

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA**

**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**GABRIEL HISS DIAS**

**PROJETO DE UM EQUIPAMENTO PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS  
ESSENCIAIS POR ARRASTE A VAPOR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2019**

GABRIEL HISS DIAS

**PROJETO DE UM EQUIPAMENTO PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS  
ESSENCIAIS POR ARRASTE A VAPOR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk

Co-Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Júnior

PATO BRANCO

2019

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### PROJETO DE UM EQUIPAMENTO PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS POR ARRASTE A VAPOR

GABRIEL HISS DIAS

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 19/06/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

---

Prof. Msc. Roberto Nunes da Costa  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. Msc. Luís Antônio Brum do Nascimento  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha família, em especial minha mãe e meus tios por proporcionarem a mim a oportunidade de cursar um curso de engenharia em uma universidade federal e pelo apoio nos momentos de dificuldade.

Agradeço entre os profissionais que me auxiliaram tanto no tempo do desenvolvimento deste trabalho, agradeço ao meu orientador e amigo, professor Dr. Paulo Cezar Adamczuk, cujo afincamento e interesse pela presente pesquisa demonstrou-se essencial para conclusão do mesmo, sua orientação foi muito valorosa. Ao professor Dr. Luís Carlos Martinelli Júnior que me auxiliou muitas vezes no trabalho como Co-orientador.

Agradeço também aos professores da banca de avaliação por doarem seu tempo e estar presentes nesta fase tão importante da minha vida.

Agradeço também a Universidade Tecnológica Federal do Paraná por proporcionar espaço físico e conhecimento sobre o assunto.

Agradeço aos meus amigos e amigas pela parceria e suporte. Além disso agradeço a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram e fizeram parte desta fase de grande crescimento pessoal e profissional.

## RESUMO

DIAS, Gabriel Hiss. PROJETO DE UM EQUIPAMENTO PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS POR ARRASTE A VAPOR. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

O presente trabalho tem como objetivo o projeto de um equipamento que possa ser utilizado para extração de óleos essenciais pelo processo de arraste a vapor, onde se investigou partes mecânicas, estruturais e designer do equipamento, materiais utilizados e conceitos de transferência de calor envolvidos no processo. O arraste a vapor é o processo de extração mais comumente utilizado por ser fácil e não demandar uma grande quantidade de equipamentos específicos ou de alto custo. Os resultados mostram satisfatórios para um primeiro projeto onde foi-se avaliada diversas áreas da engenharia mecânica (materiais, transferência de calor, termodinâmica, resistência dos materiais, processos de fabricação e soldagem) para o funcionamento do equipamento.

Palavras-chave: Óleos essenciais, Extração, Arraste a vapor.

## **ABSTRACT**

DIAS, Gabriel Hiss. DESIGN OF AN EQUIPMENT FOR THE EXTRACTION OF ESSENTIAL OILS BY STEAM DISTILLATION. 2019. Course Completion Work (Bachelor of Mechanical Engineering) - Bachelor of Mechanical Engineering. Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2019.

The present work has the objective of designing an equipment that can be used to extract essential oils by the steam distillation process, where mechanical, structural and designer parts of the equipment, materials used and heat transfer concepts involved in the process were investigated. Steam distillation is the most commonly used extraction process for being easy and does not require a lot of specific or expensive equipment. The results show satisfactory results for a first project in which several areas of mechanical engineering (materials, heat transfer, thermodynamics, materials resistance, manufacturing processes and welding) were evaluated for the operation of the equipment.

Keywords: Essentials oils, Extraction, Steam Distillation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de enflourage.....	16
Figura 2 – Modelos industriais para extração de óleo essencial por arraste a vapor.....	17
Figura 3 - Equipamento do processo de arraste a vapor.....	18
Figura 4 - Esquema de processo industrial por arraste a vapor (vapor seco).....	19
Figura 5 - Processo de prensagem.....	20
Figura 6 - Processo por dióxido de carbono supercrítico.....	21
Figura 7 - Massa vegetal no processo de hidrodestilação.....	22
Figura 8 - Etapas do processo de arraste a vapor.....	26
Figura 9 - Distribuição de temperaturas em escoamento paralelo.....	28
Figura 10 - Fluxo do escoamento paralelo.....	28
Figura 11 - Distribuição de temperaturas em escoamento contracorrente.....	29
Figura 12 - Fluxo do escoamento contracorrente.....	29
Figura 13 - Distribuição de temperaturas em escoamento com mudança de fase.....	30
Figura 14 - Vaso florentino.....	31
Figura 15 - Esquema simplificado de válvulas para o equipamento.....	38
Figura 16 - Exemplo de esquema de cesto do extrator.....	41
Figura 17 – Ancoragem do Cesto de Carga.....	42
Figura 18 - Simulação de esforços sobre suporte de apoio.....	42
Figura 19 – Vedação Hidráulica do equipamento.....	43
Figura 20 - Extrator.....	44
Figura 21 - Cesto para armazenamento de massa vegetal.....	45
Figura 22 - Base do extrator.....	47
Figura 23 - Golpe de Aríete.....	48
Figura 24 - Tampa com pescoço com cisne.....	48
Figura 25 - Visão interna da tampa com pescoço com cisne.....	49
Figura 26 - Condensador.....	51
Figura 27 - Vista interna do condensador.....	51
Figura 28 - Gráfico de temperaturas do escoamento no condensador.....	52
Figura 29 - Equipamento industrial de extração de óleos essenciais.....	54

Figura 30 - Vista explodida do equipamento industrial de extração de óleos essenciais.....	55
---	----



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVO PRINCIPAL	13
1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	13
1.3	JUSTIFICATIVA	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
2.1	MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS	15
2.1.1	Enfloração	15
2.1.2	Destilação por Arraste a Vapor	16
2.1.3	Extração com Solventes	19
2.1.4	Prensagem	20
2.1.5	Extração por Dióxido de Carbono Supercrítico	20
2.1.6	Hidrodestilação	21
2.2	MASSA VEGETAL	22
2.3	INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NA EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL	23
2.4	TEMPERATURA DE EXTRAÇÃO	24
2.5	POLARIDADE E APOLARIDADE DE SUBSTÂNCIAS	24
2.6	ETAPAS DO PROCESSO DE ARRASTE A VAPOR	25
2.7	CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE EXTRAÇÃO POR ARRASTE DE VAPOR	26
2.7.1	Extrator (Dorna)	26
2.7.2	Tampa e Pescoço de Cisne	27
2.7.3	Condensador	27
2.7.4	Vaso Florentino	31
2.8	DENSIDADE DE EMPACOTAMENTO	32
2.9	AÇOS INOXIDÁVEIS	32

2.10 SOLDAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS .....	32
2.11 TUBOS DE AÇO .....	33
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
4.1 ESTUDO DE MODELO DE EXTRATORES.....	35
4.2 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA A SER PROJETADO.....	35
4.3 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS.....	35
4.4 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO.....	36
4.5 CONTROLE DA TEMPERATURA DO PROCESSO .....	36
4.6 PROJETO DO CONJUNTO EXTRATOR.....	38
4.6.1 Dimensões do Conjunto Extrator.....	38
4.6.2 Capacidade de Carga do Extrator .....	39
4.6.3 Vazão Volumétrica Através do Extrator.....	40
4.6.4 Cesto de Carga .....	40
4.6.5 Ancoragem do Cesto.....	41
4.6.6 Vedação Hidráulica .....	43
4.6.7 Desenho do Sistema de Extração .....	44
4.6.8 Processo de Fabricação do Conjunto Extrator .....	45
4.6.9 Processo de Fabricação do Cesto de Carga .....	46
4.6.10 Isolamento Térmico.....	46
4.7 DEFINIÇÃO DA BASE DO EXTRATOR.....	46
4.8 PROJETO DA TAMPA COM PESCOÇO DE CISNE .....	47
4.8.1 Processo de Fabricação da tampa com pescoço de cisne.....	49
4.9 DEFINIÇÃO DO CONDENSADOR .....	50
4.9.1 Fabricação do Condensador .....	53
4.9.2 Água para Resfriamento de Vapor.....	53
4.9.3 Limpeza do Condensador .....	54

4.10 MONTAGEM FINAL DO EQUIPAMENTO .....	54
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>56</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais são substâncias viscosas aromáticas utilizadas em diversos segmentos da indústria, como na produção de cosméticos, produtos farmacêuticos, produtos de limpeza, perfumaria, alimentos, entre outros. Existem diversas formas de produção deste óleo, mas independente do processo utilizado, sempre a produção dos óleos essenciais é em pequenas quantidades, sendo a maior parte do extrato final composto por hidrolatos. Segundo Bizzo (2013, p. 48), “O rendimento máximo de extração de óleos críticos é de 0,4%, ou seja, para cada tonelada de massa vegetal processada, são obtidos quatro quilos de óleo”.

De acordo com Namu (2018) “Os hidrolatos são substâncias obtidas da destilação de componentes voláteis de origem vegetal.” Os hidrolatos contêm propriedades terapêuticas provenientes das plantas úteis para uso oral e na pele e estes líquidos também possuem um bom valor comercial e podem ser muito bem aproveitados (FERNANDES, H. 2012, p. 26). Geralmente são utilizados na aromaterapia e homeopatia, possuem cheiro e propriedades semelhantes ao óleo essencial, porém mais fracas e é produzido em uma escala maior.

Em um mercado cada vez mais competitivo, a extração de óleos essenciais deve ser otimizada devido seu baixo volume obtido pelos processos em geral. O Brasil é um potente produtor desta matéria prima devido à diversidade de sua flora e potencial produtivo, o que proporciona condições favoráveis ao desenvolvimento de tecnologia neste campo.

O Brasil é um dos quatro grandes produtores mundiais de óleos essenciais junto à China, Índia e Indonésia, sendo que o mercado mundial movimenta cerca de US\$ 15 bilhões/ano. Entretanto, o país não possui grandes investimentos no setor prejudicando a qualidade de seus produtos e sua representatividade (BIZZO, 2013, p.48).

Portanto a linha de pesquisa tem por objetivo o projeto de um equipamento de extração de óleo essencial de forma que qualquer pessoa ou empresa tenha a possibilidade de fabricar o mesmo e realizar o processo de obtenção de óleo essencial, já que a maior parte da extração é praticamente artesanal atualmente. Adicionalmente o desenvolvimento de um projeto do equipamento pode ser uma

grande contribuição para pesquisa nacional na área de óleos essenciais. A maior parte das pesquisas do setor tem foco na extração de óleos em pequena escala (laboratórios) ou nas propriedades dos óleos, sendo pouco explorados os equipamentos utilizados nos processos.

### 1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um projeto simplificado de um equipamento para extração de óleo essencial por meio do arraste de vapor.

### 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

A fim de atingir o objetivo principal os seguintes objetivos devem ser alcançados:

- Estudar o princípio básico da extração do óleo por arraste de vapor;
- Analisar os parâmetros do processo de extração, tais como, velocidade, pressão e temperatura do vapor;
- Definir o modelo mais adequado;
- Realizar um estudo dos materiais aplicáveis;
- Projetar um sistema com praticidade ergonômica e operacional;
- Dimensionar os componentes necessários;
- Simular esforços na estrutura.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O objeto em estudo é existente e comercializado em diversas formas e modelos diferentes em todo o mundo. Apesar de não ser uma ideia inédita, o intuito do trabalho é realizar uma proposta de um equipamento com o objetivo de possibilitar empresas

ou pessoas a adquirirem um equipamento de extração de óleo essencial, sabendo as necessidades e componentes necessários para tal finalidade. Para este projeto, considerou-se a estrutura do equipamento, materiais ideais e componentes necessários para atender as necessidades impostas pelo processo.

Além disso, uma justificativa para o trabalho são os poucos estudos encontrados sobre os equipamentos de extração de óleos essenciais, a maioria dos trabalhos já existentes comenta apenas sobre composições e propriedades dos óleos.

O estudo também se justifica por poder contribuir com a tecnologia da indústria farmacêutica, alimentícia e de cosméticos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

Existem diversos procedimentos para obtenção de óleos essenciais. A escolha do mesmo depende das características da planta em questão, pois certos processos de extração mudam a composição do extrato final. De acordo com Gramoelli Júnior (2006, p.55) “Os métodos empregados para a extração do óleo essencial de menta não são aplicáveis para o óleo essencial de rosas”.

Os métodos de extração de óleos essenciais são: enfloração, destilação por arraste a vapor, extração com solventes, maceração, prensagem e extração por dióxido de carbono supercrítico.

#### 2.1.1 Enfloração

A enfloração (ou enfleurage) é um método de extração do óleo de algumas flores como rosas, jasmims, violetas e tuberosas (AZAMBUJA, 2018). Este tipo de processo é aplicado às flores devido à perda de propriedades e aroma do extrato final quando outro método é utilizado e decomposição das flores em altas temperaturas. As pétalas são mergulhadas em óleos vegetais por vinte e quatro horas até a mesma seja saturada, esta etapa é repetida várias vezes até a saturação total dos óleos. Em seguida trata-se o óleo com álcool para uma posterior destilação, resultado no óleo essencial da flor (GRAMOLELLI JÚNIOR et al, 2006). A figura 1 demonstra as pétalas mergulhadas no óleo vegetal.

**Figura 1 – Processo de enfleurage.**



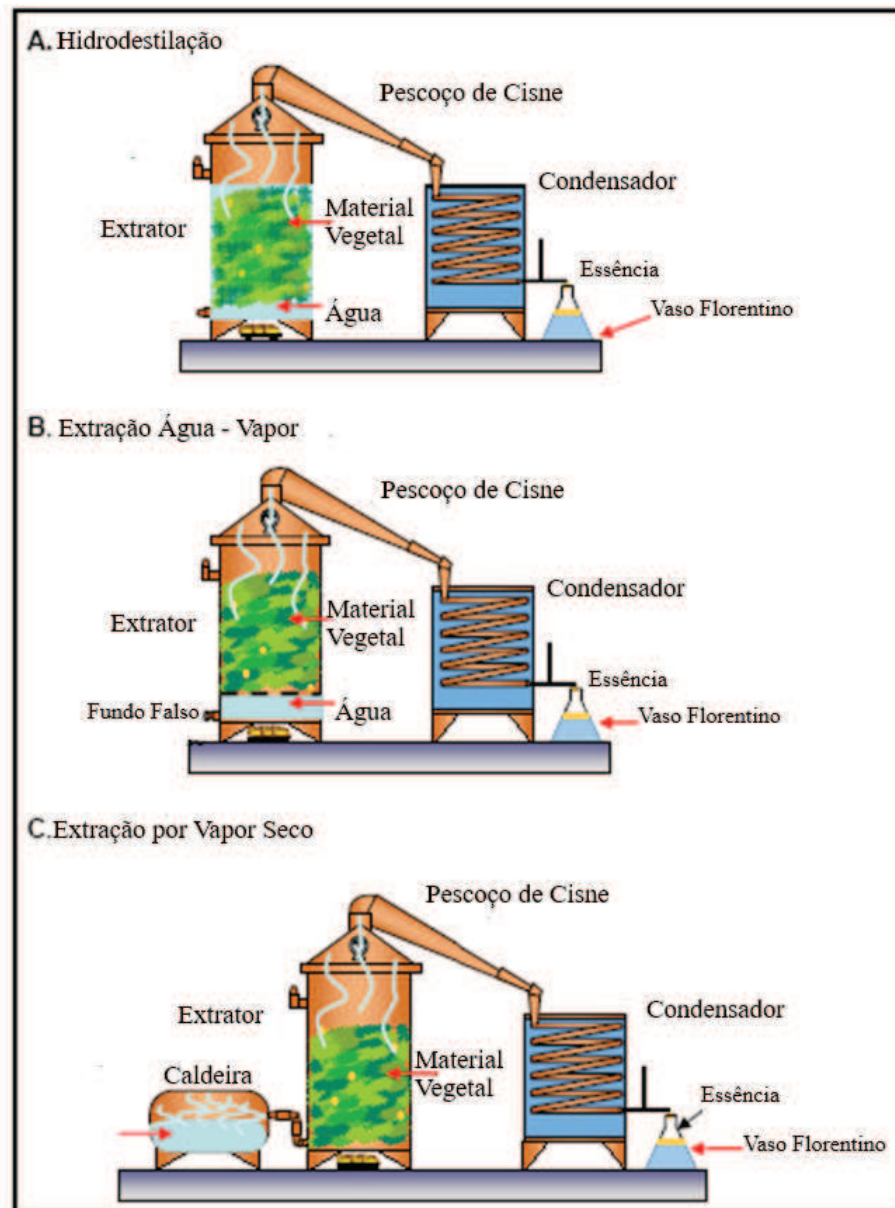
**Fonte: DIAS, Patrícia (2015).**

### 2.1.2 Destilação por Arraste a Vapor

O método de extração de óleos essenciais de destilação por arraste a vapor é o método mais aplicado a nível mundial e viável economicamente. Pode ser utilizado para extração de óleos de diversos vegetais, tais como: folhas, raízes, ramos, gramíneas, sementes e um pequeno grupo de flores (AZAMBUJA, 2018). Nesse método, água é aquecida até sua vaporização, o vapor é conduzido sob pressão para a massa vegetal onde o calor abre as paredes celulares do material facilitando a retirada do óleo contido em suas células. O vapor então absorve o óleo essencial e segue por tubos até um condensador onde é condensado e o extrato final é depositado em um vaso florentino onde a diferença de densidade separa o óleo essencial do hidrolato naturalmente (TISSORT, SCARPA e WINKEL, 2014, p.4). A figura 2 apresenta as três formas de extração do óleo essencial.



Figura 2 – Modelos industriais para extração de óleo essencial por arraste a vapor.



Fonte: Adaptado de LEONIDAS (2012).

Conforme Figura 2 existem três variações do método por extração a vapor: extração por hidrodestilação; extração por água-vapor; extração por vapor seco. Na sequência descreve-se cada um deles.

Extração por hidrodestilação (Figura 2 – A): A hidrodestilação trata-se de um processo diferente, suas diferenças são melhores detalhadas no item 2.1.6, neste modelo a massa vegetal fica imersa em água para ocorrer a extração. O vapor com

óleo essencial é conduzido para um condensador na sequência e assim realizada a condensação e separação do mesmo. A Figura 2 – A mostra detalhes desse sistema.

Extração água-vapor (Figura 2 – B): A água fica localizada em baixo da massa vegetal onde é aquecida (geralmente por uma fornalha), assim é importante controlar o nível de água e o fogo. Além disso a transferência de calor é mais concentrada na parte inferior do extrator devido a chama estar mais próxima a massa vegetal, deixando as plantas sujeitas a temperaturas mais elevadas e podendo prejudicar a qualidade do óleo. Uma desvantagem desse processo é a utilização de combustíveis para manter a chama, o que requer uma logística adequada o controle do mesmo. Na figura 3 temos um exemplo deste tipo de equipamento.

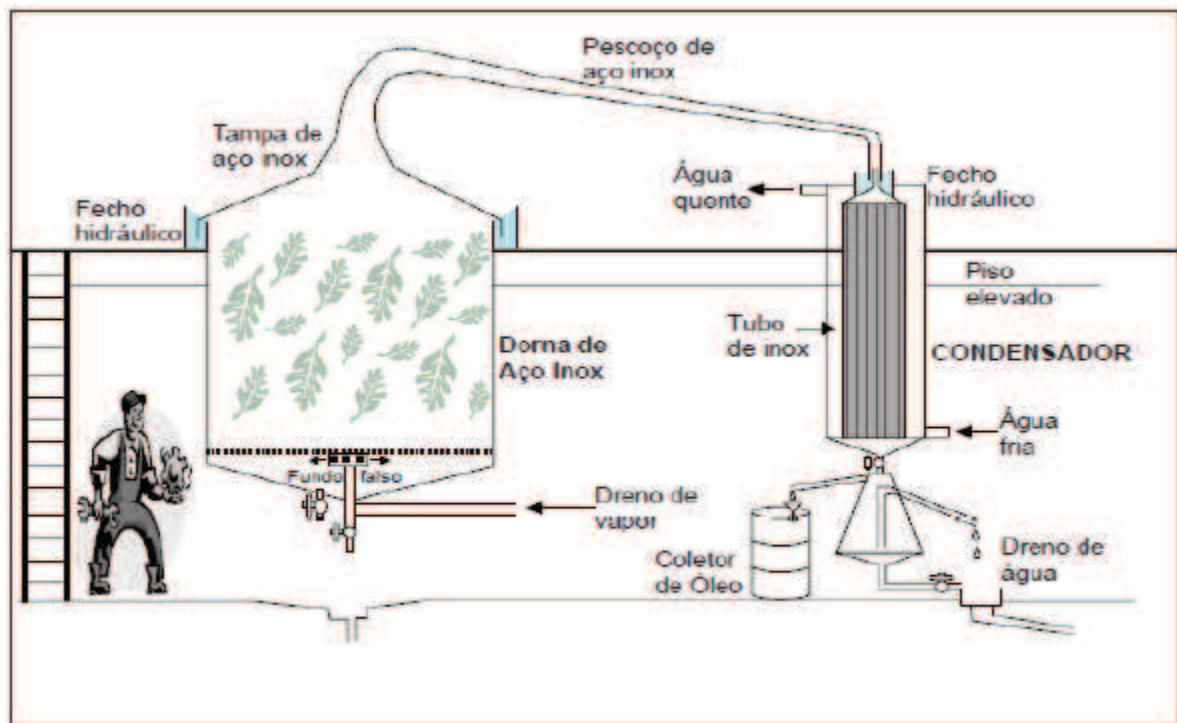
**Figura 3 – Equipamento do processo de arraste a vapor.**



**Fonte: LASZLO Aromaterapia (2018).**

Extração por Vapor Seco (Figura 2 – C): A captação do vapor é mediante uma caldeira ligada diretamente ao extrator também é uma boa alternativa, nela a taxas de vapor são mais facilmente controladas junto a temperatura, mantendo assim os 100°C recomendados em média (TALANDA, 2005). Na figura 4, a seguir, temos um esquema ilustrativo do processo de extração por arraste a vapor por caldeira. Nesta imagem pode-se observar alguns detalhes, como um fundo falso para retirada fácil da massa vegetal do equipamento, uma vedação hidráulica e presença de um purgador para retira de líquidos que foram condensados no processo.

Figura 4 – Esquema de processo industrial por arraste a vapor (vapor seco).



Fonte: VALENTIM João Augusto (2018).

Alguns exemplos de plantas que tem seus óleos essenciais obtidos pelo processo de arraste a vapor são: eucalipto, hortelã, alecrim, capim limão, lavanda, citronela, palmarosa, cravo da Índia, erva-cidreira e até mesmo cascas como a da laranja.

### 2.1.3 Extração com Solventes

Este método é semelhante ao processo de enfloração, flores mergulhadas em um solvente são colocadas em extratores em um ambiente de temperatura controlada. Este solvente pode ser éter de petróleo, benzeno, hexano, dentre outros. As flores são dissolvidas no solvente junto ao seu aroma, cera e coloração. Este processo reproduz um aroma mais fiel em comparação ao processo de arraste a vapor, porém possui um custo elevado devido à complexidade do método (GRAMOLELLI JÚNIOR et al, 2006).

#### 2.1.4 Prensagem

Este processo geralmente é utilizado para a extração de óleos essenciais de frutas críticas. As frutas são pressionadas por grandes prensas hidráulicas que retiram o suco e o óleo. O óleo é separado do suco através de centrifugação, destilação fracionada ou decantação (FERNANDES, 2012). A figura 5 mostra este tipo de extração.

**Figura 5 – Processo de prensagem para extração de óleos essenciais de frutas críticas.**



Fonte: AZAMBUJA, Wagner (2018).

#### 2.1.5 Extração por Dióxido de Carbono Supercrítico

Neste processo, o dióxido de carbono sob uma elevada pressão (próximo a 73 bar) e temperaturas entre 31°C e 33°C passam sob a massa vegetal, a alta pressão abre as paredes celulares do material permitindo a retirada do óleo (AZAMBUJA, 2018).

Nesta faixa de temperatura o dióxido de carbono fica um pouco liquefeito, com viscosidade de um gás e capacidade de dissolução de um líquido. Depois da extração o dióxido de carbono retorna a fase gasosa (SANTOS, 2014).

Este método possui muitas vantagens em relação aos demais processos, consegue manter uma ótima fragrância, mas é pouco utilizado devido ao alto custo de seus equipamentos devido à resistência à alta pressão (GRAMOLELLI JÚNIOR et al, 2006). Na figura 6 temos uma imagem do equipamento de extração por dióxido de carbono supercrítico.

**Figura 6 – Processo de extração de óleo essencial por dióxido de carbono supercrítico.**



**Fonte: LASZLO Aromaterapia (2018).**

#### 2.1.6 Hidrodestilação

A hidrodestilação apesar de ser um processo semelhante à destilação por arraste a vapor possui uma diferença. No primeiro processo a água e o material vegetal estão em contato, no segundo não há contato entre ambos (SANTOS, 2014, p.20). A figura 7 expressa bem esta diferença. De acordo com Petfaem (2011) o processo de hidrodestilação tem a vantagem de ser um processo de baixo custo e muita praticidade, porém sua desvantagem é que alguns componentes são sensíveis a hidrólise, a eficiência energética do processo é relativamente baixa e se o tempo de processo se estender muito a qualidade do óleo fica comprometida.

**Figura 7 – Massa vegetal no processo de hidrodestilação.**



**Fonte: AZAMBUJA, Wagner (2019).**

## 2.2 MASSA VEGETAL

O material vegetal a ser utilizado influencia diretamente no óleo essencial produzido no processo. De acordo com Bousbia (2011), existem alguns parâmetros da massa vegetal que devem ser considerados para se obter um óleo de qualidade, alguns deles são:

- Escolha de Plantas: Onde é determinada de qual espécie da planta servirá a matéria prima.
- Modo de colheita: A forma da colheita deve ter o menor impacto possível sobre a planta para aproveitar o material ao máximo. Em alguns casos a colheita manual pode ser até considerada.
- Local de origem: O local de plantio pode influenciar diretamente na planta pela sua temperatura ambiente como o solo em que foi plantado.
- Estágio vegetativo: É recomendada que a colheita aconteça na fase vegetativa da planta (fase de crescimento da planta antes do estágio reprodutivo). Nesta etapa a planta é mais rica em essência.

- Hora do dia da colheita: A hora do dia é um fator que também exerce grande influência. Durante o período da madrugada, quando o orvalho se evapora que a concentração dos óleos essenciais é maior nas plantas devido as gotículas de orvalho ainda impedem a evaporação dos óleos.
- Partes da Planta: Partes diferentes da mesma planta podem produzir quantidades diferentes de óleo essencial (flor, caule, folha.....).

Além disso, as plantas também possuem parâmetros de extração importantes para a operação do processo e resultado final. Estes parâmetros são citados por Bousbia (2011), dos quais são:

- Volatilidade: Capacidade de um fluido no estado líquido vaporizar;
- Solubilidade: Capacidade de uma substância dissolver-se em um líquido;
- Tamanho e forma das moléculas constituintes;
- Adsorção: Capacidade de um fluido aderir a uma superfície sólida.

### 2.3 INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NA EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

Estudos apontam que há diferenças no rendimento de extração de óleos essenciais pela utilização de massa vegetal fresca ou seca. A massa vegetal fresca possui um maior índice de umidade, o que aglutina o óleo e dificulta a retirada do mesmo pelo vapor (GASPARIN, 2014, p.340). Logo, uma massa vegetal seca (onde se é aplicado um processo de secagem) aumenta o rendimento na quantidade de óleos essenciais produzida pelo processo.

A secagem da massa vegetal é recomendada também por outros parâmetros, segundo Gasparin (2014), “O processo de secagem se faz necessário para aumentar o tempo de conservação e a vida útil do produto facilitando seu transporte, manuseio e armazenamento”.

É importante ressaltar que existem várias formas de se realizar a secagem, desde apenas deixar o material ao sol à utilização de estufas que podem conter ou não circulação forçada de ar (OLIVEIRA, 2011, p.20). De acordo com Olivera (2011, p.21):

A secagem ao sol, para a maioria das plantas medicinais e aromáticas é desaconselhada, uma vez que o processo de fotodecomposição ocorre intensamente, degradando os componentes químicos, causando alterações de cor, sabor e odor na erva.

A utilização de estufas é uma prática menos aplicada devido ao custo e tempo que se aplicam ao procedimento. Além disso se o processo de secagem for malconduzido, uma série de implicações podem ocorrer como proliferação de fungos ou perda da capacidade de volatilização do óleo (OLIVEIRA, 2011).

## 2.4 TEMPERATURA DE EXTRAÇÃO

Existe uma condição no processo de arraste a vapor para extração de óleos essenciais, caso o vapor ultrapasse a temperatura ideal do processo as propriedades do óleo resultante são alteradas e a massa vegetal pode se desfazer dependendo do tipo da espécie da planta. Segundo Azambuja, J (2012 p.12):

O rendimento e a qualidade do produto dependem, em grande parte, da qualidade do equipamento e da correta técnica de operação, onde, as condições do vapor são fundamentais, devendo estar saturado (entre 100°C E 110°C), mas não superaquecido.

A temperatura de extração nesses processos pode ser controlada por meio da pressão já que são correlacionadas. De acordo com Bousbia (2011), o aumento da temperatura permite maior solubilidade e difusividade do óleo essencial e diminui sua viscosidade, porém deve ser limitado para evitar o risco de extração de compostos nocivos e degradação térmica da massa vegetal. Além disso, temperaturas muito elevadas degradam os óleos essenciais, pois os mesmos contém muitos compostos voláteis.

## 2.5 POLARIDADE E APOLARIDADE DE SUBSTÂNCIAS

Geralmente em extrações de óleos essenciais em laboratórios, óleo pode ficar impregnado nas paredes dos componentes de extração, sendo assim a utilização de



substâncias polares ou apolares ajudam a limpeza do equipamento. Esta limpeza ocorre devido a solubilidade entre substâncias químicas terem influência da polaridade das ligações químicas e sua estrutura molecular. Existe uma regra empírica que comenta: “semelhante se dissolve em semelhante”, ou seja, as substâncias polares são solúveis em substâncias polares e os solúveis apolares são dissolvidos em solventes apolares (MARTINS, LOPES e ANDRADE, 2013, p.1). Segundo Laszlo (2001, p.2) os óleos essenciais são ainda solúveis em solventes orgânicos apolares, recebendo por isso o nome de óleos étereos e possuem uma solubilidade limitada em água, mas o suficiente para aromatizar essas soluções que são chamadas de hidrolatos. No item 4.9.3 há uma sugestão de como utilizar este conhecimento para limpeza do equipamento.

## 2.6 ETAPAS DO PROCESSO DE ARRASTE A VAPOR

Existem algumas características do processo a serem consideradas. De acordo com Chávez (2007) o processo de extração por arraste a vapor tem duas etapas:

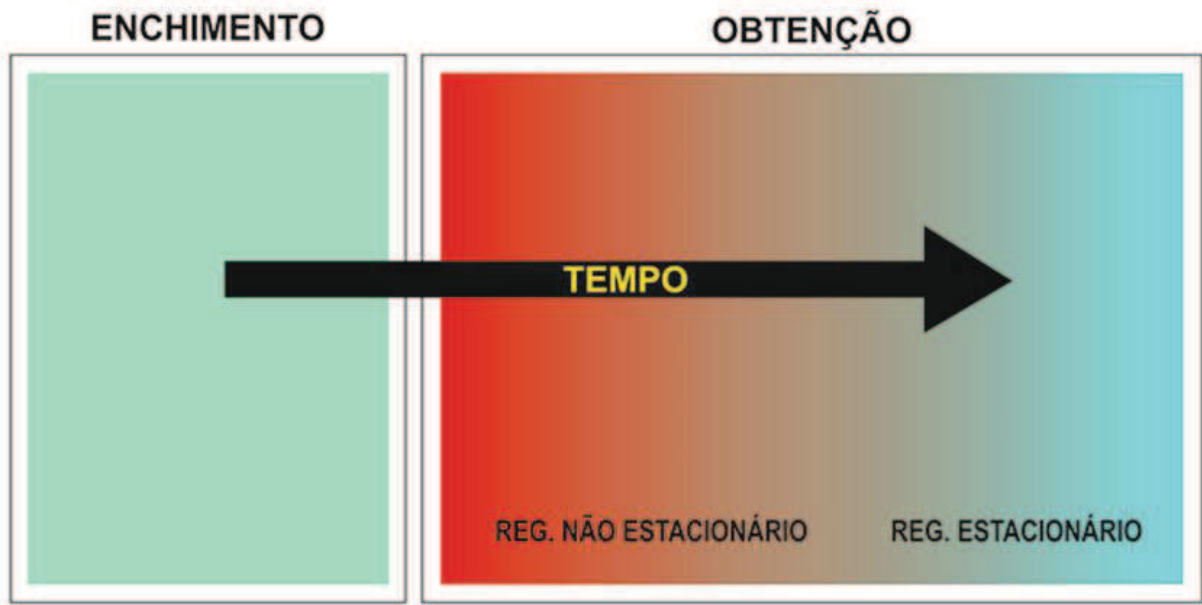
Enchimento: Etapa onde o vapor é injetado na máquina até se obter a primeira gota de óleo essencial. A condensação do vapor é mais significativa nesta etapa, pois tanto a massa vegetal quanto o equipamento se encontram frios e o gasto de energia e transferência de calor são maiores nesse período.

Obtenção: Etapa onde se consegue o volume total de óleo essencial, esta etapa varia de acordo com o tempo para cada tipo de planta utilizada. Esta etapa pode ser influenciada pelo menor gasto de energia no processo, e por consequência a condensação do vapor será menor no extrator. A etapa de obtenção se divide em duas partes:

- Regime não estacionário: Período existente até o sistema alcançar o equilíbrio térmico e hidrodinâmico, é influenciado por diversas variáveis.
- Regime estacionário: Período onde o sistema está em equilíbrio térmico e hidrodinâmico, nesta fase o volume produzido de óleo não varia tanto, obtendo-se uma linearidade de produção de óleo.

As características do processo podem ser melhor observadas através da figura 8.

Figura 8 – Etapas do processo de arraste a vapor.



Fonte: Autoria Própria.

## 2.7 CARATERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE EXTRAÇÃO POR ARRASTE DE VAPOR

O equipamento por arraste de vapor seco (vapor gerado externamente ao extrator) é composto pelos seguintes componentes: extrator, tampa, pescoço de cisne, condensador e vaso florentino. Cada um desses componentes está descrito na sequência.

### 2.7.1 Extrator (Dorna)

O extrator é o componente onde a massa vegetal é localizada para a extração, deve ser constituído de um material resistente a oxidação devido a presença de vapor

no seu interior. Além disso, este componente deve resistir a esforços, tanto da pressão interna do vapor quanto o peso da massa vegetal que irá aumentar devido ao seu encharcamento pelo processo.

### 2.7.2 Tampa e Pescoço de Cisne

Esse componente possui a função de conduzir o vapor com óleo essencial provindo do extrator até o condensador. Consiste em uma tubulação, de preferência inclinado (ver item 4.8).

### 2.7.3 Condensador

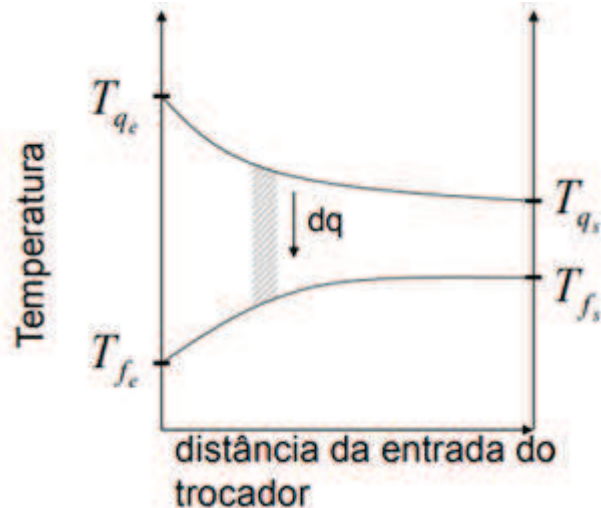
Durante o processo, o vapor com óleo essencial deve retornar ao estado líquido para a separação final e para realização destas etapas, é necessário um trocador de calor. Neste tipo de componente há dois fluidos em diferentes condições térmicas que passam por tubos e trocam energia entre si, os trocadores de calor são classificados pelo seu escoamento e construção (INCROPERA et al, 2007). É necessário um condensador (trocador de calor com o objetivo de transformar vapor em líquido) no equipamento, onde os mesmos podem ter escoamentos paralelos ou contracorrentes.

Para o projeto foi escolhido o trocador de calor do tipo casco e tubo. Existem diversos modelos, entretanto o trocador casco e tubo consegue ser compacto devido sua área de troca de calor. Há diversas vantagens na utilização deste modelo como sua facilidade de projeto, operação e manutenção, além de existir uma ampla quantidade de fornecedores (PIRES et al, 2016).

O escoamento paralelo é quando o fluxo externo acompanha o interno do condensador. Segundo Incropera (2007, p.425) “Os fluidos quente e frio entram pela mesma extremidade, escoam no mesmo sentido e deixam o equipamento também na mesma extremidade”. Este tipo de escoamento depende de uma diferença de temperatura em todo o período de troca de calor, por isso sua eficiência acaba sendo

menor em relação ao escoamento contracorrente. O comportamento da transferência de calor é expresso na figura 9 e seu fluxo evidenciado na figura 10.

**Figura 9 – Distribuição de temperaturas em escoamento paralelo.**



Fonte: TOSI, Milena Martinelli (2018).

Onde:

$T_{qe}$  = Temperatura de entrada do fluido quente;

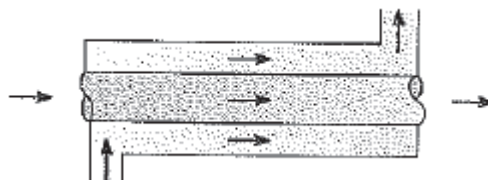
$T_{fe}$  = Temperatura de entrada do fluido frio;

$T_{qs}$  = Temperatura de saída do fluido quente;

$T_{fs}$  = Temperatura de saída do fluido frio;

$dq$  = Variação diferencial da transferência de calor.

**Figura 10 – Fluxo do escoamento paralelo.**

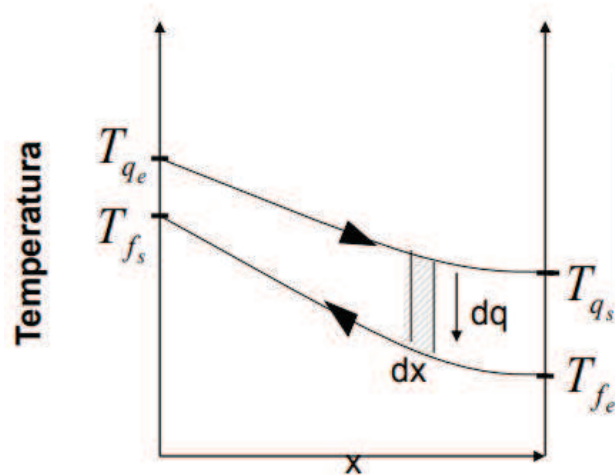


Fonte: INCROPERA, Frank (2007).

O escoamento contracorrente é quando o fluxo externo tem sentido oposto ao interno do condensador. Segundo Incropera (2007, p.425) “Os fluidos entram por extremidades opostas, escoam em sentidos opostos e deixam o equipamento em extremidades opostas”. Este tipo de escoamento permite que a temperatura de saída

do fluido frio seja maior que a temperatura de saída do fluido quente. O comportamento da transferência de calor é expresso na figura 11 e seu fluxo evidenciado na figura 12.

Figura 11 – Distribuição de temperaturas em escoamento contracorrente.



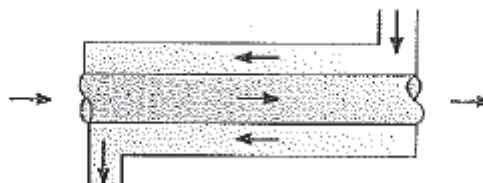
Fonte: TOSI, Milena Martinelli (2018).

Onde:

$x$  = Distância das extremidades do trocador;

$dx$  = Variação da distância das extremidades do trocador.

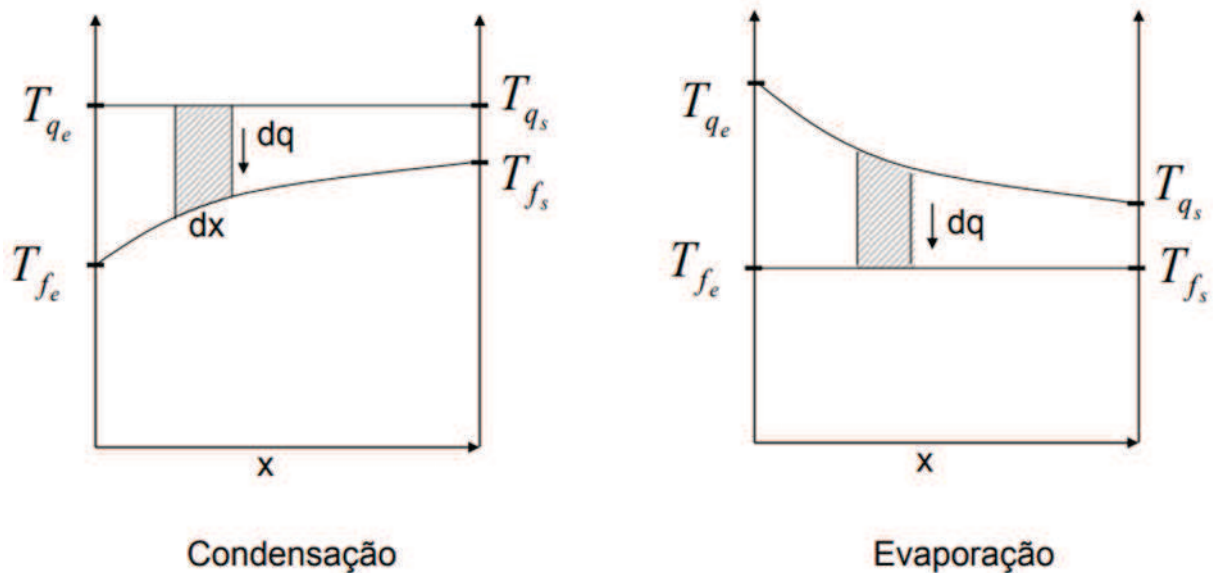
Figura 12 – Fluxo do escoamento contracorrente.



Fonte: INCROPERA, Frank (2007).

No presente trabalho como há mudança de fase o comportamento se altera devido a presença do calor latente. No caso da condensação, vapor saturado entra em umas das extremidades e sai líquido na outra. O comportamento deste tipo de situação é evidenciado na figura 13.

Figura 13 – Distribuição de temperaturas em escoamento com mudança de fase.



Fonte: TOSI, Milena Martinelli (2018).

Neste tipo de escoamento existem duas fases:

Fase 1: Há a presença da mudança de fase, ou seja, é a fase da condensação, onde o calor latente existe.

Fase 2: Onde a mudança de fase terminou, ou seja, é a fase do resfriamento, onde o calor sensível existe.

Para maior eficiência do condensador é recomendado estudar algumas características como: otimizar a área de contato maximizando-a, reduzir a espessura do tubo ou colocar aletas ou chicanas para trabalhar mais o fluxo. Vale ressaltar que para situações onde ocorre mudança de fase do fluido, os cálculos são diferentes de quando não há esta mudança. Segundo Silva et al (2004), as equações habituais de transferência de calor não levam em considerações características da mudança de fase nos trocadores de calor, por exemplo a resistência térmica pode ser relevante modificando o coeficiente global, comprometendo os resultados alcançados.

#### 2.7.4 Vaso Florentino

Ao final do processo de extração, o processo gera dois produtos simultaneamente: Óleo essencial e hidrolato. É necessário realizar uma separação destes dois produtos, para isso o mais recomendado é o uso de um vaso florentino. Este recipiente permite que se faça uma separação adequada, sendo que primeiro se retira o hidrolato que se encontrará ao fundo e depois o óleo essencial, que estarão separados por suas diferenças de densidade. Não há necessidade de projetar este componente devido ser mais economicamente viável ser comprado, apenas deve-se considerar comprar um em um tamanho relativamente grande pela produção de óleo essencial. A figura 14 evidencia um exemplo de vaso florentino.

**Figura 14 – Vaso florentino.**



**Fonte: Alambiques Cobre (2019).**

## 2.8 DENSIDADE DE EMPACOTAMENTO

Quando a massa vegetal é colocada dentro do extrator, geralmente os operadores amassam e compactam as plantas para acomodar mais quantidade da mesma. A densidade de empacotamento é a relação entre a massa de uma amostra que cabe em um determinado volume por compactação, e sua resistência a compactação é de acordo com sua estrutura (KÄMPF, 2000). A densidade média de empacotamento é de 300 kg/m<sup>3</sup> (TALANDA, 2005).

## 2.9 AÇOS INOXIDÁVEIS

Os aços inoxidáveis são os materiais mais indicados para a utilização em processos que tenham contato com água ou substâncias corrosivas. A alta capacidade de resistência à oxidação e corrosão destes metais provém da presença de cromo em sua composição, (pelo menos 11%). O cromo cria uma camada passiva que é um filme de óxido que funciona como uma proteção contra agentes externos (CALLISTER, 2007, p.468). Além disso, esses aços contêm a característica de assepsia, que é uma característica de não proliferação de bactéria ou contaminação pelas mesmas, ideal para assegurar um óleo essencial de boa qualidade.

## 2.10 SOLDAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS

Algumas junções do equipamento serão soldadas, porém, como o material base se trata de um aço inoxidável, alguns parâmetros são necessários considerar. É importante considerar o gráfico Tempo-Temperatura-Sensitização (TTS) para evitar-se o fenômeno de sensitização, que é a formação de carbonetos de cromo em contornos de grão que pode facilitar a corrosão intergranular futuramente.

Outro ponto é a utilização de gases de proteção no processo de soldagem, assim evita-se a entrada de elementos que podem prejudicar a composição da solda



e sua poça de fusão agregando maior confiabilidade ao mesmo. Uma sugestão é utilizar argônio ou hélio na realização das soldas.

É importante ressaltar que para a realização da soldagem existem diversos fatores que podem influenciar a qualidade da solda tais como: Energia de soldagem, tipo de eletrodo, velocidade de soldagem, gases, purga, tensão, e corrente, diluição, geometria da peça, limpeza do aço e outros.

Recomenda-se o processo TIG em todo o equipamento pelo melhor acabamento e qualidade da solda, além do processo conter gases de proteção para a poça de fusão. O processo TIG é adequado para soldar chapas finas (1 a 6 mm de espessura), soldagem de aços não ferrosos e inox, soldar todos os metais (exceto Zn e Be) além de ser ideal para soldar passes de raiz de solda em tubulações (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2009).

## 2.11 TUBOS DE AÇO

Os tubos de aço podem ser confeccionados de duas formas diferentes: com costura ou sem costura. Os tubos de aço com costura vêm de chapas que são fechadas por um cordão de solda em suas extremidades, já os tubos sem costura são fabricados de forma maciça por meios de processos de conformação. Cada um dos tipos possui algumas vantagens descritas a seguir:

- Com costura: Menor custo de produção, melhor acabamento superficial, possibilidade de bitolas maiores e menor tempo de produção.
- Sem costura: Maior confiabilidade, possibilidade de utilizar chapas mais espessas, ausência de cordão de solda e menor número de ensaios requeridos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do projeto do extrator de óleos essenciais por arraste de vapor as seguintes etapas foram realizadas:

- 1) Estudo dos modelos de extratores existentes no mercado;
- 2) Definição dos parâmetros do processo, necessários para o dimensionamento do conjunto;
- 3) Definição da configuração geométrica do extrator, além das dimensões e capacidade do extrator;
- 4) Definição dos materiais a serem utilizados na construção do extrator;
- 5) Definição da forma de controle da temperatura e pressão do processo;
- 6) Definição do vazão volumétrica de vapor através do extrator;
- 7) Dimensionamento dos principais componentes;
- 8) Elaboração de desenhos em software específico;
- 9) Definição dos processos de fabricação do extrator por arraste de vapor;

A pesquisa dos modelos de extratores existentes serviu para ter-se um embasamento do modelo de equipamento a ser projetado, onde buscou-se compreender a importância e funcionalidade de cada componente para conhecer as necessidades do projeto.

A definição dos parâmetros permitiu iniciar o dimensionamento dos componentes do projeto. Alguns destes parâmetros foram obtidos por estudos prévios e outros adotados conforme o modo mais adequado.

O formato do extrator foi determinado conforme o conhecimento adquirido e objetivos do projeto.

O estudo de materiais a serem utilizados possibilitará um melhor desempenho do equipamento conforme as necessidades do mesmo.

Para se manter a temperatura ideal de operação do equipamento, uma elaboração de arranjo de válvulas foi estabelecida para esta função. O controle de pressão, a princípio, é o melhor método de obter a temperatura desejada já que estes parâmetros são associados.

Um software foi utilizado para realização dos desenhos do equipamento mecânico.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ESTUDO DE MODELO DE EXTRATORES

Para início do trabalho necessita-se conhecer o funcionamento dos equipamentos existentes no mercado, suas vantagens e desvantagens, arranjos e modelos. Sendo assim foi realizada um estudo sobre os tipos de equipamentos para se obter conhecimento teórico ao projeto do equipamento. Para maiores detalhes ver o item 2.1.2.

### 4.2 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA A SER PROJETADO

Como apresentado anteriormente na seção 2.7, o equipamento projetado é composto dos seguintes componentes:

- 1) Extrator;
- 2) Tampa com pescoço de cisne;
- 3) Base;
- 4) Trocador de calor (condensador);

### 4.3 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS

Para o projeto do equipamento utilizou-se o aço inoxidável AISI 304L, a escolha deste material deveu-se a sua alta resistência à corrosão, aplicabilidade na indústria farmacêutica e sua conformabilidade. De acordo com Sousa e Silva *et al.* (2007, p.6) “O 304, também conhecido por aço inoxidável 18-8, que se refere à porcentagem de cromo, 18%, e a de níquel, 8%”.

A escolha do aço AISI 304L em relação ao AISI 316L, que também é muito utilizado nestas aplicações, foi baseada pela melhor viabilidade econômica e a não

necessidade de um material com uma resistente à corrosão muito elevada. É importante salientar que como há menos carbono na composição do aço, há uma resistência natural do mesmo ao fenômeno de sensitização.

A preferência pelo aço AISI 304L em relação ao 304 normalmente se justifica primeiramente pela quantidade de carbono. Quando um aço tem a letra L em sua nomenclatura significa que a quantidade de carbono do aço é reduzida. O baixo carbono ajuda na prevenção do fenômeno de sensitização descrito no item 2.10 que ocorre durante a soldagem. Esse fenômeno deixará o aço suscetível a corrosão.

#### 4.4 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO

Para o desenvolvimento desse projeto alguns parâmetros do processo devem ser conhecidos inicialmente. Estes parâmetros serão detalhados e justificados ao longo desta seção. Porém, em resumos, temos as seguintes especificações iniciais para o projeto:

- Temperatura de operação no extrator: 105 °C;
- Pressão de Operação do extrator: 0,2 bar;
- Fator de empacotamento da massa vegetal: 150 kg/m<sup>3</sup>;
- Altura do extrator: 1500 mm;
- Diâmetro do extrator: 700 mm;

Além dos parâmetros definidos acima, o equipamento a ser dimensionado deverá ter capacidade de extrair óleo essencial de qualquer tipo de plantas herbáceas.

#### 4.5 CONTROLE DA TEMPERATURA DO PROCESSO

Com a finalidade de simplificar o projeto para atingir o objetivo geral do estudo (ver item 1.1), optou-se pelo modelo de vapor seco pelo processo de arraste a vapor.

O modelo de água-vapor foi descartado devido a necessidade de controle de nível de água e fonte de calor, o que gera mais variáveis ao processo e funções operacionais.

Como o equipamento tem por objetivo funcionar em todos os pontos do Brasil, não foram dimensionadas as válvulas, pois cada empresa possui uma caldeira diferente, para aplicações específicas. Sendo assim, será mostrado apenas o arranjo necessário e alguns parâmetros para o funcionamento do equipamento.

Utilizou-se um grupo de válvulas para regular a pressão do processo e conseqüentemente controlar a temperatura do mesmo. De acordo com Spirax Sarco (2007):

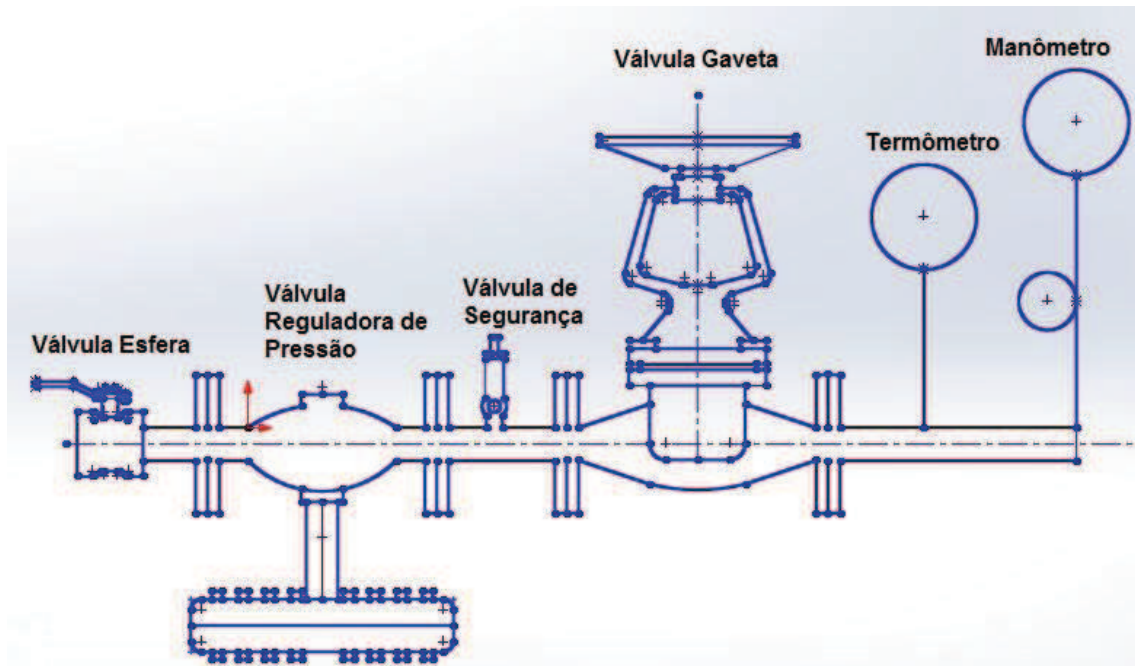
- Esse tipo de arranjo permite o sensor de pressão estar localizado na linha de vapor ou próximo à válvula reguladora de pressão.
- Este arranjo permite controlar vários elementos a partir de um único ponto.

Desse modo, utilizaram-se as seguintes válvulas em suas respectivas ordens, indicadas na figura 15:

- Válvula esfera: tem a finalidade de abrir e fechar o fluxo de vapor da caldeira;
- Válvula reguladora de pressão: seu objetivo é reduzir a pressão da caldeira para a pressão manométrica de 0,2 bar, pressão correspondente há a temperatura ideal de extração de óleo essencial (aproximadamente 105°C);
- Válvula de segurança: Válvula para segurança caso haja um aumento de pressão repentino, resguardando o equipamento e outros elementos;
- Válvula gaveta: válvula com finalidade de controlar o fluxo de vapor caso haja paradas do equipamento, evitando assim problemas como golpe de aríete;
- Termômetro: Indica a temperatura na linha de vapor ao operador;
- Manômetro: indica a pressão na linha de vapor ao operador;

É importante que a pressão provinda da caldeira seja maior que a pressão manométrica de 1 bar, pois haverá uma perda de carga devido a presença dos diversos componentes de controle de pressão.

Figura 15 – Esquema simplificado de válvulas para o equipamento.



Fonte: Autoria Própria.

## 4.6 PROJETO DO CONJUNTO EXTRATOR

### 4.6.1 Dimensões do Conjunto Extrator

Para um extrator de altura de  $h=1500$  mm e diâmetro de  $D=700$  mm tem-se um o volume determinado pela equação (1):

$$V = \frac{h * (\pi * D^2)}{4} \quad (1)$$

$$V = \frac{h * (\pi * D^2)}{4} = 0,577 \text{ m}^3$$

Estas dimensões foram escolhidas de forma que a distribuição do vapor possa ser suficientemente uniforme, mesmo assim será adicionado um defletor na entrada do extrator para o vapor atingir uma área maior de massa vegetal. Outra característica é que a estrutura do equipamento deverá resistir ao peso de toda a massa vegetal mais a própria estrutura, portanto não se escolheu dimensões maiores.

#### 4.6.2 Capacidade de Carga do Extrator

Podemos determinar a capacidade de massa vegetal do extrator, como mencionado no item 2.8, a densidade média de empacotamento é de  $d_e=300 \text{ kg/m}^3$ . No presente trabalho, adotou-se o valor médio  $d_e=150 \text{ kg/m}^3$ . Sendo assim determinou-se a massa ( $m$ ) e peso (Peso) utilizando respectivamente as equações (2) e (3):

$$m = V * d_e \quad (2)$$

$$m = V * d_e = 86,59 \text{ kg}$$

$$Peso = m * \frac{9,81m}{s^2} \quad (3)$$

$$Peso = m * \frac{9,81m}{s^2} = 849,159 \text{ N}$$

Importante ressaltar que ao final do processo de extração, o vapor irá umedecer a massa vegetal aumentando assim o seu peso. Dessa forma, adicionou-se o valor de 1/3 da sua própria massa, como um valor adotado como margem de segurança. Dessa forma determinou-se a massa total ( $m_t$ ) pela equação (4).

$$m_t = m + \frac{1}{3} * m = 115,45 \text{ kg} \quad (4)$$

$$m_t = m + \frac{1}{3} * m = 115,45 \text{ kg}$$

Com isso o peso total (Peso<sub>t</sub>) foi determinado utilizando a equação (5):

$$Peso_t = m_t * 9,81 \frac{m}{s^2} \quad (5)$$

$$Peso_t = m_t * 9,81 \frac{m}{s^2} = 1,132 \text{ kN}$$

É importante evidenciar que para o dimensionamento do extrator não se considerou a utilização de massa verde, pois além de sua menor eficiência para produção de óleo, seu peso aumentaria os esforços sobre a estrutura.

#### 4.6.3 Vazão Volumétrica Através do Extrator

O fluxo de vapor necessário para realizar a extração do óleo essencial, de acordo com Talanda (2005) deve estar entre de 2 a 4 litros por minuto por metro quadrado de área do extrator. No presente trabalho adotou-se o valor de 3 L/(min.m<sup>2</sup>), conforme indicado na equação (8).

A área do extrator foi calculada pela equação (6):

$$m_t = m + \frac{1}{3} * m = 115,45 \text{ kg} \quad (6)$$

$$A = (\pi * D^2) \quad (7)$$

$$A = (\pi * D^2) = \pi * 0,7^2 = 1,54 \text{ m}^2$$

Considerando uma média para o fluxo de vapor através da área da seção transversal do extrator de 3 L/(min.m<sup>2</sup>), tem-se então que o fluxo de vapor em (L/min) foi determinado através da equação 8:

$$V_n = A * 3 \frac{L}{min} \quad (8)$$

$$V_n = A * 3 \frac{L}{min} = 1,54 * 3 = 4,61 \frac{L}{min}$$

#### 4.6.4 Cesto de Carga

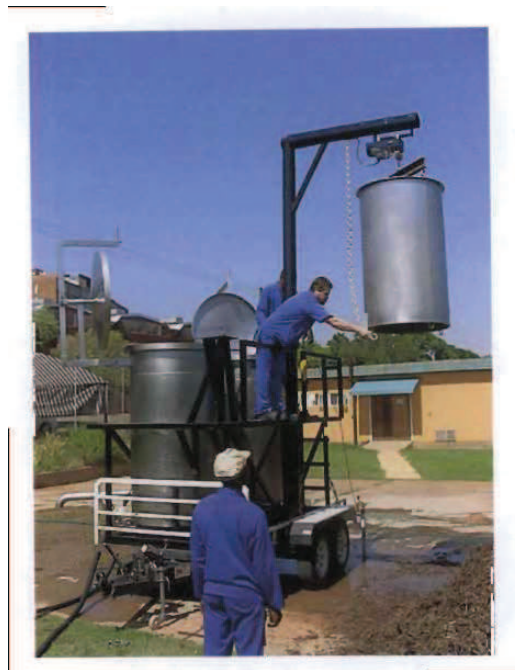
O procedimento de extração exige que o operador preencha o extrator de massa vegetal e ao final do processo retire a mesma do interior do extrator. Porém, devido ao volume e peso considerável da massa vegetal, além da elevada temperatura envolvida (segurança do operador), em conjunto da finalidade de agilizar o processo e trazer maior segurança ao usuário, optou-se por utilizar o modelo de cesto ao extrator. Além disso, essa agilidade no processo reduz as perdas térmicas, ou seja, o resfriamento do sistema é minimizado. Neste modelo um cesto é colocado dentro do extrator, seguida da massa vegetal, para então iniciar o processo. Ao final um guindaste pode elevar o cesto com massa vegetal molhada e quente para fora da máquina para então ser descarregada e reiniciar o processo. A figura 16 mostra



detalhes do cesto sendo retirado de um extrator (dorna) utilizando um guindaste. Nesta figura é possível observar que este equipamento é móvel o que facilitaria transportar o equipamento para locais onde encontra-se a massa vegetal.

O material do cesto sugerido é o aço 304L, devido o contato com a água e conter partes soldadas.

**Figura 16 – Exemplo de esquema de cesto do extrator.**

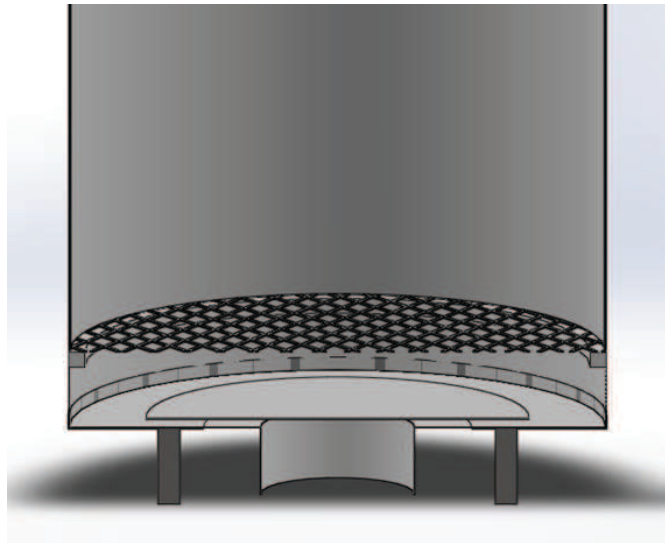


**Fonte: TALANDA, Colin E (2005).**

#### 4.6.5 Ancoragem do Cesto

Uma das principais partes que sofre esforços significativos é o suporte de apoio do cesto do extrator, pois o mesmo deve suportar os esforços do peso da massa vegetal, ou seja, ancorar o cesto ao extrator. A figura 17 mostra melhor visualização da ancoragem do cesto no suporte no equipamento projetado.

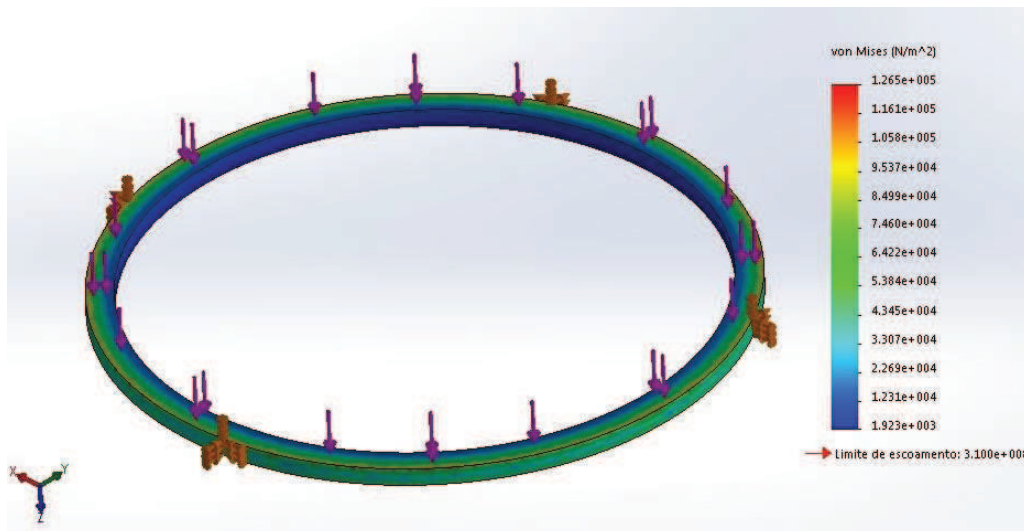
**Figura 17 – Ancoragem do Cesto de Carga.**



Fonte: Autoria Própria.

Como esta parte é unida por soldagem na parede interna do extrator, foi realizada uma simulação para verificar se o suporte resistiria estes esforços como mostrado na figura 18.

**Figura 18 – Simulação de esforços sobre suporte de apoio.**



Fonte: Autoria Própria.

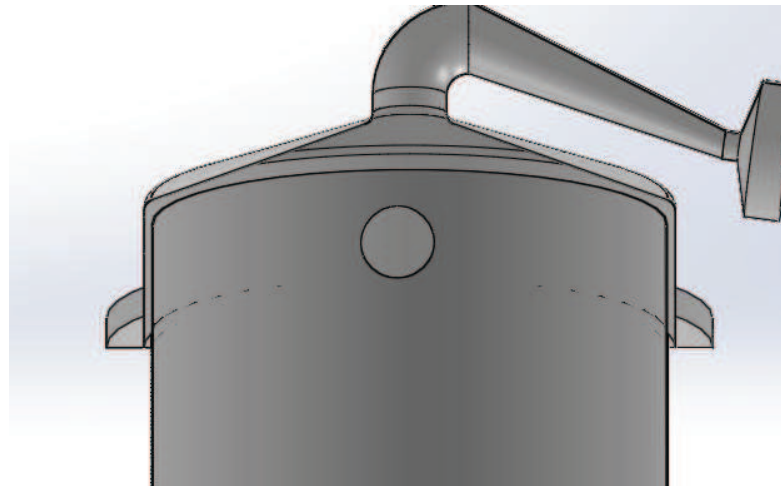
Na simulação os esforços indicados representam a carga de peso total ( $Pesot$ ). Assim, constatou-se que o suporte de apoio irá resistir os esforços aplicados (Momento), sendo as maiores concentrações aplicadas nas regiões próximas as

soldas. É importante ressaltar que a espessura do suporte de apoio é de 3 milímetros para melhora da resistência do equipamento ao peso da massa vegetal. Para melhor configuração, é recomendada que a solda seja do tipo filete e na parte inferior do apoio, pois na parte superior haverá a movimentação do cesto de carga.

#### 4.6.6 Vedação Hidráulica

Para que não haja perdas de vapor, principalmente na região da junção do extrator com a tampa que é a região mais propensa a este fenômeno, é necessária uma vedação. Optou-se pelo sistema de vedação hidráulica, nesta configuração a água preenche todos os espaços entre a tampa e o extrator realizando um bloqueio da saída do vapor. Como a pressão de operação no equipamento é baixa (próximo a pressão atmosférica), não há perigo da água se projetar para fora do mesmo. A figura 19 mostra como ficou a vedação hidráulica do equipamento.

**Figura 19 – Vedação Hidráulica do equipamento.**



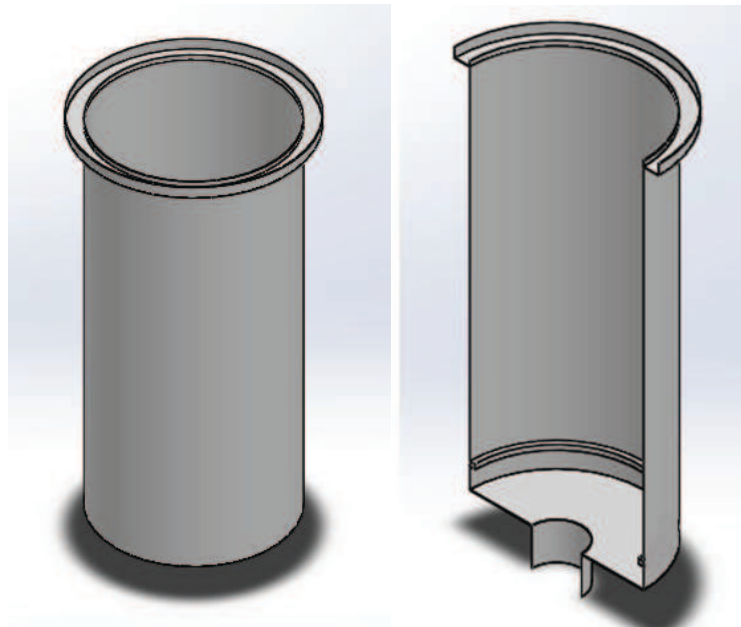
**Fonte: Autoria Própria.**

Vale ressaltar que a pressão de operação no equipamento é de 0,2 bar manométrico conforme descrito na seção 4.6. Esta pressão é próxima a atmosfera e haverá uma perda desta pressão no topo do extrator devido a coluna de massa vegetal, a vedação hidráulica é suficiente no desempenho de sua função.

#### 4.6.7 Desenho do Sistema de Extração

O sistema de extração é constituído do sistema externo (dorna), a base e cesto de carga. Realizou-se o desenho do extrator conforme figura 20, a mesma mostra a visão interna do componente para melhor entendimento. Para os desenhos e simulações na presente pesquisa utilizou-se o software CAD. Um melhor detalhamento do desenho encontra-se no apêndice A.

**Figura 20 – Extrator.**

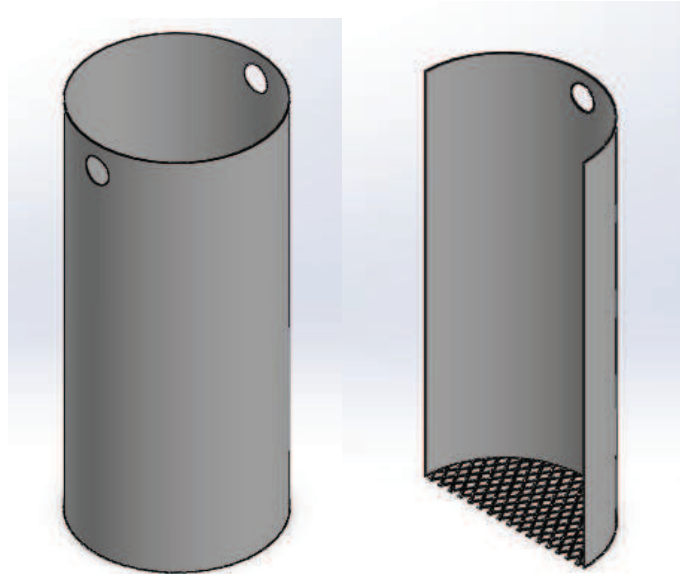


**Fonte: Autoria Própria.**

Para retirada do cesto, uma barra deve ser passada nos furos do cesto para servir de suporte ao guindaste que irá retirar o mesmo do equipamento. É importante salientar que haverá uma concentração de tensões no cesto quando esta etapa ocorrer.

O cesto para armazenagem da massa vegetal foi desenhado com grades em seu fundo para permitir a passagem do vapor. A figura 21 mostra detalhes do desenho, maiores informações do mesmo são evidenciadas no apêndice B.

**Figura 21 – Cesto para armazenamento de massa vegetal.**



**Fonte: Autoria Própria**

#### 4.6.8 Processo de Fabricação do Conjunto Extrator

O Processo de fabricação do extrator deverá seguir as seguintes etapas:

- Corte da chapa nas dimensões adequadas para a parte cilíndrica;
- Dobrar e Calandrar Chapas;
- Soldar Defletor;
- Fechar o cilindro por meio de solda em costura;
- Soldar aba de vedação hidráulica.

Para o processo de fabricação deste componente, a chapa de aço AISI 304L deverá passar por um processo de calandragem para obter o formato cilíndrico. Posteriormente um processo de dobra para definir os detalhes, para ser possível realizar uma solda e fechar a estrutura, similar a um tubo com costura. Então o defletor que irá distribuir uniformemente o vapor deverá ser soldado posteriormente.

A escolha do uso da solda em costura se deve pelas vantagens que este método oferece. Uma recomendação caso o fabricante queira uma maior qualidade do componente é se basear na ASME – Boiler and Pressure Vessel Code que é uma

norma específica para construção de vasos de pressão ou a N 268 – Fabricação de Vasos de Pressão que é uma norma pública da Petrobrás.

#### 4.6.9 Processo de Fabricação do Cesto de Carga

O Processo de fabricação do Cesto de carga deverá seguir as seguintes etapas:

- Corte da chapa nas dimensões adequadas para a parte cilíndrica;
- Dobrar e Calandrar Chapas;
- Soldar Grade na parte inferior;
- Fechar o cilindro por meio de solda em costura;

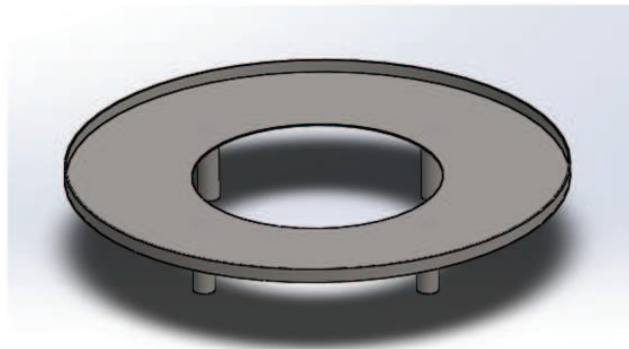
#### 4.6.10 Isolamento Térmico

Para o processo operar sob melhores condições e com menos perdas térmicas de energia, o ideal seria colocar um isolamento térmico em partes do equipamento, principalmente no extrator, entretanto não será utilizado devido ao alto custo que será atribuído ao mesmo.

### 4.7 DEFINIÇÃO DA BASE DO EXTRATOR

É necessária uma base para suportar o equipamento na superfície que será instalado sendo encaixada na parte inferior ao extrator. A base não necessita ser de aço AISI 304L pois sua função é apenas estrutural, aço AISI 1020 é o suficiente para o desempenho de sua função. A figura 22 mostra o desenho da base que pode ser aplicada ao equipamento, a base não será dimensionada, as dimensões sugeridas estão melhor detalhadas no apêndice C.

**Figura 22 – Base do extrator**



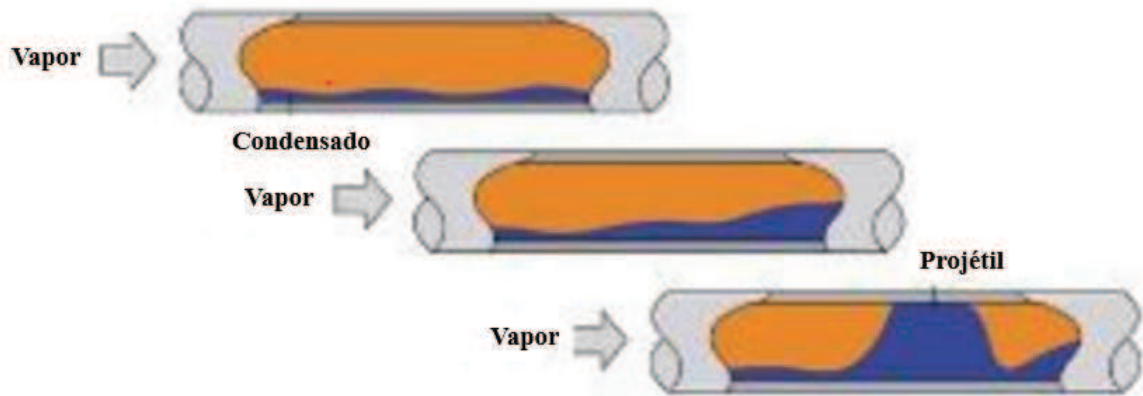
**Fonte: Autoria Própria**

#### 4.8 PROJETO DA TAMPA COM PESCOÇO DE CISNE

Para contenção da pressão interna e isolamento do vapor gerado com o óleo essencial, é necessária uma vedação do equipamento. O extrator será fechado com uma tampa e a vedação se dará por meio de uma vedação hidráulica. Seu funcionamento consiste em água depositada em um suporte em contato com uma tampa com folga, assim a água faz um isolamento do meio interno para com o externo. Não existe perigo da água escapar devido à baixa pressão de operação. Na figura 4 no item 2.1.2 é possível visualizar este método.

Na saída do recipiente de massa vegetal encontra-se um tubo inclinado (pescoço de cisne) para conduzir o vapor carregado de óleo essencial ao condensador para a condensação. Escolheu-se este tipo de tubo para facilitar o fluxo e evitar problemas com o fenômeno de golpe de aríete caso se forme condensado antes de chegar ao condensador. Geralmente em processos onde há vapor, a transferência de calor pode variar e acabar condensando o fluido nas paredes da tubulação, com o tempo a água se acumula e, dependendo da velocidade do fluxo, o próprio vapor pode arrastar este líquido e golpear fortemente a estrutura do equipamento diminuindo sua vida útil, este evento é conhecido como golpe de aríete. Tubulações horizontais facilitam este fenômeno como mostra a figura 23.

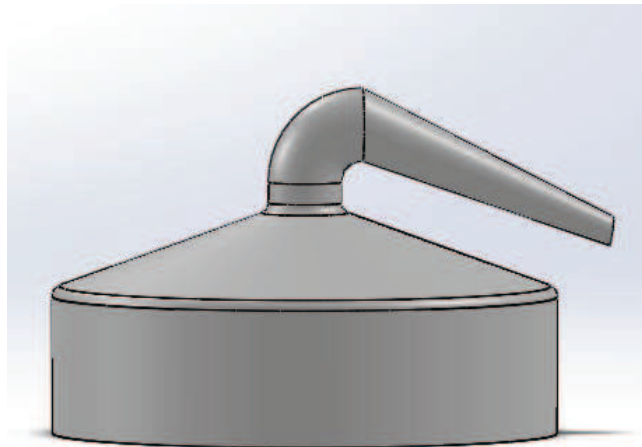
**Figura 23 – Golpe de aríete.**



Fonte: MARTINELLI JR (2013).

Na figura 24 temos o desenho do pescoço de cisne juntamente com a tampa para o projeto.

**Figura 24 – Tampa com pescoço de cisne**

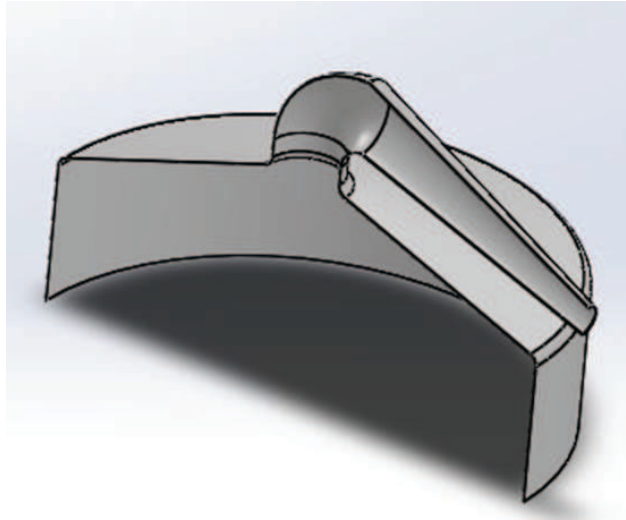


Fonte: Autoria Própria.

Já na figura 25 podemos ter uma visão interna da tampa com o pescoço de cisne, para uma visão mais detalhada consultar o apêndice D.



**Figura 25 – Visão interna da tampa com pescoço de cisne**



**Fonte: Autoria Própria.**

#### 4.8.1 Processo de Fabricação da tampa com pescoço de cisne

O suporte de água poder ser uma chapa cortada, dobrada e soldada, enquanto fabricação do pescoço de cisne pode ser semelhante ao extrator, uma chapa de aço cortada nas dimensões necessárias pode ser calandrada e com solda na costura.

O Processo de fabricação da tampa com pescoço de cisne deverá seguir as seguintes etapas:

- Corte da chapa nas dimensões adequadas para a parte cilíndrica;
- Dobrar e Calandrar Chapas;
- Soldar tubo inclinado com a tampa;
- Fechar o cilindro por meio de solda em costura;

#### 4.9 DEFINIÇÃO DO CONDENSADOR

Neste projeto o vapor-óleo essencial será conduzido para o trocador de calor onde água líquida passará na parte externa dos tubos internos, trocando calor com a mistura de vapor-óleo essencial e assim condensando-o. Como os óleos essenciais são produtos utilizados na indústria farmacêutica e áreas afins, as partes internas também serão de aço AISI 304L. Evitou-se utilizar o cobre porque apesar de sua alta condutividade térmica, existe o perigo deste material contaminar o produto final.

A presença de chicanas no condensador é importante para que o fluxo de água de resfriamento de vapor percorra um trajeto ideal a fim de alcançar uma grande eficiência térmica do componente. Por esta razão, adicionou-se as chicanas ao projeto deste componente.

O dimensionamento do condensador não foi realizado nesse trabalho. A recomendação é que a temperatura de saída do vapor no condensador não seja menor que 40°C para que isso não afete sua viscosidade e impregne óleo nas paredes do equipamento. É importante salientar que quanto maior a área de contato com o fluido frio maior é a eficiência do componente, sabendo disso é recomendado a presença de mais de um tubo interno.

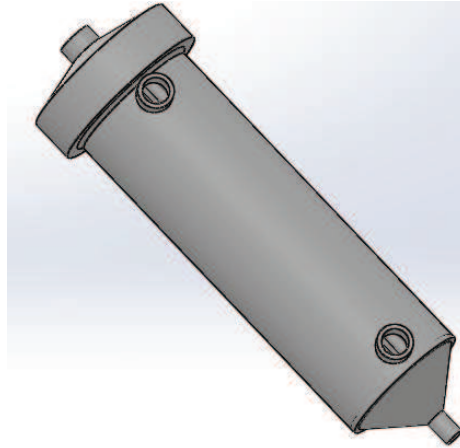
É importante ressaltar que a quantidade de óleo contida no vapor na entrada do condensador é muito baixa, logo para o projeto o fluido considerado será apenas vapor d'água. Outro ponto é que foi escolhido utilizar escoamento contracorrente no equipamento por maior eficiência e redução de área do condensador. A figura 26 demonstra como ficou a configuração do condensador.

Para dimensionar o condensador, os seguintes parâmetros seriam necessários:

- Temperatura de entrada de vapor-óleo;
- Temperatura de saída da água condensada com óleo;
- Temperatura de entrada água de resfriamento;
- Temperatura de saída da água de resfriamento;
- Vazão da água;
- Vazão do vapor;
- Tipo de condensador;

Assim se determina a área de superfície de troca.

**Figura 26 – Condensador do tipo casco e tubos.**

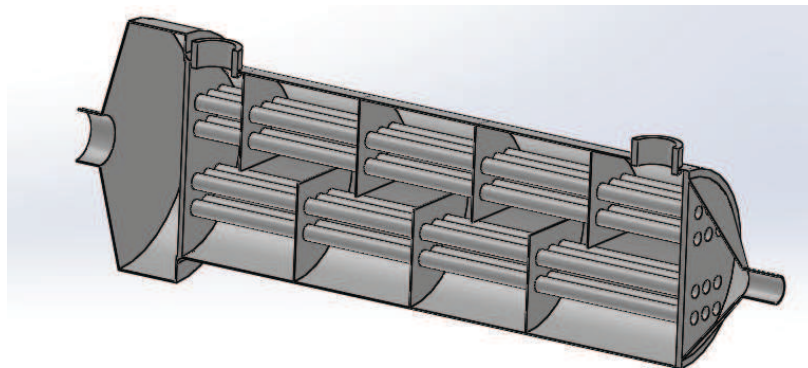


**Fonte: Aatoria Própria.**

O condensador deve ser do modelo de tubos retos do tipo casco e tubos, visando uma economia de material. Este modelo também apresenta vantagens como tamanho compacto, boa transferência de calor e uso econômico de água (TALANDA, 2005).

Na figura 27 tem-se a vista em corte do condensador para melhor entendimento da parte interna do componente, para maiores detalhes consultar o apêndice E.

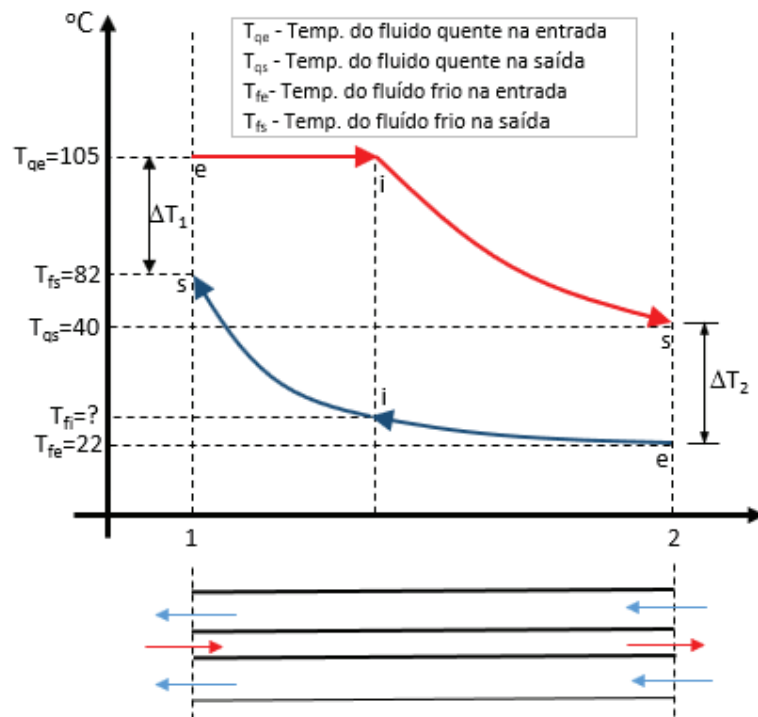
**Figura 27 – Vista interna do condensador.**



**Fonte: Aatoria Própria.**

Seguindo as características do processo discutidas anteriormente, podemos esboçar o gráfico do comportamento do condensador, nele foi considerado a temperatura do fluido frio ( $T_{fe}$ ) de  $22^{\circ}\text{C}$ , que é a água em temperatura ambiente. Como a temperatura de saída do fluido quente ( $T_{qs}$ ) ideal é  $40^{\circ}\text{C}$ , temos a variação diferencial de transferência de calor de  $23^{\circ}\text{C}$  e foi optado por manter a variação diferencial de temperaturas, chegando em  $82^{\circ}\text{C}$  de temperatura de saída do fluido frio ( $T_{fs}$ ). O gráfico pode ser observado na figura 28.

Figura 28 – Gráfico de temperaturas do escoamento no condensador.



Fonte: Autoria Própria.

Observa-se que na situação do condensador o fluido quente passa por duas etapas, primeira é a condensação evidenciada na linha constante e a segunda etapa é o resfriamento, evidenciado na linha decrescente. Já a água de resfriamento não muda de fase e por isso seu comportamento é indicado apenas como uma linha crescente.

#### 4.9.1 Fabricação do Condensador

A fabricação do condensador utilizando o trocador tipo casco e tubo é um pouco mais difícil que o modelo de serpentina, pois é uma peça ligeiramente mais complexa, porém apenas pequenos tubo e chapas são necessários e podem ser soldados satisfatoriamente tomando as devidas precauções. Deve-se ressaltar que a união do condensador com o pescoço de cisne não pode ser soldada, pois o condensador deve ser higienizado, sendo assim recomenda-se que a união seja por rosca.

O Processo de fabricação do condensador deverá seguir as seguintes etapas:

- Corte da chapa nas dimensões adequadas;
- Selecionar tubos adequados;
- Soldar tubos e placas;

Existe uma alternativa para o condensador, um estudo para a compra de um condensador pronto por meio de empresas especializadas do ramo. Esta opção pode ser adotada com base nas informações acima.

#### 4.9.2 Água para Resfriamento de Vapor

Ao longo do processo a água externa para o resfriamento do trocador de calor se aquecerá pelo equilíbrio de temperaturas entre os fluidos, diminuindo a eficiência da máquina, logo recomenda-se uma fonte de resfriamento para condensar o vapor. O sistema mais utilizado é a utilização de água corrente por meio de uma bomba no condensador, onde para se determinar uma bomba mais precisamente.

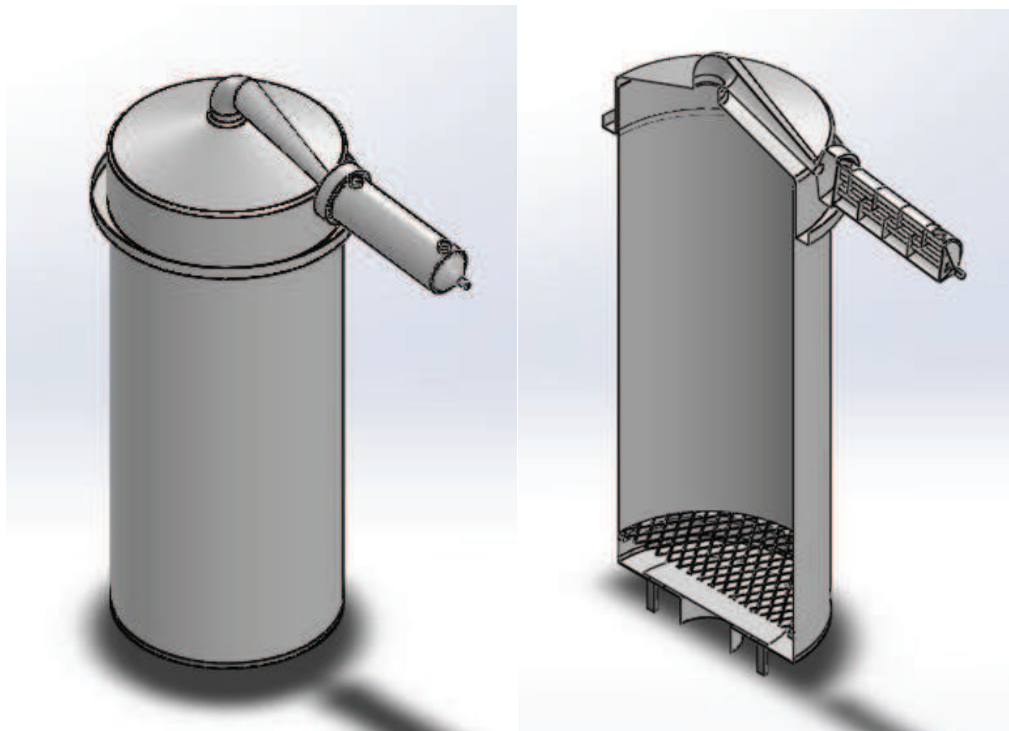
#### 4.9.3 Limpeza do Condensador

Assim, como os óleos essenciais não possuem tanta solubilidade em água, um possível problema do processo será a impregnação de partes do óleo essencial nas paredes das tubulações, logo recomenda-se a limpeza dessas partes. Uma possível sugestão é a limpeza com éter, os óleos essenciais em sua maioria possuem características apolares sendo solúveis entre si, retirando assim o óleo impregnado e consequentemente desentupindo as tubulações e aumentando o rendimento da produção de óleo.

#### 4.10 MONTAGEM FINAL DO EQUIPAMENTO

Ao final tem-se a montagem do equipamento inteiro, como pode-se observar na figura 29, para maiores detalhes consultar o apêndice F.

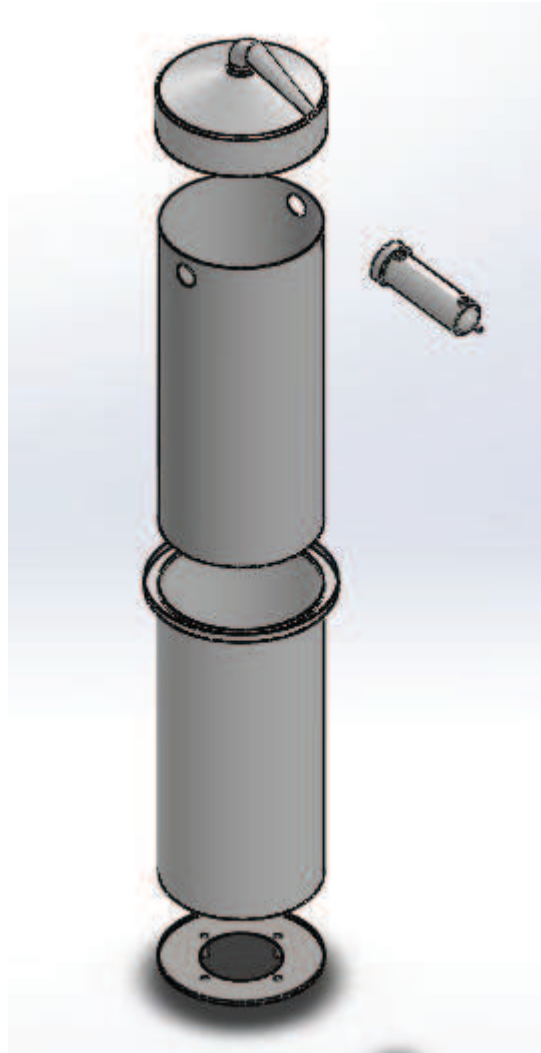
**Figura 29 – Equipamento industrial de extração de óleos essenciais.**



Fonte: Autoria Própria.

A figura 30 mostra uma vista explodida do conjunto projetado.

**Figura 30 – Vista explodida do equipamento industrial de extração de óleos essenciais.**



Fonte: Autoria Própria.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho conseguiu atingir aos objetivos propostos, com o projeto de um equipamento para extração de óleo essencial aos interessados (pessoas físicas ou jurídicas) em obtenção deste produto.

O projeto do equipamento desenvolvido nesse trabalho possui uma funcionalidade adequada para exercer sua função e será de fácil construção e operação. Vale ressaltar que a qualidade e o rendimento do óleo gerado pelo equipamento dependem de parâmetros utilizados no processo (como tempo e temperatura) e utilização de uma massa vegetal de boa qualidade.

Toda a parte estrutural e design do equipamento foi projetada a fim de facilitar o manuseio do operador, visando seu bem-estar em conjunto com a velocidade de operação do processo. A escolha do modelo de cesto foi visando a retirada da grande quantidade de massa vegetal em temperaturas elevadas presente no equipamento.

A escolha dos materiais também foi de suma importância para qualidade do óleo e vida útil do equipamento, sendo uma escolha adequada a utilização dos aços inoxidáveis em relação a outros materiais.

A transferência de calor foi estudada e aplicada de forma que possa ser funcional e atinja o objetivo de condensação do vapor com óleo essencial. A escolha do fluxo contracorrente foi escolhido para uma melhora de performance do sistema, assim como o modelo de um condensador do modelo casco tubo. O dimensionamento do condensador não foi realizado apenas sugerido.

O estudo dos processos de soldagem foi relevante para se concluir que o processo TIG foi mais adequado ao projeto com soldas em costura preferencialmente. Os devidos cuidados a serem tomados e partes a serem soldadas também foram abordadas.

As formas de fabricação dos componentes foram comentadas para que o executor do projeto tenha uma noção dos processos, caminhos e equipamentos necessários para a fabricação.

Por fim, o projeto foi importante para aplicação de diversos segmentos da engenharia mecânica englobados em um único projeto de equipamento, colocando em prática os conhecimentos adquiridos no curso de graduação.



## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Além do projeto realizado, recomenda-se em trabalhos futuros o aperfeiçoamento do produto em alguns aspectos variados e assim se consiga atender a todos os requisitos do processo de produção de óleos essenciais.

O reforço do suporte de apoio do cesto pode ser melhorado para resistir as cargas mais elevadas. Também se almeja que esse produto seja produzido com um preço acessível, por isso em um trabalho futuro seja recomendado um estudo de redução de custos possibilitando a compra do equipamento para empresas de portes variados.

O estudo da performance e viabilidade econômica do uso de isolamento térmico no sistema é um item a ser explorado. Dependendo da eficiência atribuída ao processo o material isolante pode se pagar ao longo do tempo.

Considerar adicionar ao conjunto um purgador devido à possibilidade de haver uma condensação do vapor ainda no recipiente de massa vegetal, pois caso isto ocorra, o condensado poderá se acumular em grandes quantidades prejudicando o sistema. Este fenômeno pode acontecer principalmente no início do processo quando o calor não está uniforme dentro do extrator (sistema frio). Com isso uma inclinação ao fundo do extrator para o funcionamento do purgador é recomendada, além de facilitar a limpeza da estrutura.

O dimensionamento do condensador para um tipo específico de aplicação ou um dimensionamento com valores médios de parâmetros com um fator de segurança para o funcionamento do componente.

Um estudo detalhado sobre a influência da perda de carga devido à grande quantidade de massa vegetal para uma melhor regulagem das válvulas, afim de manter uma uniformidade de temperatura de operação do equipamento.

Recomenda-se uma análise de possibilidade de substituição de partes soldadas pela utilização de rebites, pois em situações de temperaturas mais elevadas a aplicação destes componentes de fixação acabam por ser mais adequadas.

Outro aspecto que pode ser explorado é o estudo de performance para um tipo específico de planta, assim o equipamento poderá ser melhor caracterizado para reformulações e ajustes necessários caso seja adequado.

Uma simulação de concentração de tensões no cesto é apropriada para um estudo futuro, assim a validade de durabilidade e praticidade do equipamento é melhor aprimorada.

Uma conexão por flange entre o condensador e o pescoço de cisne pode ser uma forma mais adequada de se conectar estas partes, sendo assim recomenda a averiguação.

## REFERÊNCIAS

ALAMBIQUES COBRE. **Embudo decantador o vaso florentino**. Disponível em: <<https://alambiquescobre.com/alambiques-de-cobre/646-embudo-decantador-o-vaso-florentino.html>>. Acesso em: 12 mar 2019.

AZAMBUJA, W. **LEOESSENCIAIS - Métodos de extração de óleos essenciais**. Disponível em: <<http://www.oleosessenciais.org/metodos-de-extracao-de-oleos-essenciais/>>. Acesso em: 20 fev 2018.

AZAMBUJA, W. **LEOESSENCIAIS - Neroli 03**. Disponível em: <<https://www.oleosessenciais.org/oleo-essencial-de-neroli/neroli03/>>. Acesso em: 19 mar 2019.

AZAMBUJA, J. **Produção e extração de óleos essenciais em pequenas propriedades rurais**. Curitiba. 2012.

BIZZO, H. R. ÓLEOS ESSENCIAIS: Uma fonte de divisas a ser mais explorada no Brasil. **Revista A Lavoura**. n° 699, p. 48 – 50, 2013.

BOUSBIA, N. **Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires**. France, 2011.

CALLISTER. W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**. 7ª edição.

CHÁVEZ, M. G. C. **HIDRODESTILACION DE ACEITES ESENCIALES: MODELADO Y CARACTERIZACION**. Valladolid, España. 2007.

DIAS, P. **Caderno de Farmácia - Enfleurage**. Disponível em: <<http://cadernodefarmacia.blogspot.com/2015/03/enfleuragem.html>>. Acesso em: 31 mai 2018.

FERNANDES, H. C. P. **Extração de óleo essencial da casca de laranja**. 2012.

GASPARINI, P.P.; ALVES, N.C.C.; CHRIST, D.; COELHO S.R.M. **Qualidade de folhas e rendimento de óleo essencial em hortelã pimenta (Mentha x Piperita L.) submetida ao processo de secagem em secador de leito fixo**. Cascavel, 2014.

GRAMOLELLI JÚNIOR, F. et al. Extração de óleos essenciais e verificação da atividade antifúngica. **Revista das Faculdades de Educação, Ciências e Letras e Psicologia Padre Anchieta**. Jundiaí, n. 14, p. 59-65, 2006.

INCROPERA, F. P.; DEWIT, David P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamento de Transferência de Calor e Massa**. 6<sup>a</sup> edição. 2007.

KÄMPF, A. N. **Relação entre densidade de empacotamento e propriedades físicas de um substrato comercial**. Florianópolis, p.1, 2000.

LASZLO AROMATERAPIA. **Extração de óleos essenciais**. São Paulo, 2001.

LASZLO AROMATERAPIA. **Métodos de extração dos óleos essenciais**. Disponível em: <<http://laszlo.ind.br/default.asp?pagina=extracao>>. Acesso em: 31 mai 2018.

LEONIDAS, A. C. E.; **Efeito da pressão de vapor e tempo de extração no rendimento e características físico-químicas de óleo essencial de erva cidreira**. Peru, 2012.

MARQUES, P. V.; MODENESI P. J.; BRACARENSE, A. Q.; **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 2009.

MARTINELLI JR, L. C. **Purgadores**. 2013. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/lcmartinelli1/gv-08-purgadores>>. Acesso em: 09 abr 2018.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. **Solubilidade das substâncias orgânicas**. Química Nova. V. 36. No. 8. 2013.

NAMU. **Para que servem hidrolatos?** 2018. Disponível em: <<https://www.namu.com.br/artigos/para-que-servem-hidrolatos>>. Acesso em: 01 mar 2019.

OLIVEIRA, M. T. R. **Secagem e qualidade do óleo essencial de Pectis brevipedunculata (Gardner) Sch. Bip**. 2011.

PETFAEM. **Óleos Essenciais: Aspectos gerais da extração**. Pelotas. 2011. Disponível em: <<https://petfaem.files.wordpress.com/2011/11/extrac3a7c3a3o-de-oe.pdf>>. Acesso em: 21 mar 2019.

PIRES, A.; FERNANDES, B.; VILELA, G.; SILVA, J.; BORGES, J.; EMÍLIA, M.; FALEIROS, R.; **Trocadores de calor**. 2016. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/janaynasilva52/trocadores-de-calor-68818208>>. Acesso em: 20 mar 2019.

SANTOS, T. A. F. **Extração, caracterização e aplicações do óleo essencial do cravo-da-índia (syzygium aromaticum)**. p.20, 2014.

SILVA, J. P.; COSTA, A. L. H.; PAREDES, M. L. L.; QUEIROZ, E. M. **SIMULAÇÃO DE TROCADORES DE CALOR COM MUDANÇA DE FASE**. 2004.

SOUSA E SILVA, F. C.; PEREIRA, J. A.; FERREIRA, C. C. M.; SILVA, M. B. **Análise do torneamento do aço inoxidável ABNT 304 através da temperatura do cavaco**. Uberlândia, 2007.

SPIRAX SARCO. **The Steam and Condense Loop Book**. 2007.

TALANDA, C. E. **The design, construction and testing of a mobile essential oil distillation unit**. Natal, 2005.

TISSOT, E.; SCARPA, K.; WINKEL, K. T. **Destilação por arraste a vapor**. Pelotas, p.4, 2014.

TOSI, M. M. **Operações unitárias II aula 3: trocadores de calor. Dimensionamento de trocador bitubular e tubo e carcaça**. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3078270/mod\\_resource/content/0/Aula03.Trocadores\\_Calor\\_tubular.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3078270/mod_resource/content/0/Aula03.Trocadores_Calor_tubular.pdf)>. Acesso em: 30 set 2018.

VALENTIM, J. A. **Extração de óleos essenciais por arraste a vapor: Sequência didática para proporcionar a aprendizagem de conceitos de química**. Cuiabá, 2017.

## **APÊNDICES**

Apêndice A – Extrator.

Apêndice B – Cesto.

Apêndice C – Base.

Apêndice D – Tampa com pescoço de cisne.

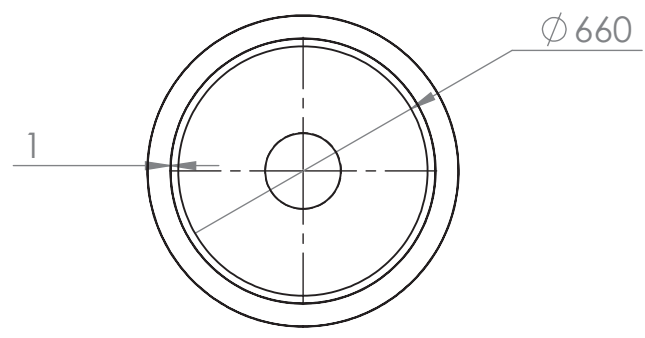
Apêndice E – Condensador.

Apêndice F – Equipamento de Extração de óleo essencial.

4 3 2 1

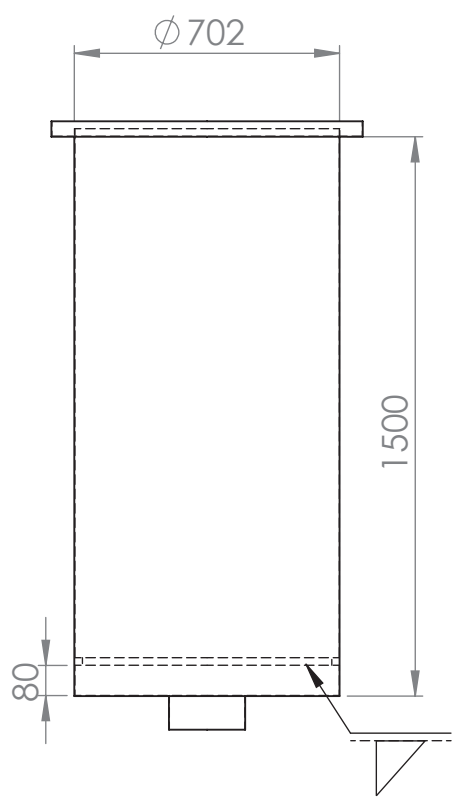
F

F



E

E

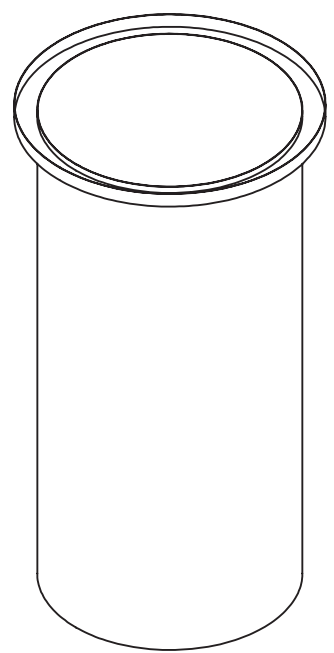


D

D

C

C



B

B

SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:	ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
	Projeta: Gabriel Hiss Dias				

A	DESEN.	NOME	ASSINATURA	DATA	TÍTULO:
	VERIF.				
	APROV.				
	MANUF.				
	QUALIC.				
		MATERIAL: AISI 304L		DES. Nº	Extrator
		PESO:		ESCALA:1:20	FOLHA 1 DE 1

A

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

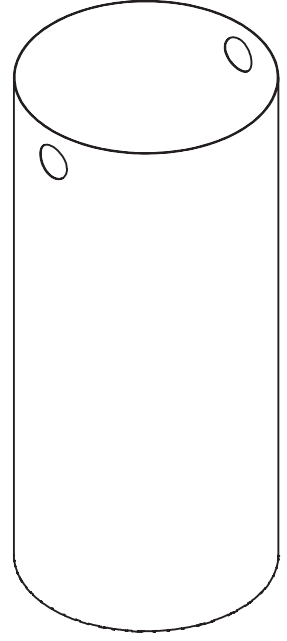
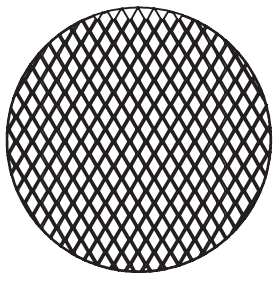
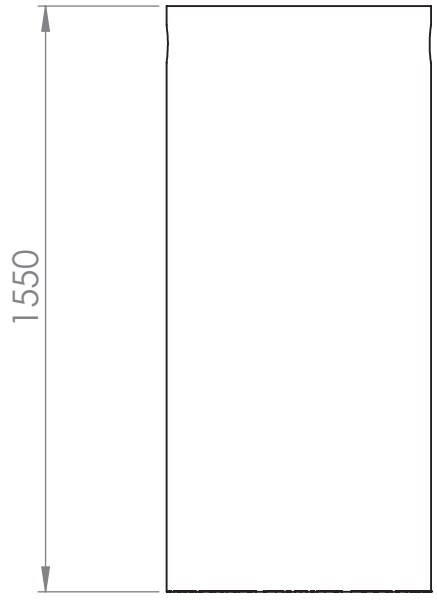
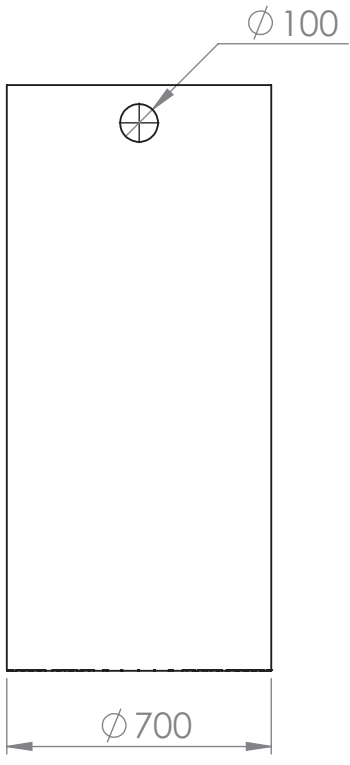
D

C

C

B

B



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

Projetista: Gabriel Hiss Dias

	NOME	ASSINATURA	DATA	
DESEN.				
VERIF.				
APROV.				
MANUF.				
QUALIC				

TÍTULO:	
MATERIAL:	DES. Nº
AISI 304L	Cesto
PESO:	ESCALA:1:20
	FOLHA 1 DE 1

A4

4 3 2 1

A

A



4 3 2 1

F

F

E

E

D

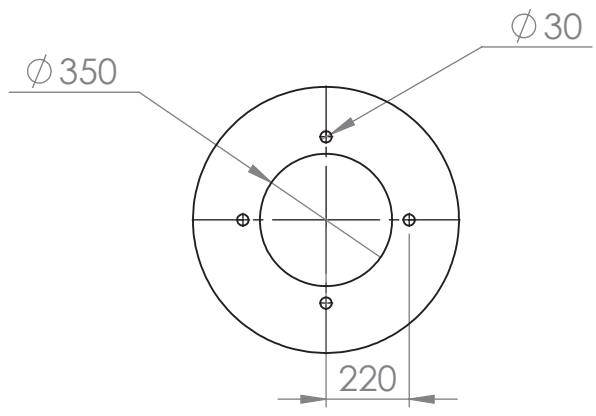
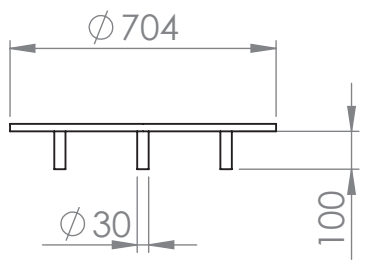
D

C

C

B

B



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

Projetista: Gabriel Hiss Dias

	NOME	ASSINATURA	DATA	
DESEN.				
VERIF.				
APROV.				
MANUF.				
QUALID.				

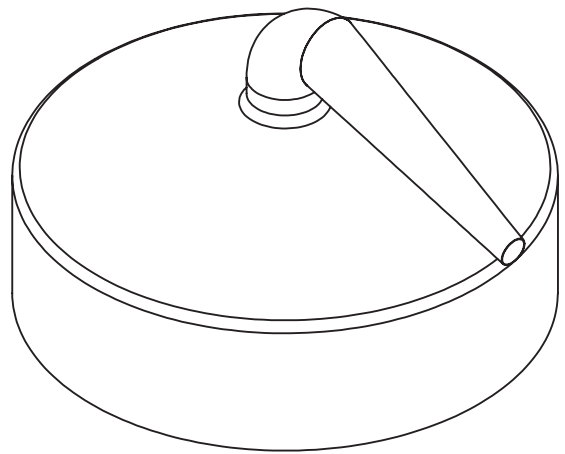
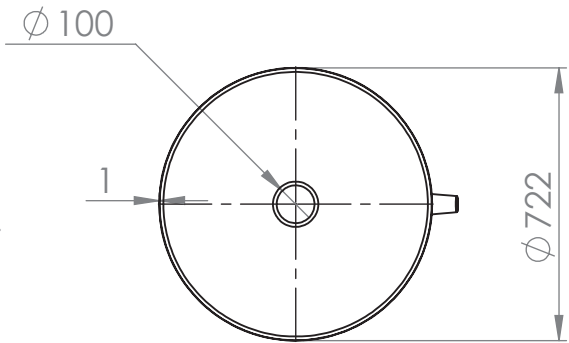
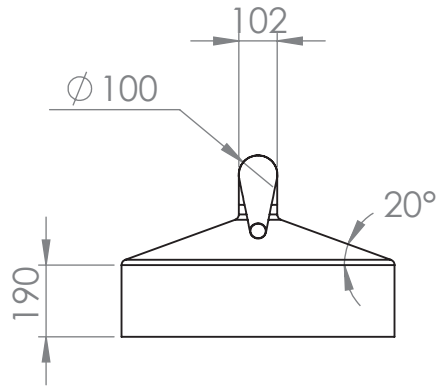
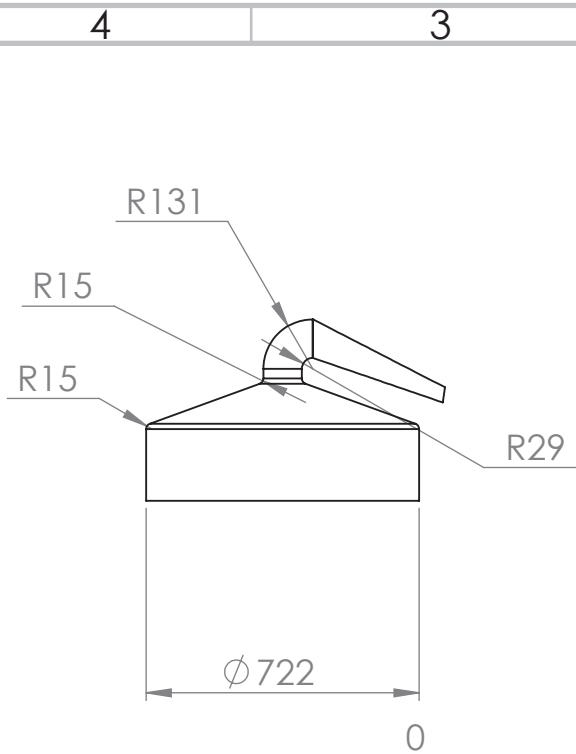
TÍTULO:	
MATERIAL: <b>AISI 304L</b>	DES. Nº <b>Base</b>
PESO:	ESCALA:1:20
	FOLHA 1 DE 1

A4

4 3 2 1

A

A



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

Projetista: Gabriel Hiss Dias

	NOME	ASSINATURA	DATA	
DESEN.				
VERIF.				
APROV.				
MANUF.				
QUALIC				

TÍTULO:	
DES. Nº	Pescoço de cisne e tampa
	A4
PESO:	
ESCALA:1:20	FOLHA 1 DE 1

MATERIAL:  
**AISI 304L**

4 3 2 1

F

F

E

E

D

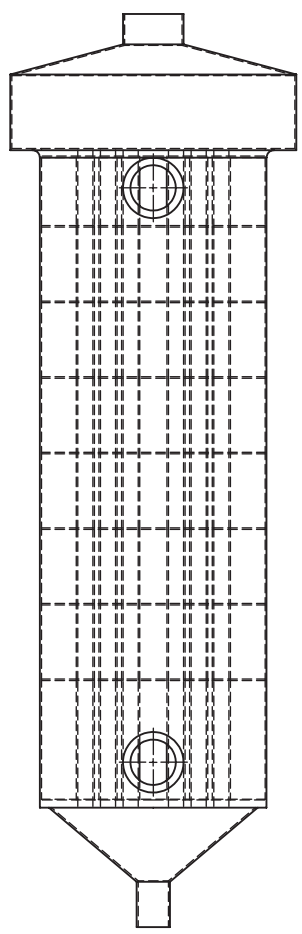
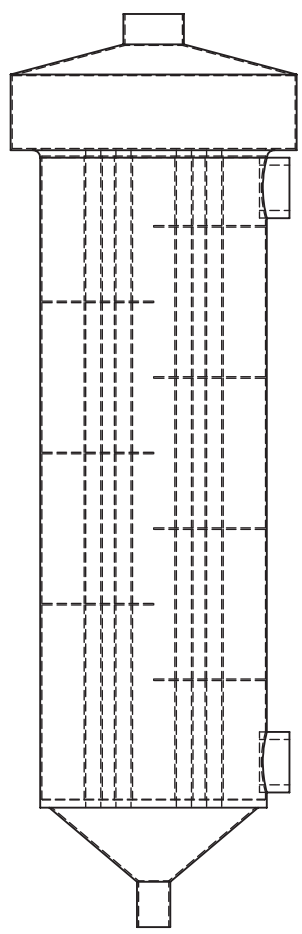
D

C

C

B

B



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

Projetista: Gabriel Hiss Dias

	NOME	ASSINATURA	DATA	
DESEN.				
VERIF.				
APROV.				
MANUF.				
QUALIC				

TÍTULO:

MATERIAL:  
AISI 304L

DES. Nº  
**Condensador**

A4

PESO:

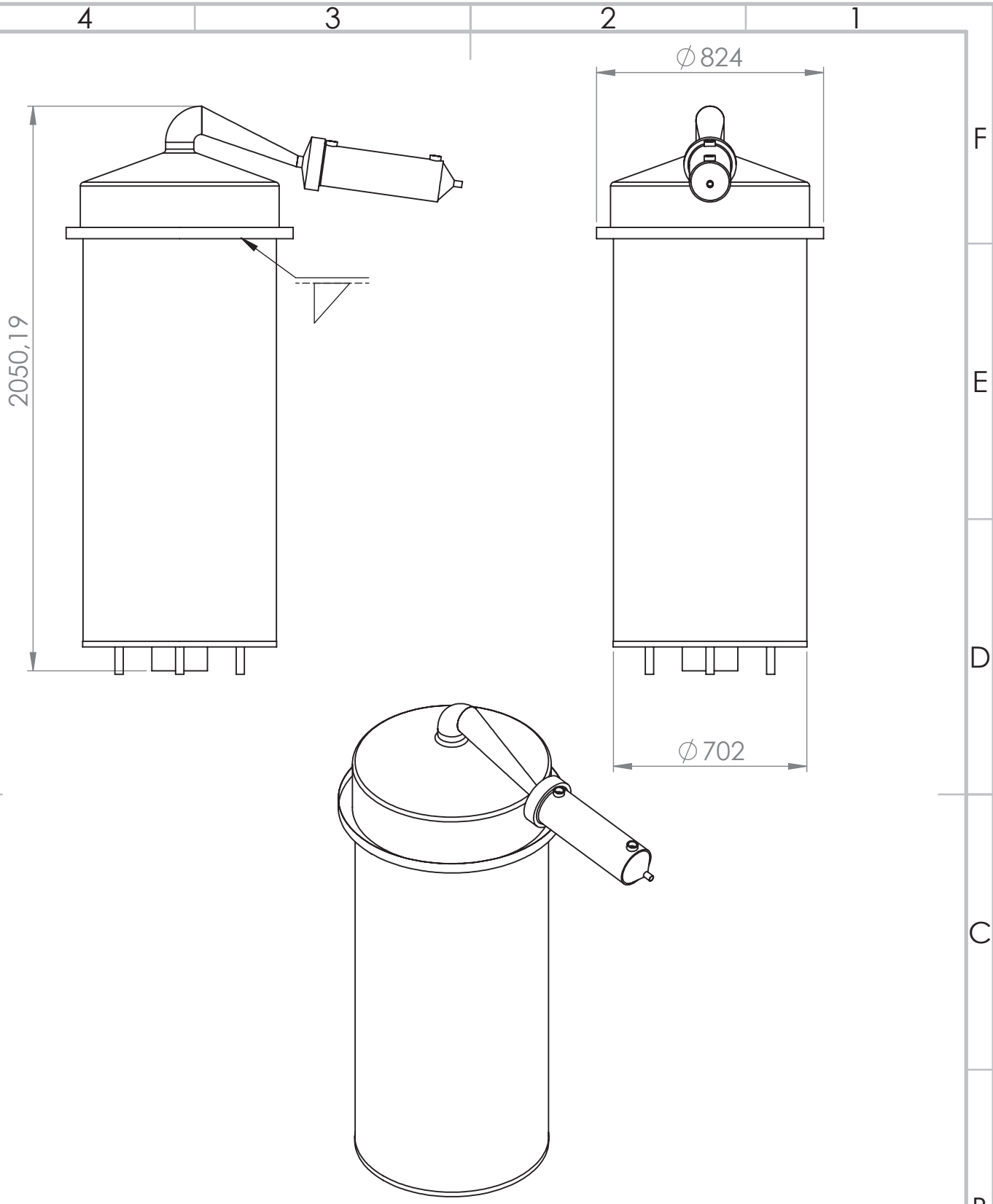
ESCALA:1:5

FOLHA 1 DE 1

4 3 2 1

A

A



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

Projetista: Gabriel Hiss Dias

	NOME	ASSINATURA	DATA
DESEN.			
VERIF.			
APROV.			
MANUF.			
QUALIC			

TÍTULO:	
DES. Nº	Equipamento de Extração de óleo essencial
ESCALA: 1:20	FOLHA 1 DE 1

MATERIAL:  
**AISI 304L**

A4

PESO: