERY CO., LTD. **Informações da Empresa**.

Made-in-China.com. Disponível em: https://pt.made-in-china.com/co_wzlihong/company_info.html?pv_id=1ir12rv8h7a5&faw_id=1ir12s4uudd Acesso em: 19 out. 2025.

WENZHOU LIHONG MACHINERY CO., LTD. **Stainless Steel Round Vacuum Distiller Without Agitator**. Made-in-China.com. Disponível em: https://pt.made-in-china.com/co_wzlihong/product_Stainless-Steel-Round-Vacuum-Distiller-Without-Agitator_yshionyhog.html Acesso em: 19 out. 2025.

Woiciechowski, A. L., Carvalho, J. C., Spier, M. R., & Soccol, C. (2015). Emprego de resíduos agroindustriais em bioprocessos alimentares. *Biotecnologia de Alimentos*, 1, 143-171. 10.13140/RG.2.1.1508.7529.