

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ISABELLE CÁSSIA DA SILVA**

**PROJETO DE UM SISTEMA MÓVEL DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL  
PARA O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO EUCALIPTO DE CORTE**

**TOLEDO**

**2024**

**ISABELLE CÁSSIA DA SILVA**

**PROJETO DE UM SISTEMA MÓVEL DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL  
PARA O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO EUCALIPTO DE CORTE**

**DESIGN OF A MOBILE ESSENTIAL OIL EXTRACTION SYSTEM FOR THE  
USE OF CUTTING EUCALYPTUS WASTE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Viviane Da Silva Lobo  
Coorientador: Jones Erni Schmitz

**TOLEDO**

**2024**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ISABELLE CÁSSIA DA SILVA

**PROJETO DE UM SISTEMA MÓVEL DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL  
PARA O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO EUCALIPTO DE CORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da UTFPR, câmpus Toledo, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro de Bioprocessos e Biotecnologia.

Aprovado em 02 de Fevereiro de 2024.

Banca examinadora

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Viviane da Silva Lobo  
UTFPR, câmpus Toledo  
Orientadora

---

Prof Dr Jones Erni Schmitz  
UTFPR, câmpus Toledo  
Coorientador

---

Prof Dr Robson Luciano De Almeida  
UTFPR, câmpus Toledo  
Avaliador

---

Prof Dr Michael Jackson Vieira Da Silva  
UTFPR, câmpus Toledo  
Avaliador

OBS: A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Dedico esse trabalho à minha família, amigos e namorado que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todas as decisões.

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudo.

À minha mãe Tereza, que sempre rezava por mim e ao meu irmão André, que sempre me ajudou a continuar em pé.

À minha orientadora Viviane da Silva Lobo e ao meu coorientador Jones Erni Schmitz, por todos os ensinamentos e por todo apoio.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelas risadas que me aliviavam do estresse.

## Resumo

As plantações de eucalipto, no Brasil, ocupam em torno de 7,4 milhões de hectares. O gênero *Eucalyptus* abrange mais de 700 espécies, que possuem diversas propriedades físicas e químicas, podendo ser usados para as mais variadas finalidades. O óleo essencial é uma delas, que é produzido durante o metabolismo secundário da planta e é composto por diferentes grupos de substâncias químicas. Os eucaliptos presentes na região de Toledo (PR) têm como finalidade somente a queima para geração de energia, descartando as folhas, que possuem grande quantidade de óleo essencial. Assim, analisando o aproveitamento das folhas de eucalipto, projetou-se o desenvolvimento de um sistema móvel de extração de óleo essencial do mesmo, para que o mesmo possa ir ao local onde as árvores estão sendo cortadas. Os resultados obtidos apresentam-se de maneira válida, pois foi possível realizar o dimensionamento dos equipamentos, utilizando a formulação dos balanços de massa do processo. O desenvolvimento dos diagramas de blocos, fluxograma de processo, tubulação e instrumentação de processo e *layout* da planta ajudaram a visualizar o processo de produção do óleo essencial de eucalipto em um meio de transporte.

**Palavras-chave:** eucalipto; óleo essencial; sistema móvel; dimensionamento; diagrama de processo; indústria química.

## Abstract

Eucalyptus plantations in Brazil occupy around 7.4 million hectares. The Eucalyptus genus encompasses more than 700 species, which have diverse physical and chemical properties and can be used for the most varied purposes. Essential oil is one of them, which is produced during the plant's secondary metabolism and is composed of different groups of chemical substances. The eucalyptus trees present in the Toledo region (PR) are only intended for burning to generate energy, discarding the leaves, which contain a large amount of essential oil. Thus, analyzing the use of eucalyptus leaves, the development of a mobile system for extracting essential oil from it was planned, so that it can go to the place where the trees are being cut. The results obtained are valid, as it was possible to size the equipment using the process mass balance formulation. The development of block diagrams, process flowchart, process piping and instrumentation, and plant layout helped visualize the eucalyptus essential oil production process in a transportation medium.

**Keywords:** eucalyptus; essential oil; mobile system; sizing; process diagram; chemical industry.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Esquema da extração de óleo essencial através de hidrodestilação.....	15
<b>Figura 2</b> - Esquema da extração de óleo essencial através de destilação por arraste a vapor.....	16
<b>Figura 3</b> - Formação de compostos fenilpropanóides.....	17
<b>Figura 4</b> - Diferentes substâncias químicas classificadas como monoterpenos e monoterpenoides.....	18
<b>Figura 5</b> - Estrutura química do composto cineol.....	19
<b>Figura 6</b> - Processo de Extração por Arraste a Vapor.....	20
<b>Figura 7</b> - Fluxograma do processo produtivo, com o balanço de massa do sistema.....	23
<b>Figura 8</b> - Diagrama de blocos e balanço de massa para extração de óleo essencial.....	25
<b>Figura 9</b> - Diagrama de fluxo de processo (PFD).....	28
<b>Figura 10</b> - Diagrama de tubulação e instrumentação do processo (P&ID).....	33
<b>Figura 11</b> - Layout do projeto de extração de óleo essencial de eucalipto.....	34
<b>Figura 12</b> - Visão lateral do projeto de extração de óleo essencial de eucalipto.....	34

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Dimensionamento dos Equipamentos.....	30
<b>Tabela 2</b> - Equipamento no mercado que melhor se adequam ao projeto.....	33

## Lista de Abreviações e Siglas

V - Volume

r - Raio

d - Diâmetro

h - Altura

C - Comprimento

L - Largura

E - Espessura

D - Densidade

m - Massa

m<sup>3</sup> - Metro cúbico

g - Grama

kg - Quilograma

min - Minuto

mL - Mililitro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Objetivos Gerais</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 Plantas aromáticas</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1.1 Metabolismo especializado das plantas aromáticas</b> .....	<b>14</b>
3.1.1.1 <u>Óleos essenciais</u> .....	14
3.1.1.1.1 <i>Extração de óleo essencial</i> .....	15
3.1.1.1.2 <i>Composição química do óleo essencial</i> .....	17
<b>3.2 Óleos essenciais do eucalipto</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2.1 Óleo essencial da espécie <i>Eucalyptus grandis</i></b> .....	<b>19</b>
<b>3.3 Equipamentos em instalações industriais de extração de óleo essencial...</b>	<b>19</b>
3.3.1 Dimensionamento de processo e balanço de massa .....	20
3.3.2 Diagrama de blocos, fluxo de Processo, tubulação e instrumentação do processo .....	21
<b>3.4 Estudo técnico de uma sistema móvel de extração</b> .....	<b>22</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1 Elaboração dos diagramas do processo de extração e balanço de massa</b> .	<b>25</b>
<b>5.2 Especificação dos equipamentos e elaboração do diagrama P&amp;ID</b> .....	<b>28</b>
<b>5.3 Definição do layout e dos parâmetros de operação</b> .....	<b>34</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil contém a maior diversidade genética vegetal do mundo, contando com mais de 55.000 espécies nativas. Essas espécies são um grande potencial de desenvolvimento socioeconômico para o setor produtivo, como fonte de corantes, óleos vegetais, gorduras, fitoterápicos, antioxidantes e óleos essenciais (SIMÕES, 2017; SILVA, 2016).

Os óleos essenciais industrialmente são utilizados como fonte de matéria-prima natural para as indústrias de alimentos, bebidas, farmacêutica, perfumaria, cosméticos, higiene e limpeza, por poderem possuir propriedades aromáticas, antimicrobiana, antifúngica e antioxidante (SIMÕES, 2017; SILVA, 2016).

Na América Latina, dois componentes estão diretamente relacionados ao crescimento da produção de óleo essencial: o desenvolvimento agrônomo de plantas aromáticas e a inserção de metodologias analíticas avançadas que determinam a composição destes óleos (SALTOR, 2009).

O gênero *Eucalyptus* abrange mais de 700 espécies reconhecidas botanicamente, que possui diversas propriedades físicas e químicas, podendo ser usados para a mais variadas finalidades, como lenha, carvão vegetal, móveis, celulose, papel, fármacos e óleos essenciais (EMBRAPA, 2019). Os óleos essenciais do eucalipto são produzidos e armazenados por glândulas e estão distribuídos de forma abundante no parênquima das folhas. Existem estudos sobre a ecologia e fisiologia desse óleo, como inibidores da germinação e de crescimento de outras plantas, repelente de insetos e controladores da atividade microbológica de alguns fungos e bactérias (OYEDEJI, *et al*, 1999).

As plantações de eucalipto, no Brasil, ocupam 7,4 milhões de hectares (mais de 75% das florestas plantadas, sendo 41,9% na região Sudeste). No ano de 2017, foram produzidas 81.487 toneladas de eucalipto, representando rendimento de mais de 5 milhões de reais (IBGE, 2017).

O Brasil exportou o equivalente a 7,21 milhões de dólares em óleo essencial de eucalipto no ano de 2018. De 1997 até 2018 houve um aumento de exportação de 466%, enquanto isso a importação desse produto também aumentou nesse período, sendo que em 2018 representou 4,83 milhões de dólares. Nesse cenário, os países que mais importam do Brasil são Reino Unido e Espanha (SILVEIRA, 2020).

O eucalipto na cidade de Toledo (PR) tem o uso preferencial da madeira para

geração de energia, deixando as folhas do mesmo sem uma finalidade. Utilizando essas folhas pode-se realizar a extração de um óleo essencial com vários benefícios. Portanto, esse projeto teve como foco dar um destino para as mesmas pelo desenvolvimento de uma sistema móvel de extração de óleo essencial do eucalipto. Esse sistema vem com intuito de facilitar a extração do óleo essencial de eucalipto de suas folhas no local de corte da planta, podendo favorecer o produtor, que, além da venda da madeira, poderá ter uma renda extra através deste óleo, minimizando a perda de uma biomassa com vários benefícios.

O cuidado do projeto é, principalmente, no dimensionamento da dorna de extração, não sendo possível ser de uma escala elevada, pois não irá se adequar no sistema móvel. Assim, foi fixado o desenvolvimento de uma dorna de extração de um capacidade máxima de 500 kg de biomassa.

Um benefício indireto, mas importante que está relacionado a este projeto é o aumento de receita com relação a venda deste óleo essencial e do hidrolato melhorando a eficiência do uso da terra com as plantações de eucalipto.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos Gerais

Projetar um sistema móvel de extração de óleo essencial de resíduos de folhas de eucalipto para o processamento de 500 kg de material por batelada.

### 2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste projeto são:

- Elaborar os diagramas do processo de extração e balanço de massa;
- Especificar os equipamentos e elaboração do diagrama P&ID;
- Definir o *layout* e dos parâmetros de operação do sistema.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Plantas aromáticas

As plantas aromáticas podem ser utilizadas para a obtenção de inúmeros fármacos, sendo fontes importantes de produtos naturais biologicamente ativos. As plantas contêm também substâncias odoríferas que atuam como inibidores da germinação, na proteção contra predadores, na atração de polinizadores, na proteção contra a perda de água e aumento de temperatura (SIMÕES, 2017).

##### 3.1.1 Metabolismo especializado das plantas aromáticas

O metabolismo das plantas é constituído por inúmeras reações anabólicas e catabólicas, que são responsáveis pela síntese e degradação dos constituintes químicos encontrados nas espécies vegetais. O metabolismo primário, que é essencial para todas as plantas, está associado a funções fundamentais para a sobrevivência da planta, tais como o transporte de solutos, a respiração, a fotossíntese e a compostos como aminoácidos, nucleotídeos, açúcares, ácidos graxos, carboidratos e clorofila (PERES, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Os compostos químicos, que estão relacionados ao metabolismo secundário das plantas, não são tão essenciais para a sobrevivência da planta, mas são altamente específicos e desempenham um papel importante na interação da planta com a natureza, como fatores bióticos e abióticos. Existem três grupos principais neste metabólitos: composto fenólicos, terpenos e alcaloides (PERES, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009).

##### 3.1.1.1 Óleos essenciais

Os óleos essenciais são produzidos durante o metabolismo especializado e são compostos por diferentes grupos de substâncias químicas. São caracterizados por serem um material volátil e de aparência oleosa, e apresentam odores e fragrâncias características (STEFFANI, 2003).

Uma das principais classes presentes nos óleos essenciais são a dos terpenos, que são hidrocarbonetos naturais saturados ou insaturados podendo conter oxigênio

(terpenóide), no qual pode estar associado a diferentes funções orgânicas.

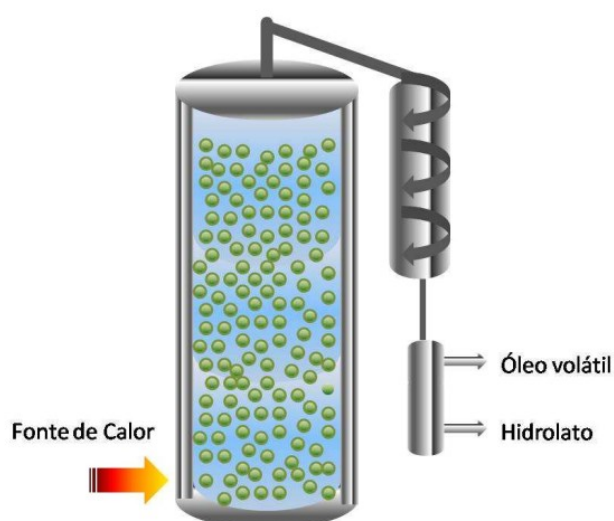
Nas Indústrias alimentícias, cosméticas e farmacêuticas, o óleo essencial abrange diversas aplicações, como aromas e fragrâncias. Os óleos essenciais podem ser comercializados na sua forma bruta ou substâncias purificadas (isoladas), tais como citronelal, eugenol, mentol, safrol, limoneno e citral (SVENDSEN; SCHEFFER, 1985 apud MATEUS, *et al*, 2006).

### 3.1.1.1.1 Extração de óleo essencial

A extração de óleos essenciais de plantas aromáticas pode ser realizada por destilação por arraste a vapor (método indireto) ou hidrodestilação (método direto) (BUSATO,2014).

Na hidrodestilação, as plantas aromáticas permanecem em contato com a água fervente, podendo estar completamente imersas ou flutuando. Esse tipo de extração é normalmente mais utilizada em escala laboratorial, com o objetivo de se obter uma melhor descrição do comportamento da extração e uma melhor precisão na obtenção de dados experimentais (FIGURA 1) (BUSATO,2014). Segundo Magalhães (2020), a hidrodestilação não tem resultados satisfatórios na realização da extração de raízes e madeira, pois o tempo de destilação desse material é demorado podendo ocorrer a rápida evaporação da água chegando a queimar todo o material vegetal.

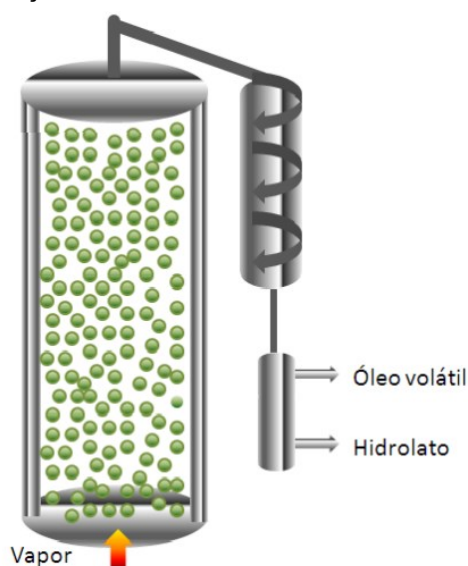
**Figura 1** - Esquema da extração de óleo essencial através de hidrodestilação



A destilação por arraste a vapor se baseia na diferença de volatilidade e temperatura dos compostos presentes na matéria-prima vegetal (FIGURA 2). Esse método por ser simples, barato e por não agredir o meio ambiente, é implementado com mais frequência nas indústrias, além de permitir a extração de uma quantidade significativa de material vegetal (CASSEL; VARGAS, 2006; SALTOR, 2009).

O tempo de processo da destilação por arraste a vapor está diretamente relacionado com a vazão do solvente, que nesse caso é o vapor. Nesse processo requer um cuidado maior quando a capacidade é elevada, pois a eficiência da extração pode ser afetada. A densidade da planta no leito e o rendimento do óleo estão diretamente associados ao estabelecimento da capacidade e produtividade do equipamento (MATEUS, *et al*, 2006).

**Figura 2** - Esquema da extração de óleo essencial através de destilação por arraste a vapor



Fonte: LEAL, 2008.

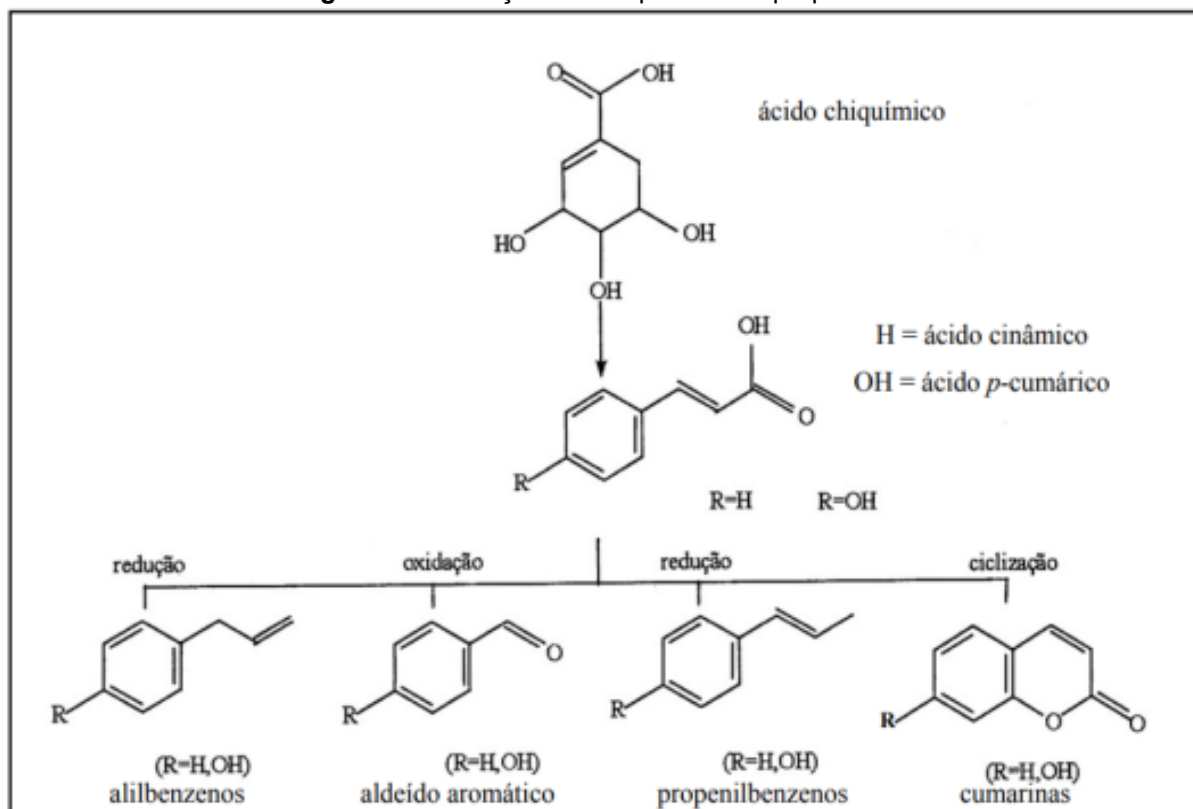
Após a passagem do vapor pelas plantas, são obtidos dois produtos: óleo essencial e o hidrolato, que, pela técnica da decantação, é possível fazer a separação dos mesmos por diferença de densidade das fases. O hidrolato contém pequenas quantidades de compostos aromatizantes, podendo ser usado como fragrância nas indústrias farmacêuticas, alimentícias e cosméticas, mas, por as indústrias não conhecerem esse grande potencial de venda dos hidratos, é muito comum ocorrer o seu descarte (LEAL, 2008).

### 3.1.1.1.2 Composição química do óleo essencial

Os óleos essenciais são constituídos principalmente por terpenos, que são basicamente estruturados em blocos de 5 carbonos (unidade isopreno -  $C_5H_8$ ). Os compostos de terpenos presentes podem ser monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos ou tetraterpenos. Os terpenos são formados por carbonos que são provenientes do isopentenil pirofosfato (IPP) ou por seu isômero dimetilalil piroforvato (DMAPP), por meio de duas rotas metabólicas distintas, via do mevalonato e via do 1-desoxixilulose 5-fosfato (DXP) (STEFFANI, 2003; LANÇAS, 1990).

A composição química da grande maioria dos óleos essenciais é formada por derivados fenilpropanóides ou de terpenóides, sendo os monoterpenos os mais predominantes. A Figura 3 demonstra o esquema de obtenção simplificada de alguns fenilpropanóides (SIMÕES *et al.*, 2017).

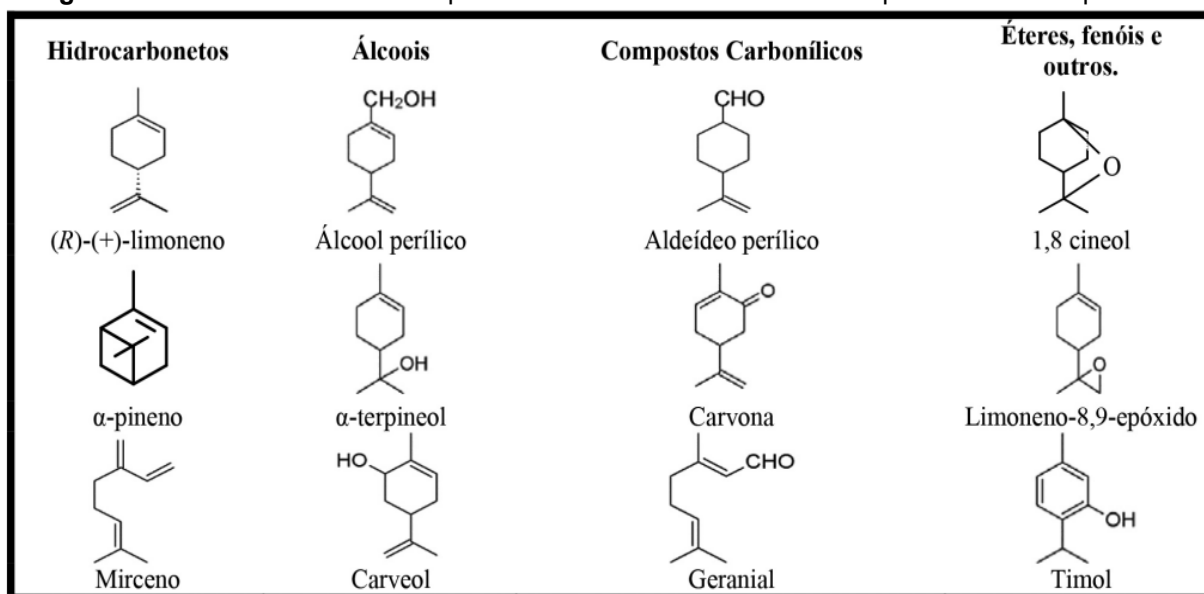
**Figura 3** - Formação de compostos fenilpropanóides



Fonte: SIMÕES *et al.*, 2017.

A Figura 4 apresenta algumas substâncias químicas das classes dos monoterpenos e monoterpenóides que podem ser obtidas a partir do óleo essencial das plantas aromáticas.

**Figura 4** - Diferentes substâncias químicas classificadas como monoterpênos e monoterpênoides



Fonte: FELIPE, 2017.

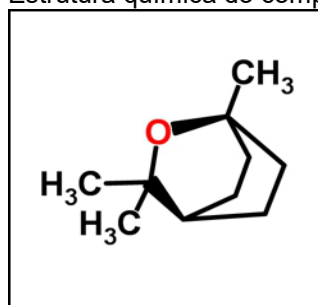
Os fenilpropanóides são formados a partir do ácido chiquímico, que forma as unidades básicas dos ácidos cinâmico e p-cumárico. Pela redução enzimática dos ácidos cinâmico e p-cumárico podem sintetizar propenilbenzenos ou alilbenzenos que geram aldeídos aromáticos (FIGURA 3) (SIMÕES, 2017).

### 3.2 Óleos essenciais do eucalipto

O óleo essencial do gênero referente a classificação da planta *Eucalyptus* apresenta diversas propriedades terapêuticas, tais como antibacteriana, cicatrizante, antifúngico, antisséptico e adstringente (AMARAL, 2016). Os óleos essenciais de eucalipto estão classificados em três grupos principais, óleos medicinais, industriais e para perfumaria, conforme a sua composição química.

Os óleos essenciais que apresentam como componente principal o cineol são destinados à produção de medicamentos, como inaladores, estimulantes de secreção nasal e produtos de higiene bucal (FIGURA 5) (VITTI, 2003).

Figura 5 - Estrutura química do composto cineol



Fonte: QUINARÍ, 2023.

### 3.2.1 Óleo essencial da espécie *Eucalyptus grandis*

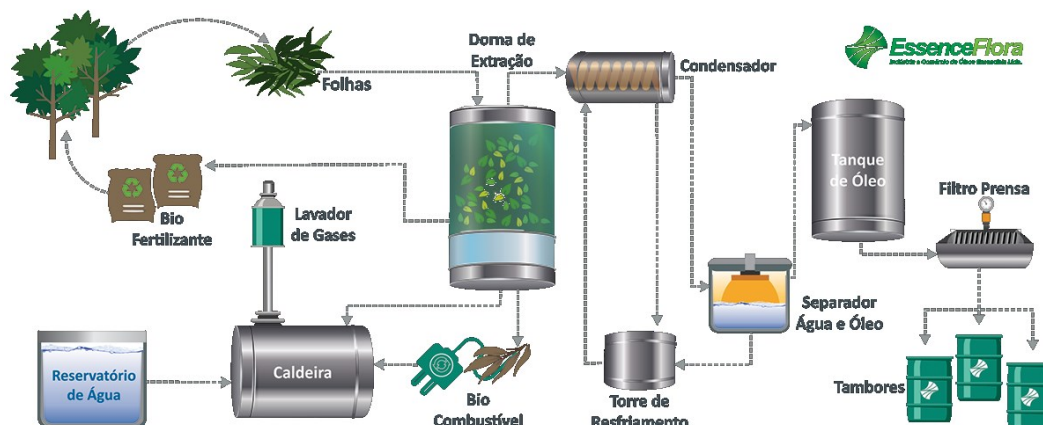
O óleo essencial da espécie *Eucalyptus grandis* possui ação inibitória do vírus *Epstein-Barr* e de tumores, atuando como câncer-preventivo (CASTRO, 2006). Entretanto, são poucas as pesquisas científicas relacionadas com a extração de óleo essencial do *E. grandis*, um dos motivos para esta falta de informações pode estar relacionado com o baixo rendimento na produção de óleo (PETRIKOSKI, 2009).

A pesquisa realizada por Spohr (2023) foi avaliar as propriedades físico-químicas e o composto químico principal do óleo essencial das folhas do eucalipto de corte da espécie *E. grandis* cultivada no oeste do Paraná. Os resultados obtidos se apresentaram de maneira satisfatória para a qualidade do óleo essencial de eucalipto da espécie *Eucalyptus grandis*, como densidade absoluta e índice de refração semelhantes aos dados entrados na literatura. Além disso, foi verificado que as características do óleo essencial não foram alteradas para o extraído a partir das folhas secas quando comparados com os dados obtidos para o extraído a partir das folhas frescas. E, mediante análises instrumentais dos óleos essenciais obtidos, verificou-se que a composição química é semelhante à relatada por diversos autores na literatura.

### 3.3 Equipamentos em instalações industriais de extração de óleo essencial

Os equipamentos necessários em uma indústria de extração de óleo essencial por destilação arraste a vapor compunha-se pelos seguintes componentes: caldeira, dorna de extrator, condensador, torre de resfriamento e um funil de separação ou vaso florentino (FIGURA 6) (STEFFANI, 2003).

**Figura 6 - Processo de Extração por Arraste a Vapor**



Fonte: ESSENCEFLORA, 2023.

A caldeira é utilizada para gerar o vapor que irá arrastar o óleo essencial das folhas ou plantas que estarão presentes na dorna de extração. O vapor vai conduzir o óleo essencial até o condensador, que estará ligado a uma torre de resfriamento para que ocorra a condensação da água, e, no vaso florentino, ocorrerá a separação de fases por diferença de polaridade e densidade do hidrolato e do óleo essencial (STEFFANI, 2003).

Os equipamentos devem ser constituídos de um material resistente como o inox por causa da presença do vapor em seu interior, que pode causar danos pela oxidação, pressão e pelo peso da massa (DIAS, 2019).

### 3.3.1 Dimensionamento de processo e balanço de massa

Em uma planta industrial o dimensionamento dos equipamentos é muito importante, sendo um processo a ser implantado ou uma otimização. A partir de um bom projeto de equipamentos pode-se obter um bom aproveitamento dos recursos e uma boa eficiência no processo (PROPEQ, 2020).

Dimensionar o equipamento de uma operação unitária é realizado de acordo com o fluido utilizado, pressão, vazão, tempo de operação, temperatura e demanda energética, entre outros parâmetros de processos importantes (PROPEQ, 2020).

Para a análise de um novo processo ou de um processo já existente o balanço de massa é fundamental. O comportamento das variáveis ao longo do tempo irá classificar a operação de um processo, sendo, regime estacionário onde os valores das variáveis de processo (concentrações, pressão, vazão, temperatura, etc.) não variam com o tempo em qualquer posição fixa e regime transiente que já nesse caso ocorre

as variações (AQUIM, 2004).

Segundo Aquim (2004), o balanço de massa de certa forma será o inventário de um determinado material com relação a um sistema definido, pois na elaboração do mesmo deve ser bem decidido o volume de controle, que pode ser um processo completo de um equipamento ou um conjunto de equipamentos.

O sistema pode ser classificado de acordo com a transferência de massa através da sua fronteira durante o processo, podendo ocorrer a transferência de material através da fronteira e não ocorrendo a transferência, aberto e fechado respectivamente (AQUIM, 2004).

A operação de um processo pode ser classificada como batelada, contínua e semibatelada. A operação semibatelada consiste em uma tanque que é alimentado continuamente durante a reação, porém não ocorre saída do produto do sistema. Já na operação contínua, que se comporta como um sistema aberto, continuamente ocorrer a passagem de massa através das corrente de entrada e de saída. Na operação em batelada, o sistema é alimentado e os produtos são retirados de uma só vez, portanto o processo em batelada se comporta como um sistema fechado (AQUIM, 2004).

Quando determinado uma fronteira dentro do processo o balanço de massa é definido pela seguinte Equação 1:

$$[\text{ENTRADA}] - [\text{SAÍDA}] + [\text{GERADO}] - [\text{CONSUMIDO}] = [\text{ACUMULADO}] \quad 1$$

O balanço de massa tem como base a lei de conservação de massa ou Lavoisier, significando que a massa não pode ser criada nem destruída, ou seja, não haverá acúmulo de massa no interior do equipamento. Portanto, a massa total de entrada será igual a massa total de saída (AQUIM, 2004).

### 3.3.2 Diagrama de blocos, fluxo de Processo, tubulação e instrumentação do processo

O diagrama de blocos (BFD) é o principal diagrama abordado nas engenharias, que, a partir dele, pode-se formular um balanço de massa e balanço de energia que embasaram o dimensionamento adequado dos equipamentos.

A montagem deste diagrama consiste em uma série de blocos que representam equipamento ou operações unitárias, conectados com correntes de

entrada e saída. No diagrama de blocos algumas informações podem ser incluídas, como temperatura, pressão, rendimento e algumas composições químicas. O diagrama pode ser de dois tipos: de processo, que só demonstra um simples processo; ou de planta, que é o desenho de um complexo químico ou bioquímico envolvendo muitos processos diferentes (TURTON, 2009).

O diagrama de fluxo de processo ou fluxograma de processo (PFD) representa quantidades de informações mais elevadas do que o diagrama de blocos, contendo o volume de dados de engenharia necessários para o projeto de um processo químico ou biológico. Nos diagramas de fluxo de processo, as informações básicas devem ser agrupadas nas seguintes categorias: topologia do processo, informações das correntes e informações dos equipamentos (TURTON, 2009).

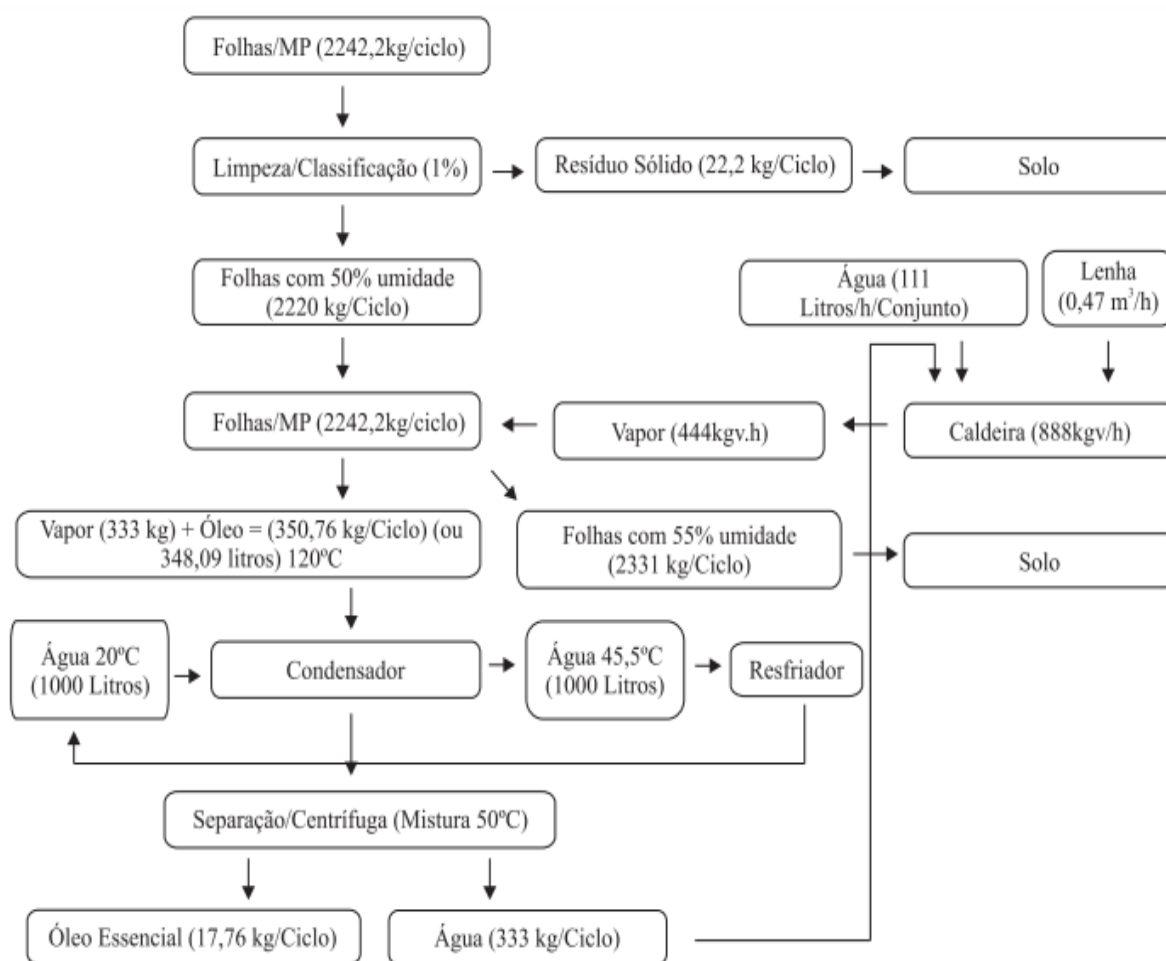
O diagrama de tubulação e instrumentação do processo (P&ID) exhibe os componentes de tubulação, como por exemplo, válvulas, bombas, indicadores de temperatura, vazão, pressão e de nível. O P&ID tem como vantagem avaliar o processo de construção quase que precisamente e ajuda a preparar e a implementar sistemas de controle de segurança (EDRAWSOFT, 2021).

### **3.4 Estudo técnico de uma sistema móvel de extração**

O estudo ou elaboração de um sistema móvel para a extração de óleo essencial pouco se tem divulgado. Dentro do que se tem publicado, tem um trabalho de Vivian et al. (2011) que teve como objetivo dimensionar um sistema móvel de captação e processamento das folhas de eucalipto, procurando ajudar a necessidade da rápida coleta do material à possibilidade viável de processamento.

Vivian et al. (2011) realizaram a construção de um fluxograma com balanço de massa, abrangendo as operações unitárias do processo, e os cálculos de engenharia para o dimensionamento dos equipamentos a serem acomodados nas plataformas móveis (FIGURA 7).

**Figura 7** - Fluxograma do processo produtivo, com o balanço de massa do sistema



Fonte: VIVIAN et al., 2011.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho foi uma adaptação da descrita em Tompkins et al. (2013), de forma a contemplar somente o projeto do processo de extração, baseando-se nos dados obtidos por Spohr (2023) para a qualidade e rendimento do óleo essencial do eucalipto de corte plantado na região oeste do Paraná.

Em sua totalidade, a metodologia descrita em Tompkins et al. (2013) é bastante abrangente, contemplando além do projeto do processo de produção todo o planejamento de uma instalação industrial.

Desta forma, para o projeto de processo de extração móvel foram consideradas as seguintes etapas:

1. **Qualidade e rendimento do óleo essencial do eucalipto** mais produzido na região de foco, oeste do Paraná (SPHR, 2023).

2. **Elaboração dos diagramas do processo de extração e balanço de massa**: elaboração do diagrama de bloco (BFD) e fluxograma de produção (PFD). Elaboração do balanço de massa do processo.

3. **Especificação dos equipamentos e elaboração do diagrama P&ID**: dimensionamento e especificação dos equipamentos com base no balanço de massa. Avaliação do nível de tecnologia a ser adotado e especificação dos instrumentos. Especificação das tubulações do processo. Elaboração do diagrama de tubulação e instrumentação do processo (P&ID).

4. **Definição do *layout* e dos parâmetros de operação**: análise do espaço físico do veículo de transporte e elaboração de um *layout* adequado para os equipamentos. Especificação dos aspectos a serem considerados em relação à operação da planta, segurança do trabalho e análise dos riscos envolvidos. Análise da viabilidade técnica do projeto.

## 5 RESULTADOS

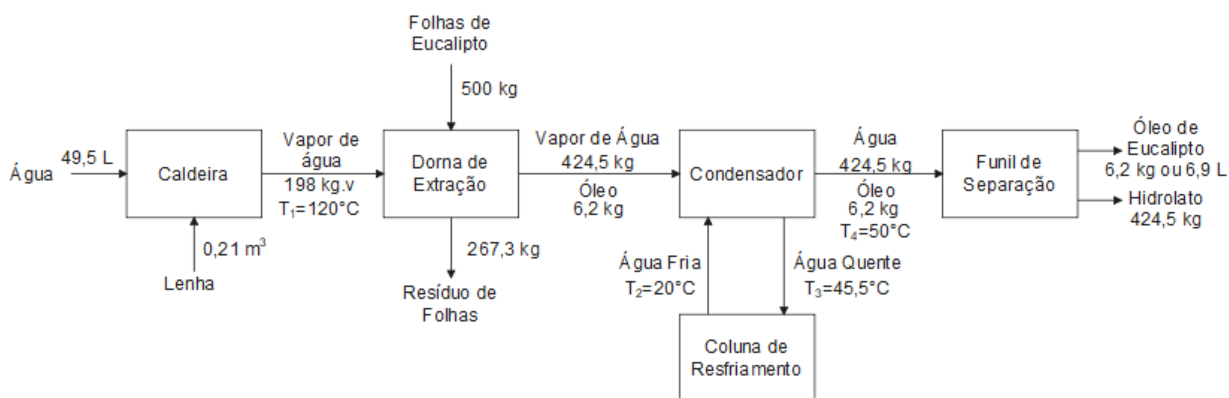
Esse projeto foi desenvolvido de forma a se projetar uma indústria móvel de extração de óleo essencial de eucalipto, a fim de oferecer ao produtor mais uma oportunidade de ter renda com material descartado durante seu processo de extração da lenha.

### 5.1 Elaboração dos diagramas do processo de extração e balanço de massa

Para a elaboração do balanço de massa e projeção otimizada da linha industrial, foi considerada os resultados obtidos laboratorialmente para as folhas de eucalipto frescas (SPOHR, 2023), pois realizar a secagem das mesmas custaria tempo e dinheiro.

Assim, inicialmente, foi elaborado o diagrama de blocos (BFB) para a extração de óleo essencial (FIGURA 8). A partir desse, foi possível observar de forma simples o processo de produção do óleo essencial de eucalipto.

**Figura 8** - Diagrama de blocos e balanço de massa para extração de óleo essencial



Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 8, é possível verificar o balanço de massa para todo o processo utilizando a Equação 1, considerando dados essenciais de Vivian et al. (2011), Spohr (2023) e uma base de cálculo de 500 kg de biomassa.

Para a realização do balanço de massa foi considerado as seguintes hipóteses de processo:

- Base de Cálculo de 500 kg de Biomassa;

- Regime Estacionário;
- Matéria-Prima Fresca;
- Sistema Fechado;
- Processo em Batelada.

Para a determinação do balanço de massas para a extração de óleo essencial a partir de 500 Kg de folhas frescas de eucalipto, foi necessária a realização de vários cálculos, conforme demonstrado a seguir.

- Inicialmente, foram realizadas algumas conversões considerando a base de cálculo de 500 kg de biomassa. De acordo com o fluxograma de processo de Vivian et al. (2011) (FIGURA 7), a massa utilizada de folhas de eucalipto foi de 2.242,2 kg e para tal foi necessária uma quantidade de 444 kg.v/h de vapor, seguindo esse raciocínio o cálculo a seguir demonstra o quanto de vapor seria necessário para realizar a extração de 500 kg de folhas.

$$444 \text{ kg.v/h} / 2.242,2 \text{ kg de folhas} = 0,1980 \text{ kg.v/kg de folhas.h}$$

$$500 \text{ kg de folhas} * 0,1980 \text{ kg.v/kg de folhas.h} = 99 \text{ kg.v/h}$$

$$99 \text{ kg.v/h} * 2 \text{ h} = 198 \text{ kg.v}$$

O resultado encontrado (99 kg v h<sup>-1</sup>) foi multiplicado por 2 horas, pois o processo terá um tempo de extração de 120 min, tempo mínimo necessário para se obter um bom rendimento de processo. Isso demonstra a necessidade de ter 198 kg v de vapor para o projeto a ser proposto.

- Em seguida, com mesmo raciocínio, foi realizada a convenção da quantidade de vapor gerado na caldeira, água e lenha que será preciso para a extração do óleo essencial, informações retiradas da Figura 7:

#### **Quantidade de vapor gerado na caldeira:**

$$888 \text{ kg.v/h} - 444 \text{ kg.v/h}$$

$$x - 198 \text{ kg.v}$$

$$x = 396 \text{ kg.v}$$

**Quantidade de água:**

$$111 \text{ L/h} - 888 \text{ kg.v/h}$$

$$x - 396 \text{ kg.v}$$

$$x = 49,5 \text{ L}$$

**Quantidade de lenha:**

$$0,47 \text{ m}^3/\text{h} - 888 \text{ kg.v/h}$$

$$x - 396 \text{ kg.v}$$

$$x = 0,21 \text{ m}^3$$

- Utilizando a média referente ao tempo de extração de 120 min, da umidade das folhas frescas, de 45,3% obtida por Spohr (2023), pode-se calcular a massa seca das folhas, ou seja, sem a quantidade de água presente nelas e o resíduo de folhas que irá sobrar no extrator.

**Massa seca:**

$$500 \text{ kg} * 45,3\% = 226,5 \text{ kg}$$

$$500 \text{ kg} - 226,5 \text{ kg} = 273,5 \text{ kg}$$

- Para o rendimento de óleo essencial de eucalipto foi calculado o quanto será produzido de produto, com 500 kg de folhas, utilizando os dados obtidos por Spohr (2023), referente ao tempo de 120 min, sendo o rendimento 1,38 mL de óleo essencial a cada 100g de folhas de eucalipto e a densidade 0,907 g mL<sup>-1</sup>.

**Rendimento de óleo essencial em litro:**

$$13,8 \text{ mL / kg} * 500 \text{ kg} = 6.900 \text{ mL ou } 6,9 \text{ L}$$

**Rendimento de óleo essencial em quilograma:**

$$6.900 \text{ mL} * 0,907 \text{ g/mL} = 6.258,3 \text{ g ou } 6,2 \text{ kg}$$

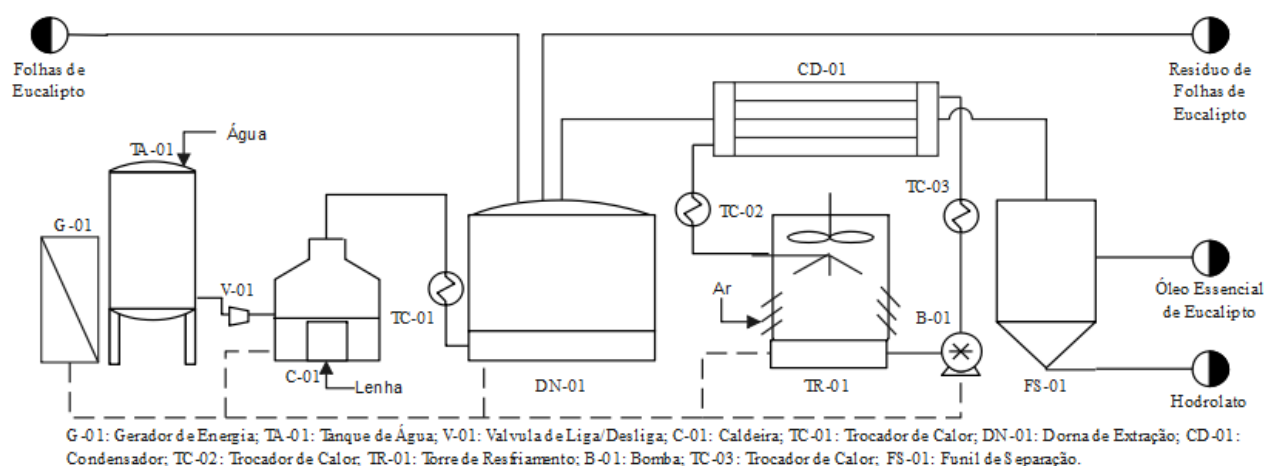
**Resíduo de folhas:**

$$500 \text{ kg} - 226,5 \text{ kg} - 6,2 \text{ kg} = 267,3 \text{ kg}$$

O fluxograma de processo ajuda a compreender de forma mais completa e, com mais informações, o fluxo de processo de extração de óleo de eucalipto e representa todos os equipamentos de forma mais detalhada.

A Figura 9 mostra que o processo de extração se inicia no TA-01, que abastece o C-01, o mesmo é alimentada com lenhas para realizar a produção de vapor. O vapor vai para o DN-01 contendo as folhas de eucalipto. Assim que o vapor passa pelas folhas ocorre a extração do óleo essencial que percorrerá juntamente com o vapor até o CD-01 que terá água fria, vindo do TR-01. O vapor e o óleo essencial percorrem pelo CD-01 para que ocorra a condensação do vapor e possa-se realizar a separação facilmente do óleo essencial da água/hidrolato. O G-01 tem como finalidade fornecer energia elétrica para os equipamentos que precisam para funcionar.

**Figura 9** - Diagrama de fluxo de processo (PFD)



Fonte: Autoria própria (2023).

## 5.2 Especificação dos equipamentos e elaboração do diagrama P&ID

Na realização do dimensionamento dos equipamentos, o balanço de massa foi essencial, pelos dados obtidos nele foi possível dimensionar os equipamentos de forma a se adequarem ao espaço limitado do caminhão que os transportará.

O sistema móvel foi elaborado considerando que a indústria será transportada em um caminhão simples de no máximo 14 m de comprimento, 4,4 m de altura, 2,6 m

de largura e capacidade de 11 t. O dimensionamento dos equipamentos foram feitos para que ocorra o encaixe dos mesmos da melhor forma possível.

- TANQUE DE ÁGUA

Para cada extração de 2 horas utiliza-se 49,5 L de água, considerando uma jornada de trabalho de 8 horas/dia é possível realizar 4 extrações/dia, portanto será necessário 198 L/dia de água, sendo assim, uma margem de erro foi considerada para a realização do dimensionamento do tanque de água, em vista disso, um tanque de 300 L seria a melhor escolha. Para um tanque de 300 L e com altura máxima de 1 m, foi realizado o cálculo a seguir para determinar seu diâmetro.

**Determinando o Raio do Tanque:**

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$0,30 \text{ m}^3 = \pi * r^2 * 1 \text{ m}$$

$$r = 0,31 \text{ m ou } d = 0,62 \text{ m}$$

Portanto, um tanque de água de 1 m de altura, 0,62 m de diâmetro e 300 L de volume vai se adequar dentro do caminhão. Esse dimensionamento irá fornecer mais estabilidade estrutural para o tanque.

- CALDEIRA

A especificação principal da caldeira é ter a capacidade de produzir 99 kg de vapor por hora a uma pressão de 1 bar e ter um dimensionamento que não ocupe muito espaço.

No mercado existem diversos modelos que têm a capacidade de produzir quantidades elevadas de vapor, por exemplo a caldeira de vapor saturado vertical a lenha com a capacidade de produzir até 220 kg de vapor por hora (TABELA 1) (ARAUTERM, 2023).

**Tabela 1 - Equipamento no mercado que melhor se adequam ao projeto**

EQUIPAMENTOS	NOME	MARCA	ESPECIFICAÇÕES
Gerador de Energia	Gerador de Energia a Diesel 72 Kva Trifásico 110-220v Silenciado com QTA - ND72100ES3QTA	Negado	Altura: 1.310 mm Largura: 980 mm Comprimento: 2.380 mm Volume: 58 L
Tanque de Água	Boiler 300 Litros Vertical Alta Pressão Aço 316	Soria	Volume: 300 litros Diâmetro: 680mm Altura: 1355mm Peso: 35 kg
Caldeira	Caldeira de Vapor Saturado Vertical a Lenha 200 a 220 kg/h	Arauterm	Altura: 2.900 mm Corpo: 1.000 mm Largura: 1.300 mm Chaminé: 240 mm Comprimento: 1.500 mm Peso Vazia: 1.800 kg Cap. Térmica (Kcal/h): 128.000 Prod.Vapor – Água a 20(°C): 200 e Água a 80(°C): 220
Dorna de Extração	Extrator de Óleo Essencial	Ecoirtec	Pressão Atmosférica ou até 6 kg/cm2
Condensador	Condensador de Casco e Tubo Inox	Camargo	Diâmetro: 350 mm Comprimento total: 3.000 mm Comprimento sem as tampas: 2.500 mm 58 tubos Diâmetro interno tubo: 10 mm
Torre de Resfriamento	Torre de Resfriamento de Água Série 400	HD Equipamentos	Altura: 2.110 mm Largura: 680 mm Comprimento: 1.400 mm Peso: 110 kg Volume: 206 L
Bomba	Bomba Centrífuga Schneider ME-BR 1640V - 4 Cv 220/380/440/780V Trifásico	Schneider	Transporte de água a longa distância Indústrias
Funil de Separação	Caixa Separadora de Água e Óleo - Modelo ZP - 2000	Zeppini	Largura: 90mm Altura: 120mm Comprimento: 150mm

Fonte: Autoria própria (2023).

- DORNA

A dorna de extração precisa ter a capacidade de processamento de 500 kg de folhas. Fixando uma altura máxima de 4 m e considerando as seguintes características físicas das folhas adultas frescas de eucalipto: comprimento entre 10 a 15 cm, largura entre 2 a 4 cm e considerando uma espessura 0,1 cm e peso de 200 mg, foi possível calcular o volume de 500 kg de folhas e determinar o volume e diâmetro necessário da dorna de extração (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018). Os dados de comprimento e largura foram utilizados o maior valor, sendo 15 cm e 4 cm, respectivamente.

**Volume de uma folha de eucalipto:**

$$V = C * L * E$$

$$V = 0,15 \text{ m} * 0,04 \text{ m} * 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$V = 6,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

**Volume de 500 kg de folhas de eucalipto:**

$$2,0 \times 10^{-4} \text{ kg} - 6,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$500 \text{ kg} - x$$

$$x = 15 \text{ m}^3$$

A massa de 500 kg de folhas contém um volume de 15 m<sup>3</sup>, mas para realizar a extração por arraste a vapor as folhas não podem estar compactadas, sendo assim, considerou-se um volume a mais de 5 m<sup>3</sup>, para que as folhas fiquem folgadas.

#### **Determinando o raio da dorna de extração:**

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$20 \text{ m}^3 = \pi * r^2 * 4 \text{ m}$$

$$r = 1,26 \text{ m ou } d = 2,52 \text{ m}$$

Desta forma, uma dorna de extração de 20.000 L de volume, 2,52 m de diâmetro e 4 m de altura vai encaixar corretamente dentro do projeto.

#### ● CONDENSADOR

O condensador tem como especificação principal a torre de resfriamento conectado ao mesmo, que precisa ter a capacidade de resfriar a água de 45,5 °C para 20 °C, para realizar a condensação de forma eficiente do vapor em água.

A torre de resfriamento que mais se adequa a esse projeto, encontrada no mercado, é a torre de resfriamento de água série 400 da HD equipamentos, que tem um dimensionamento adequado para encaixar dentro do caminhão e a capacidade de resfriar a água de forma eficiente. Nas indústrias o condensador mais utilizado é o de casco e tubo inox, no mercado se encontra vários modelos, como o demonstrado na Tabela 1, que mais se adequa ao tamanho do caminhão (HD EQUIPAMENTO, 2023).

#### ● BOMBA

A bomba, que irá realizar o transporte da água fria da torre de resfriamento para o condensador, não precisa ter um dimensionamento específico, a capacidade de transportar a água a uma longa distância é essencial.

Vários modelos de bombas são encontrados no mercado, por exemplo, a Bomba Centrífuga Schneider que é muito utilizada nas indústrias e transporta água a distâncias grandes irá se adequar bem dentro deste projeto (TABELA 1) (EBOMBAS, 2024).

- GERADOR DE ENERGIA

Um gerador de energia será necessário para fornecer energia elétrica para os equipamentos, tal gerador irá ser a diesel e terá que ser escolhido de acordo com a demanda energética necessária dos equipamentos.

- EQUIPAMENTO DE SEPARAÇÃO

O volume do funil de separação foi determinado considerando a quantidade de volume obtida no final do processo, sendo um total de 6,9 L de óleo essencial e 424,5 kg de hidrolato que, ao dividir por sua densidade de 0,997 g mL<sup>-1</sup>, obteve-se seu volume.

**Volume do hidrolato:**

$$D = m / V$$

$$0,997 \text{ g/mL} = 424.500 \text{ g} / V$$

$$V = 425.777,3 \text{ mL ou } 425,8 \text{ L}$$

Sendo assim, tem-se 6,9 L de óleo essencial mais 425,8 L de hidrolato, tem-se um volume total de 432,7 L de produto final. Portanto, um funil de um volume de 500 L seria o suficiente para suportar a demanda. Considerando uma altura máxima de 3 m foi possível calcular seu diâmetro.

**Determinando o Raio do Funil de Separação:**

$$V = \frac{1}{3} * h * \pi * r^2$$

$$0,50 \text{ m}^3 = \frac{1}{3} * 3 \text{ m} * \pi * r^2$$

$$r = 0,40 \text{ m ou } d = 0,80 \text{ m}$$

Deste modo, um funil de separação de 500 L de volume, 3 m de altura e 0,80 m de diâmetro vai se encaixar bem no extrator móvel.

As Tabelas 1 e 2 mostram os resultados do dimensionamento dos equipamentos e os equipamentos no mercado que se encaixam no projeto de acordo com os cálculos realizados, respectivamente.

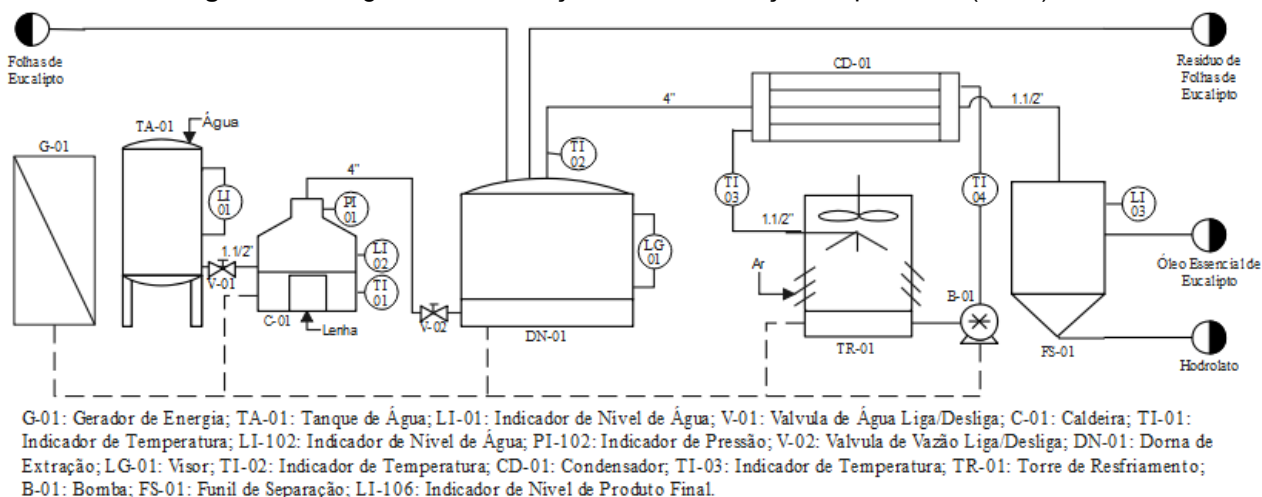
**Tabela 2 - Dimensionamento dos Equipamentos**

EQUIPAMENTOS	DIÂMETRO	ALTURA	VOLUME	ESPECIFICAÇÕES
Gerador de Energia	-	-	-	-
Tanque de Água	0,62 m	1 m	300 L	198 L de Água/Dia
Caldeira	-	-	-	99 kg de Vapor a 1 bar
Dorna de Extração	2,7 m	3,5 m	20.000 L	500 kg de Folhas
Condensador	-	-	-	-
Torre de Resfriamento	-	-	-	Resfriar de 45,5 °C para 20 °C
Funil de Separação	0,80 m	3 m	500 L	432,7 L de Produto Final
Bomba	-	-	-	-
Caminhão	-	4,4 m	-	14 m de Comprimento 2,6 m de Largura 11 ton de capacidade

Fonte: Autoria própria (2023).

O nível de tecnologia do projeto será de indústria tradicional, sendo assim, utiliza pouca tecnologia e muita mão de obra, sendo pouco automatizada, ou seja, o abastecimento da matéria-prima, água e lenha serão todas de forma manual.

Especificação das tubulações do processo estão presentes no diagrama de tubulação e instrumentação do processo (P&ID), demonstrado na Figura 10.

**Figura 10 - Diagrama de tubulação e instrumentação do processo (P&ID)**

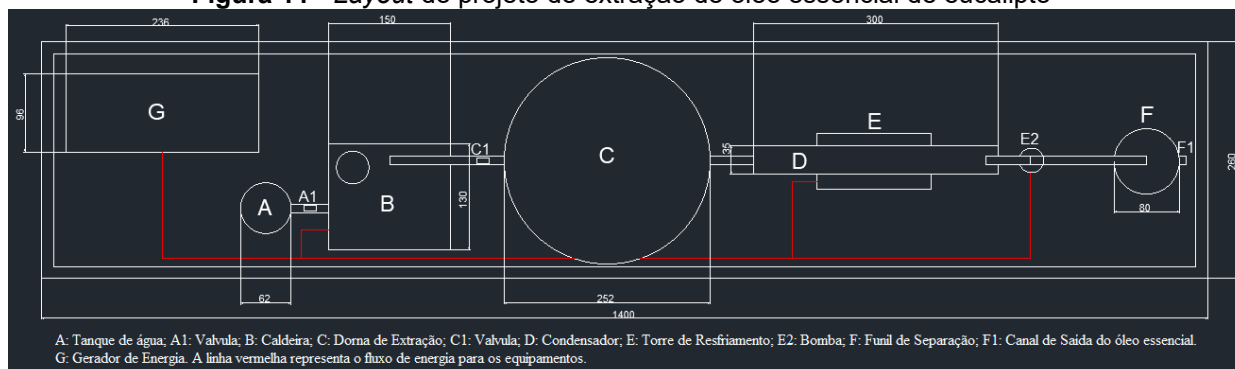
Fonte: Autoria própria (2023).

As tubulações do processo serão de 1.1/2 e 4 polegadas de material inox, assim como os equipamentos, para melhor transporte da água, vapor e óleo essencial, e maior durabilidade dos materiais.

### 5.3 Definição do layout e dos parâmetros de operação

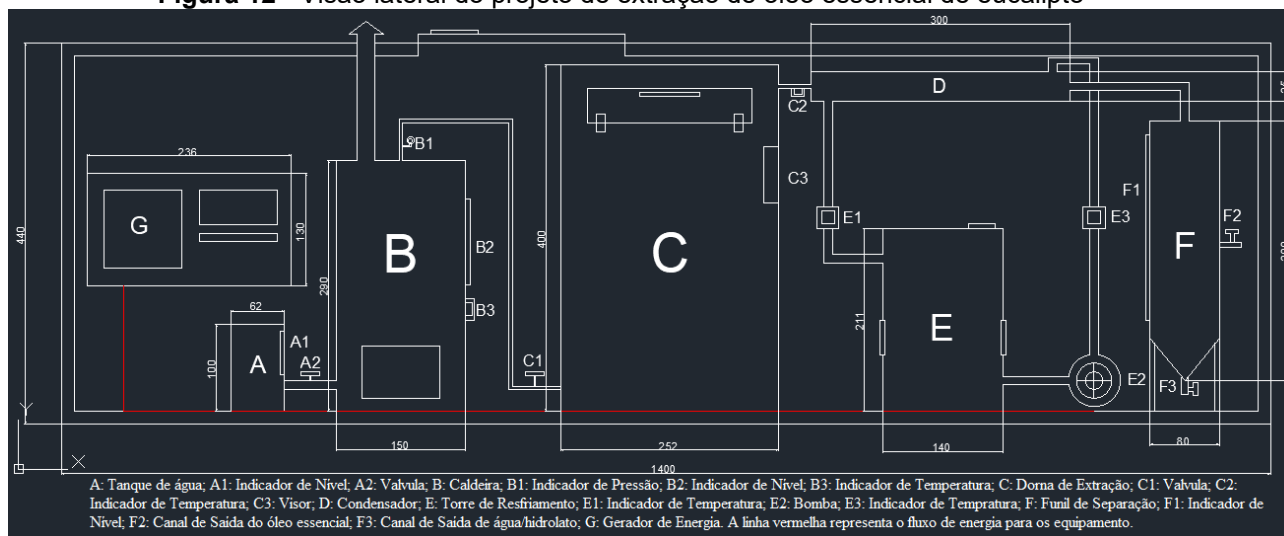
O *layout* (FIGURA 11) e visão lateral (FIGURA 12) do projeto estabelece o posicionamento dos equipamentos, que serão projetados, da forma que proporcione melhor funcionamento.

**Figura 11 - Layout do projeto de extração de óleo essencial de eucalipto**



Fonte: Autoria própria (2023).

**Figura 12 - Visão lateral do projeto de extração de óleo essencial de eucalipto**



Fonte: Autoria própria (2023).

Na elaboração da planta, o caminhão terá o lado direito totalmente aberto e uma abertura na parte superior para melhor manuseio dos equipamentos. As máquinas terão que ser bem fixadas no chão e nas paredes do caminhão, pois, como o mesmo será um extrator móvel e irá se deslocar para as áreas de corte dos eucaliptos, os equipamentos não podem se movimentar ou serão danificados.

Os equipamentos e tubulações terão que ter isolamento térmico ao redor, para que os funcionários não se queimem e para que não fique um ambiente aborrrível de

se trabalhar. EPI 's como luva térmica, roupa e óculos de proteção terão que ser fornecidos aos funcionários para minimizar o risco de acidentes de trabalho.

A caldeira a lenha poderá ser substituída por uma elétrica ou a diesel, se mantido as especificações de operações necessárias, com o intuito de minimizar o risco de explosão com relação a alta pressão e o risco de incêndio nas regiões de corte do eucalipto.

A análise da viabilidade técnica do processo foi realizada com o intuito de apresentar um parecer se o processo é tecnicamente viável ou não. Para isso, a seguir, foi respondido algumas perguntas.

1) Há equipamentos adequados para a produção desejada disponível no mercado para a compra? Sim, todos os equipamentos necessários para a realização do processo de extração do óleo essencial de eucalipto podem ser comprados no mercado.

2) Há a necessidade de alguma tecnologia inexistente ou inacessível para o controle do processo, que sem esse controle invalida o processo? Todas as tecnologias necessárias para o controle do processo já existem.

3) Há disponibilidade de matéria-prima e insumos necessários para a produção? Sim, a matéria-prima neste projeto é as folhas de eucalipto, que são muito predominantes na região de Toledo Paraná.

A análise da viabilidade financeira do projeto terá que ser realizada conforme os orçamentos dos equipamentos, instalações, mão de obra e estabelecer o custo de venda do óleo essencial de eucalipto e do hidrolato, para que no fim calcular quanto tempo irá demorar o retorno do investimento.

O projeto, a partir dos cálculos e análises realizadas, se mostrou viável, mas testes de performance são necessários para que na prática se torne realmente validado.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho se apresentam de maneira válida, pois foi possível realizar o dimensionamento da maioria dos equipamentos, a partir da formulação dos balanços de massa.

O desenvolvimento dos diagramas de blocos, fluxograma de processo, tubulação e instrumentação de processo ajudaram a visualizar todas as partes importantes do processo de produção do óleo essencial de eucalipto.

O *layout* e a visão lateral da planta proporcionaram melhor entendimento de onde cada equipamento, tubulações e malhas de controle ficaram dispostos, ajudando assim na realização de sua construção.

Pode-se concluir que a realização de testes de performance serão necessários para garantir melhor funcionamento do extrator móvel.

Para que o projeto possa ser real, ainda fica necessário realizar a viabilidade econômica de todo o processo e montagem, considerando a quantidade de eucalipto é extraído na região oeste do Paraná.

## REFERÊNCIAS

- AGROTAMA. **Gerador de Energia a Diesel 72 Kva Trifásico 110-220v Silenciado com QTA - ND72100ES3QTA - Nagano.** 2024. Disponível em: <[https://www.agrotama.com.br/produtos/gerador-de-energia-a-diesel-72-kva-trifasico-110-220v-silenciado-com-qta-nd72100es3qta/nagano-ND72100ES3QTA,26,878/?gad\\_source=&gclid=Cj0KCQiAzoEuBhDqARIsAMdH14FTwahgDvkHNB\\_Obr0yw-Z8a2iwTPrD8qAZfCw1qV02wd-3n6tP92waAqXmEALw\\_wcB](https://www.agrotama.com.br/produtos/gerador-de-energia-a-diesel-72-kva-trifasico-110-220v-silenciado-com-qta-nd72100es3qta/nagano-ND72100ES3QTA,26,878/?gad_source=&gclid=Cj0KCQiAzoEuBhDqARIsAMdH14FTwahgDvkHNB_Obr0yw-Z8a2iwTPrD8qAZfCw1qV02wd-3n6tP92waAqXmEALw_wcB)>. Acesso em: 12 de jan. 2024.
- AMARAL, F. **Técnicas de Aplicação de Óleos Essenciais** – Terapias de Saúde e Beleza. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- AQUIM, P. M. **Balanço de massa: Uma ferramenta para a implementação de melhorias nos processos de ribeira e curtimento.** 2004. 196f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Porto Alegre, 2004.
- ARAUTERM. **Caldeira de Vapor Saturado Vertical A Lenha.** 2023. Disponível em: <<https://arauterm.com.br/caldeiras-de-vapor/cvs-vl>>. Acesso em: 19 de nov. 2023.
- BUSATO, N. V., SILVEIRA, J. C., COSTA, A. O. S., JUNIOR, E. F. C. **Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.9, p.1574-1582, set. 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/gvHbsFT68gFVPfBksDYYhnL/?format=pdf>>. Acesso em: 18 de nov. 2023.
- BRUNETON, J. **Farmacognosia. Fitoquímica. Plantas Medicinales.** Editorial Acribia, S.A., 2ª edición, Zaragoza, 2001.
- CASSEL, E.; VARGAS, R. **Experiments and modeling of de Cymbopogon winterianus essential oil extraction by steam distillation.** *J. Mex. Chem. Soc.*, v. 50, p. 126 - 129, 2006.
- CASTRO, N. E. A. **Caracterização fitoquímica de óleos essenciais de eucalipto e seu efeito sobre o protozoário tripanossomatídeo (herpetomonas samuelpessoai).** Dissertação de Pós-graduação - Universidade Federal de Lavras, 2006.
- CAMARGO. **Condensador de casco e tubo inox.** 2023. Disponível em: <[https://www.camargoindustrial.com.br/maquina-usada/?e=Condensador+casco+e+tubo+inox\\_882-252](https://www.camargoindustrial.com.br/maquina-usada/?e=Condensador+casco+e+tubo+inox_882-252)>. Acesso em: 7 de nov. 2023.
- DIAS, G. H. **PROJETO DE UM EQUIPAMENTO PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS POR ARRASTE A VAPOR.** 2019. Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.
- EBOMBAS. **Bomba Centrífuga Schneider ME-BR 1640V - 4 Cv 220/380/440/760V Trifásico.** 2024. Disponível em: <[https://www.ebombas.com.br/bomba-centrifuga-schneider-me-br-1640v-4-cv-220-380-440-760v-trifasico?search=87237934-00&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiAzoEuBhDqARIsAMdH14FwXauEG\\_PwQvT6zeTIRliuC](https://www.ebombas.com.br/bomba-centrifuga-schneider-me-br-1640v-4-cv-220-380-440-760v-trifasico?search=87237934-00&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAzoEuBhDqARIsAMdH14FwXauEG_PwQvT6zeTIRliuC)>

VajbUWicKyYp\_Xj5BIL9WPqiGyBy3gaAmcIEALw\_wcB.>. Acesso em: 10 de jan. 2024.

ECINTEC. **Extração por arraste de vapor [Arraste de Vapor]**. 2023. Disponível em: <<https://ecirtec.com.br/equipamentos/extracao-por-arraste-de-vapor-arraste-de-vapor> />. Acesso em: 7 de nov. 2023.

EDRAWSOFT. **O que é um Diagrama de Tubulação e Instrumentação**. 2021. Disponível em: <<https://www.edrawsoft.com/pt/what-is-piping-instrumentation-diagram.html>>. Acesso em: 13 de janeiro 2024.

ESSENCEFLORA. **Processos de Produção de Óleo Essenceflora**. 2023. Disponível em: <<https://essenceflora.com.br/oleo-essencial>>. Acesso em: 17 de nov. 2023.

EMBRAPA. **O Eucalipto**. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto>>. Acesso em: 18 maio. 2022.

FABROAQUECEDORES. **Boiler 300 Litros Vertical Alta Pressao aco316l Soria**. 2023. Disponível em: <[https://www.fabroaquecedores.com.br/produtoD/boiler-300-litros-vertical-alta-pressao-aco316l-soria?gclid=Cj0KCQiAzoouBhDqARIsAMdH14G8\\_Jp\\_iRy-vwEh9i2lyfzZol3qzAjEac3EkA54httyTjlnIcl84qsaApHUEALw\\_wcB](https://www.fabroaquecedores.com.br/produtoD/boiler-300-litros-vertical-alta-pressao-aco316l-soria?gclid=Cj0KCQiAzoouBhDqARIsAMdH14G8_Jp_iRy-vwEh9i2lyfzZol3qzAjEac3EkA54httyTjlnIcl84qsaApHUEALw_wcB)>. Acesso em: 7 de nov. 2023.

FABROWSKI, F.J. **Eucalyptus smithii R. T. BAKER (Myrtaceae) como espécie 75 produtoras de óleo essencial no sul do Brasil**. Curitiba, 2002, 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

FELIPE, L. O., BICAS, J. L. **Terpenos, aromas e química dos compostos naturais**. 2017. Quím. nova esc, Vol. 39, N° 2, p. 120-130, MAIO 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/317254272\\_Terpenos\\_aromas\\_e\\_a\\_quimica\\_do\\_s\\_compostos\\_naturais#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/317254272_Terpenos_aromas_e_a_quimica_do_s_compostos_naturais#fullTextFileContent)>. Acesso em: 15 de nov. 2023.

HD EQUIPAMENTOS. **Torres de Resfriamento de água - série 400**. 2023. Disponível em: <[https://www.camargoindustrial.com.br/maquina-usada/?e=Condensador+casco+e+tubo+inox\\_882-252](https://www.camargoindustrial.com.br/maquina-usada/?e=Condensador+casco+e+tubo+inox_882-252)>. Acesso em: 7 de nov. 2023.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2017**. Rio de Janeiro, 2017.

LANÇAS, F. M., CAVICHIOLI, M. **Analysis of the Essential Oils of Brazilian Citrus Fruits by Capillary Gas Chromatography**. *Journal of High Resolution Chromatography*, vol. 13, p. 207-209, 1990.

LEAL, P. F. **Estudo comparativo entre os custos de manufatura e as propriedades funcionais de óleo voláteis obtidos por extração supercrítica destilação por arraste a vapor**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MAGALHÃES, C. H. A. **EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE AROEIRA DA PRAIA (SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS RADDI)**. 2020. Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas - UFA, Câmpus Maceió, 2020. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/9006/1/Extra%C3%A7%C3%A3o%20do%20C3%B3leo%20essencial%20de%20aroeira%20da%20praia%20%28Schinus%20terebinthifolius%20raddi%29.pdf>>. Acesso em: 20 de nov.

2023.

MATEUS, E.M., LOPES, C., NOGUEIRA, T., LOURENÇO, J.A.A., CURTO, M.J.M. **Pilot steam distillation of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) from Portugal.** *Silva Lusitana*, 2006, 14(2), 203-217.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Informações Sistematizadas da Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS.** 2018. Disponível em: <[https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/informacoes\\_sistematizadas\\_relacao\\_nacional\\_plantas\\_medicinais\\_interesse\\_sus\\_eucalipto.pdf](https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/informacoes_sistematizadas_relacao_nacional_plantas_medicinais_interesse_sus_eucalipto.pdf)>. Acesso em: 21 de nov. 2023.

OYEDEJI, A. O.; EKUNDAYO, O.; OLAWORE, O. N.; ADENIYI, B. A.; KOENIG, W. A. **Antimicrobial activity of the essential oils of five *Eucalyptus* species growing in Nigeria.** *Science Direct - Fitoterapia*, [S.l.], v. 70, p. 526-528, 1999.

PERES, L. E. P. **Metabolismo Secundário. Piracicaba** – São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. ESALQ/USP, 2004. p. 1-10.

PETRIKOSKI, A.P.; et al. **Estudo e otimização do processo de extração por arraste de vapor de óleo essencial de *Eucalyptus grandis*.** In: 49º Congresso Brasileiro de Química. Porto Alegre – RS, 2009.

PROPEQ. **Dimensionamento de processos e sua importância na produção.** 2020. Disponível em: <<https://propeq.com/dimensionamento-processos/>>. Acesso em: 18 maio. 2022.

QUINARÍ. **ISOLADOS NATURAIS, Eucaliptol (1,8 - cineol).** 2023. Disponível em: <<https://www.quinari.com.br/loja/eucaliptol/>>. Acesso em: 15 de nov. 2023.

SALTOR, R. B. **Modelagem, Simulação e Otimização de uma Unidade Industrial de Extração de Óleo Essencial por Arraste a Vapor.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SEUPOSTO. **Caixa Separadora de água e óleo - Modelo ZP - 2000.** 2023. Disponível em: <<https://www.seuposto.com/caixa-separadora-de-agua-e-oleo-modelo-zp-2000>>. Acesso em: 7 de nov. 2023.

SILVA, J. H. S. **DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS VINCULADOS À EXTRAÇÃO POR ARRASTE A VAPOR.** Dissertação para obtenção do título de Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 2016.

SILVEIRA, A. C. **Óleo essencial de espécies de eucaliptos.** 2020. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223332/1/EmbrapaFlorestas-2021-LV-EucaliptoEmbrapa-cap18.pdf>>. Acesso em: 14 de dez. 2023.

SIMÕES, C. M., SCHENKEL, E. P. **Farmacognosia: do produto natural ao medicamento.** 2017. Porto Alegre, 2000. *Artmed*. 2017.

STEFFANI, E. **Modelagem matemática de processos de extração supercrítica de óleo essencial de *Ho-Sho* (*Cinnamomum camphora* Nees & Eberm var. *linaloolifera* Fujita)**

**utilizando CO<sub>2</sub>.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

**SPOHR, M. L. EXTRAÇÃO E AVALIAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE EUCALIPTO DE CORTE DA ESPÉCIE E. grandis CULTIVADO NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ.** 2023. Trabalho de conclusão de curso - Processo Químico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Toledo, 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4.ed. Porto Alegre: Artmed. 2009.

TOMPKINS, J.; WHITE, J.; BOZER, Y. A.; TANCHOCO, J. **Planejamento de instalações.** Editora LTC:, 2013.

TURTON, R.; BAILIE, R.C.; WHITING, W.B.; SHAEIWITZ, J.A.; BHATTACHARYYA, D. **Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes.** Prentice Hall. USA, 2009. 3th Edition.

VITTI, A. M. S., BRITO, J. O. **Óleos Essenciais de Eucalipto.** Documentos Florestais, N° 17, ISSN 0103-4715. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2003.

VIVIAN, G. A. **ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DE UM SISTEMA MÓVEL DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE EUCALIPTO.** 2010. Universidade Federal de Lavras. CERNE, vol. 17, núm. 1, enero-marzo, 2011, pp. 23-31. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/744/74418598004.pdf>>. Acesso em: 23 de ago. 2023.