

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GUILHERME ABRAHÃO BARQUETTE  
GUILHERME TRAVASSOS COSTA DE OLIVEIRA  
MATHEUS MIRANDA DE AGUIAR  
VITOR PORTO LIMA**

**DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE UM SECADOR DE CAFÉ**

**VOLTA REDONDA  
2019**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE UM SECADOR DE CAFÉ**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Alunos:

Guilherme Abrahão Barquette

Guilherme Travassos Costa de Oliveira

Matheus Miranda de Aguiar

Vitor Porto Lima

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre A. Palmeira

**VOLTA REDONDA**

**2019**

## FOLHA DE APROVAÇÃO (BANCA)

Alunos:

Título da monografia:

Orientador:

Banca Examinadora:

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

Aos professores, funcionários e alunos do  
UniFOA.

“Sonhar grande e sonhar pequeno dá o mesmo trabalho”

Jorge Paulo Lemann

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos senhores professores que contribuíram muito para que nós concluíssemos esse trabalho.

Especialmente a todos os entes queridos que nos estimularam e não nos permitiram desistir ao longo desta jornada.

Aos bons amigos que nos auxiliaram e nos fizeram mais fortes nos momentos difíceis.

E a Deus por nos dar essa grande oportunidade de nos graduarmos Engenheiros Mecânicos.

## RESUMO

Nosso estudo tem como objetivo aumentar a eficiência da secagem de café do pequeno e médio produtor rural.

Com isso, Brasil que é o maior produtor de café do mundo ainda encontra dificuldade na obtenção de tecnologias que possam impulsionar sua produção.

O projeto teve como principais referências o livro de Weber (2005), Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos. Panambi: 2005, São Paulo, 1ª ed e a Revista Globo Rural (São Paulo, Acesso em 5 de abril).

A metodologia adotada foi um estudo de caso, que se baseou no secador Industrial da empresa Tromink, na saca de 2010, em que foi analisado e redimensionado numa escala 1:10, já que este equipamento era direcionado para o produtor de grande porte e precisava ser adaptado ao médio produtor.

Desse modo, com base nos cálculos da metodologia de Weber se pôde perceber que os dados calculados ficaram coerentes com a escala proposta nos parâmetros discutidos como percentual de água evaporada, calor necessário para a evaporação, tipo e quantidade de combustível, custos, vazão de ar, potência necessária do motor, volume da câmara de combustão e área da grelha. Além disso, nos resultados comparativos notou-se uma significativa economia com o reaproveitamento de calor que otimizou o uso dos ventiladores e o exaustor. Já no orçamento comparativo verificou-se que o projeto possui viabilidade econômica com um aumento da eficiência de 7,2% o que se economizariam R\$ 34.000,00 em funcionários e R\$ 16.536,24 num total de R\$ 50.536,00 por mês.

Portanto, o desenvolvimento do projeto do secador de café em questão atende a necessidade a que foi proposto, pois irá otimizar e aumentar a eficiência do processo de secagem do pequeno e médio produtor.

**Palavras-Chave:** Secador de Café Industrial; Adaptação; Qualidade; Economia.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 OBJETIVO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Elevador Hidráulico</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.1 Vantagens</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.2 Segurança</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.3 Funcionamento</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2 Containers Soldados (Câmaras de Separação)</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.1 Vantagens</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3 Fornalhas</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3.1 Tipos de Fornalha para a Secagem do Café</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3.2 Fornalhas e seu Funcionamento</b> .....	<b>25</b>
<b>2.4 Exaustor</b> .....	<b>26</b>
<b>2.5 Tubulações</b> .....	<b>28</b>
<b>2.5.1 Classificação</b> .....	<b>29</b>
<b>2.5.2 Custo</b> .....	<b>29</b>
<b>2.6 Moedores</b> .....	<b>30</b>
<b>2.6.1 Tipos de Moedores</b> .....	<b>30</b>
<b>2.6.1.1 Moedores Manuais</b> .....	<b>30</b>
<b>2.6.1.2 Moedores Elétricos</b> .....	<b>31</b>
<b>2.6.1.3 Moedores Profissional</b> .....	<b>32</b>
<b>2.6.2 Manutenção</b> .....	<b>33</b>
<b>2.6.3 Versatilidade do Equipamento</b> .....	<b>33</b>
<b>2.6.4 Tipos de Moedores de Café</b> .....	<b>34</b>
<b>2.6.4.1 Moedores de Café Manuais</b> .....	<b>34</b>
<b>2.6.4.2 Moedores de Café Automáticos</b> .....	<b>34</b>
<b>2.6.4.3 Moedores de Café Digitais</b> .....	<b>35</b>
<b>2.6.5 Escolha do Moedor</b> .....	<b>35</b>
<b>2.6.6 Princípio do Trabalho</b> .....	<b>36</b>
<b>2.6.7 Principal Uso</b> .....	<b>36</b>
<b>2.7 Ventilador Centrífugo</b> .....	<b>37</b>
<b>2.7.1 Princípio de Funcionamento</b> .....	<b>37</b>

2.7.2 Principais Características.....	38
2.7.3 Lista de Modelo .....	39
2.8 Estrutura Metálica .....	40
2.9 Trocadores de Calor .....	42
2.9.1 História.....	42
2.9.2 Características.....	43
2.9.3 Utilização.....	44
2.9.4 Vantagens .....	45
2.10 Câmara de Combustão .....	45
2.10.1 Materiais Refratários .....	46
2.10.2 Utilização.....	46
2.10.3 Tipos de Câmaras.....	47
2.11 Combustíveis.....	47
2.11.1 Combustíveis Sólidos .....	48
2.11.2 Resíduos Agrícolas .....	49
2.11.3 Combustíveis Líquidos .....	49
2.11.4 Combustíveis Gasosos.....	50
3 METODOLOGIA .....	51
3.1 Fluxograma .....	51
3.2 Levantamento de Dados .....	52
3.3 Modelo Existente .....	52
3.4 Adaptação do Modelo .....	53
3.5 Dimensionamento .....	53
3.6 Cálculos .....	54
3.6.1 Cálculo da Porcentagem de Água Evaporada .....	54
3.6.2 Cálculo da Massa de Água em Função do Tempo .....	55
3.6.3 Cálculo da Quantidade de Calor para Evaporação da Água .....	55
3.6.4 Cálculo do Custo do Combustível .....	56
3.6.5 Custo do Gás Natural por Hora.....	58
3.6.6 Cálculo da Vazão de Ar para Secagem e Resfriamento.....	58
3.6.7 Vazão de Ar com Aproveitamento de Calor .....	58
3.6.8 Cálculo da Potência do Motor do Ventilador .....	59
3.6.9 Cálculo da Potência do Motor com Reaproveitamento de Calor .....	59

<b>3.6.10 Cálculo do Custo de Energia de uma Hora de Funcionamento em Função dos Motores e Ventiladores.....</b>	<b>60</b>
<b>3.6.11 Cálculos do Custo da energia em uma Hora de Funcionamento dos Motores e Ventiladores com Reaproveitamento de Calor .....</b>	<b>60</b>
<b>3.6.12 Cálculo do Volume da Câmara de Combustão .....</b>	<b>61</b>
<b>3.6.13 Cálculo da Área da Grelha.....</b>	<b>61</b>
<b>3.6.14 Dimensões da Câmara de Combustão .....</b>	<b>62</b>
<b>4 COMPARATIVOS E RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
<b>4.1 ORÇAMENTO E COMPARATIVO.....</b>	<b>64</b>
<b>4.2 PLANTA LAYOUT.....</b>	<b>65</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das tubulações .....	29
Tabela 2 – Comparativo de moedores de café.....	36
Tabela 3 – Tabela de rotores para ventilador centrifugo .....	39
Tabela 4 – Comparativo de dados do secador analisado e projetado.....	54
Tabela 5 – Comparação dos dados fornecidos e calculados .....	63
Tabela 6 – Orçamento e comparativo .....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de secador de café.....	
Figura 2 - Exemplo de transmissão de força .....	
Figura 3 - Vantagens do elevador hidráulico .....	
Figura 4 - Norma ABNT de segurança .....	
Figura 5 - Funcionamento do elevador hidráulico .....	
Figura 6 - Elevador hidráulico do tipo móvel .....	
Figura 7 - Secador de café do tipo caixa .....	
Figura 8 - Lista de vantagens dos containers soldados .....	
Figura 9 - Saída dos gases pela chaminé .....	
Figura 10 - Exemplo de exaustor axial .....	
Figura 11 - Tubulação de alta pressão.....	
Figura 12 - Exemplo de moedor de manual .....	
Figura 13 - Exemplo de moedor elétrico .....	
Figura 14 - Exemplo de moedor versátil.....	
Figura 15 - Exemplo de moedor de café .....	
Figura 16 - Exemplo de aço inox.....	
Figura 17 - Exemplo de centrifugador automático.....	
Figura 18 - Funcionamento de um centrifugador automático .....	
Figura 19 - Representação de estrutura metálica .....	
Figura 20 - Exemplo de trocador de calor .....	
Figura 21 - Um dos primeiros trocadores de calor .....	
Figura 22 - Trocador de calor para cervejaria .....	
Figura 23 - Exemplo de câmara de combustão.....	
Figura 24: Lenha .....	
Figura 25: Carvão Mineral .....	
Figura 26: Carvão Vegetal.....	
Figura 27: Resíduos agrícolas.....	
Figura 28: Petróleo bruto.....	
Figura 29: Álcool etílico .....	
Figura 30: Gás Natural .....	
Figura 31: Metodologia Estudo de Caso .....	
Figura 32: Secador SCOT .....	

Figura 33: Planta Layout do Projeto .....	
Figura 34: Modelo de secador de café .....	
Figura 35: Secador e moedor com elevação.....	
Figura 36: Ventilador centrifugo e câmara de secagem .....	

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Água a ser evaporada
B	Quilograma de lenha
C	Calor teórico para evaporar água livre
C'	Valor prático para evaporar água do grão
Carga K	Combustível sólido para fornalhas
Cc	Custo do combustível necessário
Ccm	Custo da lenha
Ccr	Custo por hora da energia consumida
Cglp	Poder calorífico do gás GLP
Cgn	Poder calorífico do gás natural
Ch	Custo da hora de funcionamento dos ventiladores
Cpc	Capacidade calorífica da casca de arroz
Cr	Custo a ser calculado
Es	Peso estéreo da lenha
H	Calor necessário
H'	Calor prático
Hc	Altura da câmara de combustão
N	Potência do motor
N'	Potência do motor com reaproveitamento de calor
K	Carga mecânica e ar forçado
Pa	Peso da água
Pc	Peso da casca de arroz
Pci	Poder calorífico inferior do combustível
Os	Peso do grão
Pglp	Peso do gás (GLP) necessário
Pgn	Peso do gás natural necessário
Pl	Peso da lenha

## 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, os brasileiros são o terceiro maior exportador de produtos agrícolas no mundo. Nos últimos 40 anos, o país saiu da condição de importador de alimentos para se tornar um dos maiores produtores (Globo Rural, São Paulo, Acesso em 5 de abril).

Assim, foram conseguidos grandes aumentos na produção e produtividade do setor. Neste contexto, o setor agrícola tem produzido a maior parte do Produto Nacional Brasileiro e com isso, cria uma grande quantidade de empregos. Estudos feitos pela Confederação da Agricultura e da Pecuária do Brasil e a Universidade de São Paulo, mostram que o setor agrícola cresce mais rápido em percentual do que a economia brasileira.

Um dos protagonistas desse setor, é o café, em que o Brasil possui a maior produção e exportação deste produto no mundo e o segundo maior consumidor.

Atualmente, o café é uma grande fonte de renda, para centenas de municípios, além de ser um importador criador de oportunidades de trabalho na agricultura nacional. Os bons desempenhos da exportação e consumo interno fazem com que o produtor invista com segurança neste setor. A cada ano, aumentaram os investimentos na produção certificada de café, que garantem preservação ambiental, boas condições de trabalho, melhor aproveitamento de terras e técnicas de gerenciamento mais eficientes.

O processo de produção de café consiste em plantio, em que é selecionado e plantado, cultivo, para o amadurecimento dos grãos e a colheita que pode ser manual ou mecânica. Logo após, vem o processamento o processamento na fábrica, onde os grãos são separados e lavados, e há o mergulho para avaliar a qualidade, em que os melhores grãos boiam, e o despulpamento, com isso os grãos estão prontos para serem secados. O processo de secagem pode ser feito em terreiros, em que o café é espalhado e sacado pelos raios solares ou por um processo mecânico.

No processo mecânico, o café entra em um compartimento com temperatura e umidade calculadas, é torrado, moído e classificado de acordo com a sua qualidade e embalado.



Figura 37 - Exemplo de secador de café.  
Fonte: Embrapa Café.

## 1.1 OBJETIVO

Elaborar um projeto mecânico de um secador de café de médio porte, visando maior produtividade e economia para o pequeno produtor rural, contribuindo para a economia do país. Além disso, no projeto há análise de viabilidade econômica, seleção de materiais e dimensionamento dos componentes mecânicos do equipamento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Elevador Hidráulico

No ano de 1652 um cientista francês chamado Pascal, com o estudo do comportamento dos fluidos, deu origem a um princípio na Física, o Princípio de Pascal: "A variação de pressão numa linha de um líquido que está em equilíbrio é transmitida para todos os pontos deste líquido e às paredes de seu recipiente". O elevador hidráulico é um aparelho que funciona por meio desse princípio, transmitindo a pressão de uma das suas colunas a todos os pontos tendo como resultado a aplicação de uma força menor do que seria preciso para mover o objeto.

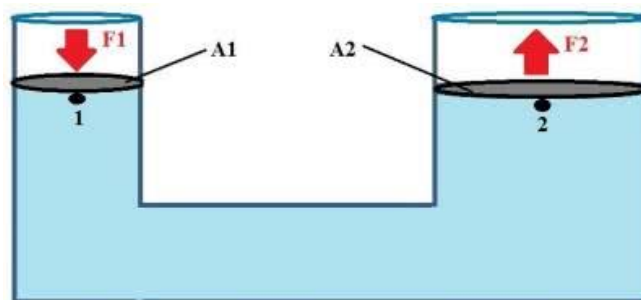


Figura 38 - Exemplo de transmissão de força.  
Fonte: Toda matéria.

#### 2.1.1 Vantagens

Os elevadores hidráulicos possuem vários pontos positivos como versatilidade para os locais, em que haverá a instalação, os comandos devem ser colocados num raio de aproximadamente dez metros do elevador, usam menor espaço de instalação, menor gasto de energia elétrica, acessível manutenção, mais segurança numa situação de queda de energia.

A vantagem do elevador hidráulico é este equipamento não ter a necessidade de uma casa das máquinas, o que permite a instalação em qualquer lugar, como casas e pequenos edifícios. O acionamento pode ocorrer em um local diferente do imóvel, deixando a instalação muito mais fácil e com boa adaptação. Além de ser prático, esta característica faz o equipamento ser belo e funcional, já que a casa das

máquinas usualmente fica no telhado e os mecanismos de acionamento podem ficar num lugar de fácil acesso.

A maior vantagem em obter um elevador hidráulico, é que estes possuem gastos baixos se comparados aos outros modelos de elevadores do mercado. Em particular, quando levamos em conta a energia, pois possui um sistema mais econômico. Além disso, não necessitam usar correias e casa de máquina. Isto faz com que o custo na compra seja muito menor, além de reduzir o custo em manutenções.

## VANTAGENS



- Fácil instalação dos diversos componentes, oferecendo grande flexibilidade inclusive em espaços reduzidos “o equivalente em sistemas mecânicos já não apresenta flexibilidade”;
- Devido a baixa inércia os sistemas hidráulicos permitem uma rápida e suave inversão de movimentos. “não sendo possível obter esse resultado em sistemas mecânicos e elétricos”.

Figura 39 - Vantagens do elevador hidráulico.  
Fonte: SENAI.

### 2.1.2 Segurança

Os elevadores hidráulicos são dispositivos que possuem um resgate automático, pois fazem a descida apenas com a gravidade, o que torna possível maior tranquilidade e segurança. Em caso de falta de energia elétrica, os elevadores hidráulicos têm um mecanismo que faz o alinhamento no chão de forma automática. Isso acontece, pois este possui um sistema de descompressão, o que faz com que o elevador lentamente desça para o térreo. Com isso, os sistemas hidráulicos dos elevadores possuem a maior segurança se comparado aos outros modelos no

mercado. Também proporcionam mais resistência e durabilidade do que os modelos elétricos.



Figura 40 - Norma ABNT de segurança.  
Fonte: Catálogo ABNT.

### 2.1.3 Funcionamento

Equipamentos hidráulicos, são normalmente movidos por um pistão hidráulico, que se localiza embaixo do equipamento, que se assemelha aos elevadores de carro. Desse modo, se diferem dos elevadores elétricos, que usam cabos e são ligados por eletricidade, sendo os mais comuns.

O elevador hidráulico pode levantar uma cabine usando uma bomba hidráulica e um pistão por fluidos em um cilindro. Este cilindro é ligado a um sistema de bombeamento que geralmente usam óleo.

O sistema hidráulico possui três partes: um reservatório, uma bomba e uma válvula que fica entre o cilindro e o reservatório.



Figura 41 - Funcionamento do elevador hidráulico.  
 Fonte: Bombeiro Oswaldo Blog Spot.

A bomba pressiona o fluido no tanque através de uma tubulação, o que movimenta o cilindro. Quando a válvula abre, o fluido que foi pressurizado escoar pelo caminho de menor resistência. Com isso, a válvula fecha e o fluido não tem para onde ir, além do cilindro.

Na entrada do cilindro, está empurrando o pistão para cima, e isto levanta o elevador. No momento que o elevador fica próximo do nível correto, o sistema de controle manda um sinal para o motor para, fechar a bomba. Com a bomba fechada, não existe mais o fluido que entra no cilindro, mas o fluido que já está no cilindro não tem saída. O pistão para no fluido o que faz o elevador ficar sem sair do nível.

Na descida, o controle do elevador envia um sinal para a válvula, que se aciona. Na sua abertura, o fluido que estava no cilindro se desloca para o tanque. O peso da carga traciona o pistão, que leva o fluido ao tanque. Com isso, o elevador desce lentamente.



Figura 42 - Elevador hidráulico do tipo móvel.  
Fonte: Soluções industriais.

## 2.2 Containers Soldados (Câmaras de Separação)

Atualmente, os containers ganharam uma nova função, tendo em vista que foram reconhecidos como uma boa oportunidade de unir o aproveitamento de um material ao design.

Com isso, os containers trazem uma grande inovação e podem oferecer um mundo mais sustentável, pois essas estruturas metálicas oferecerem muitas vantagens como praticidade e economia com matéria prima e mão-de-obra. Além disso, os containers oferecem grande versatilidade, resistência e segurança.

Os containers são fabricados com aço, em painéis de chapa corrugada soldados à estrutura principal.

Para um container ser um projeto eficiente, a peça precisa passar por diversos procedimentos desde limpeza, funilaria, serralheria, pintura, revestimento e acabamento.

Todos os procedimentos precisam de muita atenção e cuidado para assegurar que nenhum resíduo químico e tóxico possa estar na estrutura.

Anteriormente, era comum contêineres antigos serem utilizados para a montagem de canteiros de obras. Porém, seu valor ficava baixo, somente para este tipo de aplicação, tendo novas possibilidades mal aproveitadas.



Figura 43 - Secador de café do tipo caixa.  
Fonte: Alume.

### 2.2.1 Vantagens

Reaproveitar um container é muito importante para o meio ambiente, uma vez que há redução do descarte dos materiais na natureza.

As vantagens são agilidade e praticidade na montagem da estrutura, pois os containers não necessitam de investimentos com fundações.

Um projeto de um container pode ser levado para outra instalação, o que garante a manutenção da estrutura principal e a combinação com outros materiais levam a projetos diferenciados e mais dinâmicos. Os novos containers foram desenvolvidos para suportar alterações climáticas e resistir a desastres como terremotos.



Figura 44 - Lista de vantagens dos containers soldados.  
Fonte: SANS CONTAINERS.

## 2.3 Fornalhas

As fornalhas são equipamentos feitos para fazer a queima do combustível, de maneira contínua, em condições de excelente aproveitamento da energia térmica da combustão, buscando um maior rendimento térmico. O projeto de uma fornalha para o secador de café tem como base o princípio “3Ts” da combustão que consiste em: temperatura, turbulência e tempo. O tamanho e a forma da fornalha variam de acordo com o tipo de combustível usado para a queima e da quantidade de energia liberada no tempo. Para realizar a combustão do combustível, deve-se buscar uma mistura ar-combustível homogênea, na dosagem correta e no tempo correto. Com isso, tem-se o aquecimento do combustível até a ignição. As fornalhas podem ser classificadas, em função dos combustíveis como:

- Fornalhas com combustíveis sólidos: lenha e carvão vegetal;
- Fornalhas com combustíveis pulverizados: carvão em pó e casca de café;
- Fornalhas com combustíveis líquidos: óleo diesel e álcool; e
- Fornalhas com combustíveis gasosos: gás natural e biogás.

### 2.3.1 Tipos de Fornalha para a Secagem do Café

A partir da forma de processamento do café (seca ou úmida) e de uma boa combustão, usam-se alguns tipos de fornalha para a secagem:

**Fornalha com aquecimento direto:** a energia térmica que vem dos gases da combustão se mistura com o ar do ambiente e é utilizada na secagem do café. Porém, a mistura do gás com os gases da combustão pode ser ruim numa situação, em que o processo de combustão não é eficiente o que gera agentes contaminantes, assim como o monóxido de carbono e a fumaça. Aproveitando-se a energia térmica dos gases no processo de combustão, as fornalhas de aquecimento direto, em combustão completa, apresentam melhor desempenho. Nestas fornalhas, necessita-se o acoplamento de um decantador tangencial, em que as partículas incandescentes, entram em movimento e são separadas do fluxo dos gases através da força centrífuga.

**Fornalha com aquecimento indireto:** nesse tipo de fornalha, a energia térmica dos gases provenientes da combustão é transferida para o trocador de calor, o qual aquece o ar da secagem dos grãos. Neste sistema, há perda de energia térmica através da chaminé e do sistema, o que resulta em uma menor eficiência em relação a uma fornalha de aquecimento direto. As fornalhas que possuem o aquecimento indireto são usadas para produtos agrícolas que necessitam de uma temperatura controlada ao longo da secagem, como: na secagem de sementes, cacau e café. Já no caso da lenha, as fornalhas com aquecimento indireto, mostram grande perda de calor e gastam grande quantidade de combustível, não necessitam de mecanismos muito precisos para controle da combustão e temperatura do ar e são as mais usadas em secadores usuais de café. Além disso, nas fornalhas com aquecimento indireto, quando se usa lenha de má qualidade e ainda úmida, produz-se fumaça na queima, o que causa grande desconforto e deixa cheiro e gosto no produto quando o trocador de calor sofre o processo de corrosão.

Apesar de ser um combustível muito utilizado, a lenha precisa de fornalhas com boas dimensões, que são construídas com materiais de boa duração e definidos para o seu uso tamanho, qualidade e umidade do combustível. As fornalhas, quando usam os trocadores de calor com fluidos térmicos, mostram a facilidade do controle da temperatura do ar de secagem. Atualmente, na secagem de café, tem se empregado caldeiras a vapor para o aquecimento indireto do ar. O alto custo de uma caldeira convencional e o pequeno volume de café fabricado

impossibilitam que os pequenos produtores possam utilizar essa tecnologia como uma opção para melhorar a qualidade do café.

### 2.3.2 Fornalhas e seu Funcionamento

O conhecimento do funcionamento das fornalhas e uma boa operação são condições indispensáveis para o uso da energia na secagem do café. Com isso, para a combustão completa do combustível acontecer, deve-se buscar uma mistura ar-combustível, na dosagem ideal e no tempo certo. Desse Modo, tem-se o aquecimento do combustível até a ignição. Por outro lado, as fornalhas para a queima de combustíveis sólidos não pulverizados, como a lenha ou carvão devem ter os seguintes itens:

**Depósito de combustível:** Para a utilização de combustíveis específicos como madeira, carvão e frutos secos, em algumas fornalhas, apresentam-se um depósito de combustível para a câmara de combustão.

**Câmara de combustão:** consiste no espaço para o processo de combustão, em que todos os compostos que irão gerar combustíveis serão oxidados, o que libera energia térmica. O mais importante nas fornalhas é ter um dimensionamento coerente da câmara de combustão, da grelha e da abertura de ar, a fim de obter oxigênio em quantidade suficiente para se misturar com o combustível e gerar mais gases quentes com o menos fumaça.

**Grelha:** deixa o combustível sólido pendente no processo de combustão, enquanto o ar circula na sua superfície.

**Cinzeiro:** este é o depósito que fica abaixo da grelha e tem função de armazenar os restos da combustão como cinzas e brasas. Para o melhor funcionamento da fornalha, o cinzeiro deve ser limpo ocasionalmente.

**Entradas de ar:** entradas com possibilidade de regulagens, que se localizam em pontos estratégicos ao longo da fornalha. São responsáveis pela passagem do ar pelo interior da fornalha e devem facilitar a mistura ar-combustível.

**Saídas dos gases:** são aberturas para a saída dos gases da combustão e do excesso de ar que podem ser aproveitados como fonte de energia térmica para muitas. Já para as fornalhas de aquecimento indireto, a saída dos gases é pela chaminé.



Figura 45 - Saída dos gases pela chaminé.  
Fonte: Último segundo - IG.

## 2.4 Exaustor

A principal função do exaustor é substituir o ar quente pelo ar frio. Como é mais leve, o ar quente, fica concentrado na parte superior do ambiente. O exaustor, então leva o ar quente para fora do ambiente, esse deslocamento pode ocorrer por coifas ou por janelas. A eficiência do exaustor depende da temperatura externa, porque este irá fazer a troca do ar que está dentro da câmara pelo ar que está fora da câmara.

Além de ajudar no controle da temperatura, um exaustor pode ser combinado com outros componentes, como filtros, para ter uma melhor qualidade do ar. O tipo, tamanho e preço do exaustor irá variar conforme a aplicação e especificação. Na

indústria, o exaustor é uma ferramenta indispensável para o bem-estar e a segurança dos empregados por diminuir a insalubridade do local.

Os exaustores possuem aplicações em muitos tipos de atmosfera. Desse modo, o ventilador envia uma corrente de ar e o distribui pelo ambiente de modo constante. Com o exaustor, o vento não é sentido de maneira direta pelas pessoas e não incômoda. O exaustor é um dispositivo muito versátil e tem muitas aplicações indústria tal como: resfriamento, qualidade do ar e eliminação de impurezas.

O tipo de exaustor depende do tipo de atividade que será feita na indústria determinada. Com isso, tem-se três tipos usuais de exaustores:

**Exaustor Axial:** Utilizado para o transporte de grandes volumes de ar, baixas pressões e fluxo paralelo ao eixo do exaustor. Uma desvantagem é que este tipo de exaustor opera com baixa potência, sendo necessário a instalação de muitos exaustores para que o sistema opere adequadamente.

**Exaustor Eólico:** Não utiliza energia elétrica, pois seu funcionamento vem da força do vento. Seu mecanismo de trabalho é teoricamente simples, o ar aquecido na parte interior do ambiente sobe e fazendo com que os exaustores girem sugando o ar para fora e diminuindo a temperatura do local. Porém este dispositivo possui grandes desvantagens, pois possui pouca vazão e não constante, tendo em vista que depende do vento.

**Exaustor Centrifugo:** São geralmente utilizados para exaustão de setores específicos, como a aspiração de faíscas, que são resultado de atividades como soldagem e corte de metais. Por outro lado, apresenta grande pressão e uma boa vazão, dependendo da eletricidade para exaurir as partículas. Um sistema de exaustão também possui vários componentes como: dutos, que são responsáveis por movimentar o ar de uma área para outra e filtros que são responsáveis por purificar o ar a ser descartado na atmosfera.



Figura 46 - Exemplo de exaustor axial.  
Fonte: Norte refrigeração.

## 2.5 Tubulações

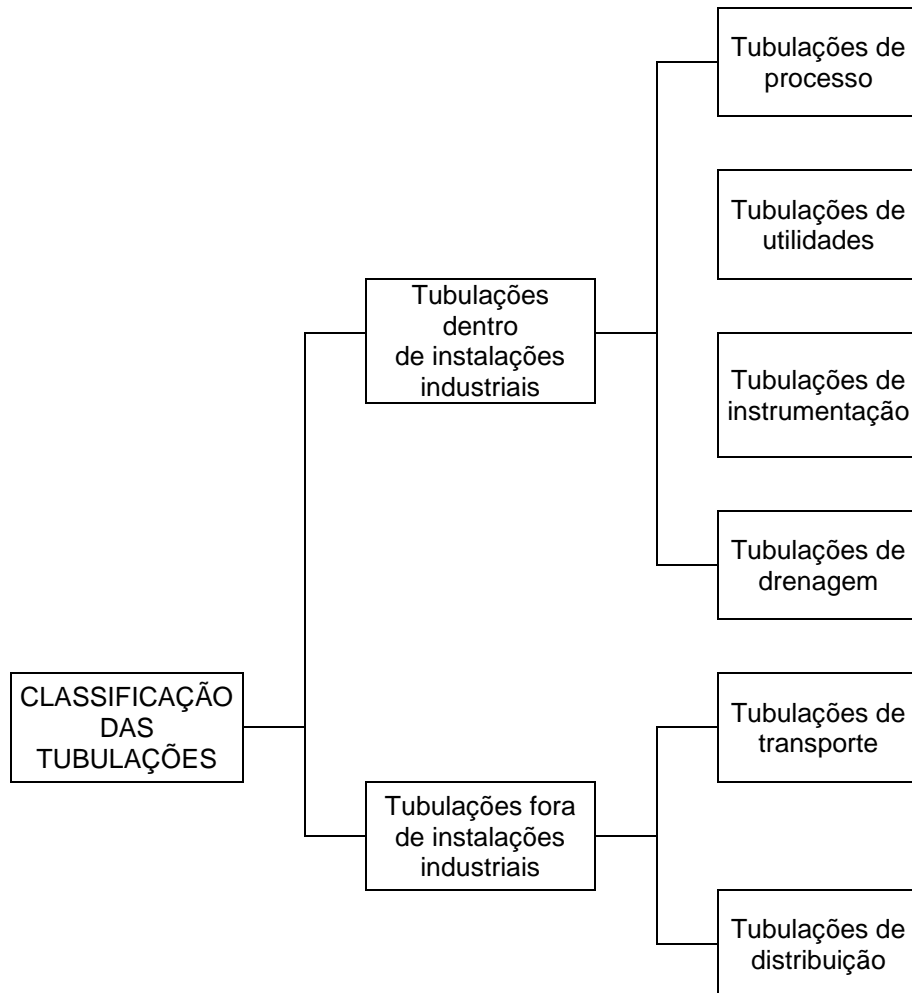
Tubos são dutos com a função de transportar fluidos. Normalmente, são de seção circular e sem superfície livre. Com isso, quando se tem um conjunto de tubos e acessórios, denomina-se “tubulação” ou ainda em um caso mais complexo, sistema de escoamento. Desse modo, os tubos podem ser fabricados com acabamento mais liso e menos rugoso que os padrão. Os tubos normalmente são escolhidos pelo diâmetro externo e a espessura da parede.

Utilização:

- Vapor para potência e aquecimento;
- Água potável ou para fins industriais;
- Óleos combustíveis;
- Ar comprimido;
- Gases e Líquidos industriais.

### 2.5.1 Classificação

Tabela 1 – Classificação das tubulações.



Fonte: EBAH.

### 2.5.2 Custo

Nas indústrias químicas, de processamento, indústrias petroquímicas e indústrias alimentícias, o custo das tubulações chega em até 70% do custo do equipamento ou até 25% do total do projeto.



Figura 47 - Tubulação de alta pressão.  
Fonte: Monteiro tubulações e caldeiraria.

## 2.6 Moedores

Atualmente, existem moinhos de café projetados para muitas aplicações e muitas marcas e modelos, desde os mais compactos aos mais robustos. Além disso, há aparelhos de moagem com funções simples e complexas, que possibilitam maior controle de granulometria de moagem. Os tamanhos e regulagens são fatores que interferem em cada equipamento. Existem dois tipos principais: manuais e automáticos.

### 2.6.1 Tipos de Moedores

#### 2.6.1.1 Moedores Manuais



Figura 48 - Exemplo de moedor de manual.  
Fonte: AGROTAM.

O modelo manual é o melhor para quem preservar a tradição. Este é o melhor para pouca quantidade de café. Como é versátil, pode ser transportado facilmente.

A matéria-prima do suporte pode ser de acrílico, inox ou vidro. Normalmente, é feito de lâminas de cerâmica com um sistema com manivela para facilitar a trituração.

A moagem é homogênea, mas possui poucas variações de granulometria e um preparo mais demorado.

Os componentes do equipamento são: um copo para controle de fluxo de água, um moedor de café, um filtro com base térmica. Com isso, a forma do produto é parecida com uma garrafa térmica.

Para obter um café fresco do equipamento, é necessário água e grãos. O moedor cônico faz a moagem com uma granulometria que varia.

### 2.6.1.2 Moedores Elétricos



Figura 49 - Exemplo de moedor elétrico.  
Fonte: Lojas Americanas.

Existem vários modelos, como os compactos e os que processam uma quantidade de grãos maior que de 45g.

Comparando com moedores manuais, possuem uma moagem mais rápida, o que possibilita um café fresco. Em alguns modelos é possível regular a granulometria do grão, dá ideal para café coado até mais grossas.

A partir do sistema de lâmina, os moedores se classificam em duas categorias:

### **2.6.1.3 Moedores Profissional**

São usados principalmente para comércios e empresas como cafeterias, restaurantes e padarias. Isso porque podem ser usados continuamente e moer grandes quantidades de grãos.

Na hora da escolha da compra, deve-se analisar o controle do equipamento, conhecimento técnico e comando de funções complexas.

Na maioria das lâminas cônicas, devem ser reguladas várias vezes por dia, considerando a temperatura e umidade do ambiente.

São de grande porte, complexos e aconselhados apenas para profissionais.

O investimento varia de acordo com a marca e a complexidade do modelo.

### **2.6.2 Manutenção**

Em questão de manutenção os moedores manuais levam vantagem, pois como não são elétricos, podem ser mergulhados em água.

A utilização de detergente é opcional, já que se usa limpar utensílios apenas com bucha ou papel toalha. Nesse caso, pode-se higienizar com água quente para retirar óleos que fazem parte do grão.

Já para os moedores elétricos, é necessário levar em conta as partes removíveis no aparelho. Além disso, o fabricante pode disponibilizar acessórios de limpeza, como pincel.

### 2.6.3 Versatilidade do Equipamento

Ao contrário do moedor manual, o aparelho elétrico possui mais opções de utilização, por isso o preço mais alto. Levar em conta a função do moinho, ou se somente faz a moagem de café também outros ingredientes.



Figura 50 - Exemplo de moedor versátil.  
Fonte: Japan Store.

### 2.6.4 Tipos de Moedores de Café

Existem muitos moedores, dos mais simples e de pequeno porte, até os mais sofisticados como manuais e automáticos.

#### 2.6.4.1 Moedores de Café Manuais

Normalmente usados em residências e encontrados em tamanho pequeno, os moedores manuais possuem uma manivela para ser movimentada, manualmente, para que os grãos de café sejam moídos.

O procedimento de moagem dura aproximadamente 3 minutos. Nesse período pode se influenciar os aromas e os sabores do produto moído.

#### 2.6.4.2 Moedores de Café Automáticos

Estes modelos fazem moagens e dosagens constantes e de maneira precisa e possibilitam a extração de um café de alta qualidade. Além disso, realizam o procedimento mais rapidamente e evitam o desperdício. Há 3 tipos principais:

**Pequeno porte:** são modelos com lâminas em forma de hélice e usados em domicílios, escritórios e em viagens.

**Médio porte:** possuem lâminas simples, como as do modelo de pequeno porte ou lâminas mais complexas, como a do estilo “flat”, que são duas lâminas lisas. Esse tipo é o mais indicado para moagens mais rápidas e precisas. Indicados para microempresa, escritórios e estabelecimentos comerciais, pois são mais sofisticados, diminuem o calor na moagem e protegem os óleos do grão.

**Grande porte:** são utilizados por profissionais, encontrados em ambientes gastronômicos como padarias, cafés e restaurantes. Possuem lâminas cônicas, que precisam ser reguladas de acordo com a umidade e a temperatura do local. Estes suportam grandes quantidades na moagem e dificilmente sobreaquecem.

#### 2.6.4.3 Moedores de Café Digitais

Estes modelos moem a quantidade exata de café com um controle de moagem de forma constante e micrométrica, o que evita o desperdício e mantém o padrão. Além disso, eles possuem um sistema prático de regulação e de fácil limpeza e manutenção.

#### 2.6.5 Escolha do Moedor

No momento da escolha do tipo ideal de moedor, deve-se analisar o tipo de acordo com o fim, já que existem muitas marcas que não utilizam produtos de qualidades como: as lâminas, que podem ser cônicas ou planas, pois harmonizam a

moagem e permitem a preparação de um café com maior qualidade. O dosador é um recipiente cilíndrico, que recebe os grãos torrados e moídos e possibilita a saída de uma certa quantidade de café para ser preparado. O ajuste do equipamento acomoda-se com a moagem e com o tipo de café que será preparado.



Figura 51 - Exemplo de moedor de café.  
Fonte: Raiar Moinhos.

### **2.6.6 Princípio do Trabalho**

Este dispositivo funciona através da trituração dos grãos, em que este é compactado e depositado em um recipiente que o guarda para ser ensacado.

### **2.6.7 Principal Uso**

Os moedores podem ser usados em muitas áreas como: café de moagem, química, mineração, refratários, materiais de construção, medicina, alimentos, pesticidas e alimentos.

Tabela 2 – Comparativo de moedores de café.

<b>Método</b>	<b>V60</b>			<b>Kalita Wave</b>		
	<b>Média Fina</b>	<b>Média</b>	<b>Média Grossa</b>	<b>Média Fina</b>	<b>Média</b>	<b>Média Grossa</b>
<b>Regulagem Moedor</b>						
<b>Café (g)</b>	16 g	16 g	16 g	16 g	16 g	16 g
<b>Água (mL)</b>	200 mL	200 mL	200 mL	200 mL	200 mL	200 mL
<b>Tempo Final para extração</b>	2'50"	2'35"	2'20"	3'09"	2'59"	2'32"
<b>Nota de 1 a 6</b>	3	5	4	2	3	4

Fonte: COFFEE LOVER.



Figura 52 - Exemplo de aço inox.  
Fonte: Raiar Moinhos.

## 2.7 Ventilador Centrífugo

O Spray de secagem é o mais utilizado como tecnologia na indústria de secagem. Esta tecnologia é melhor para a produção de sólidos em pó ou produtos a partir de materiais líquidos como: solução, emulsão, suspensão e bombeáveis. Desse modo, quanto ao tamanho das partículas e distribuição dos produtos, conteúdo de água residual, densidade de massa e forma das partículas, devem atender o padrão pedido. Este spray secador é muito utilizado nos ramos alimentícios, a indústria farmacêutica e química, como pó de ovo, amino ácido do produto, proteína, sangue, o sabor dos alimentos, ingredientes alimentares, extração de ervas, cacau, cogumelo, suco, fermento, café, desnatadeira, coco, leite etc.

### **2.7.1 Princípio de Funcionamento**

Depois de ser filtrado e aquecido o ar entra no distribuidor de ar fica na parte superior do secador. O material líquido gira e é pulverizado para dentro do líquido névoa. Como o tempo de entrar em contato com o calor do ar é muito curto, os materiais podem ser secos. Os produtos serão descarregados na parte inferior do dispositivo de secagem. Os resíduos de gás vão ser descarregado a partir do ventilador.

### **2.7.2 Principais Características**

A velocidade de secagem se torna alta quando o material líquido é centrifugado, assim a área da superfície do material aumentara consideravelmente no fluxo de ar e de água. Este pode ser evaporado em um momento e o tempo de secagem pode terminar em apenas alguns segundos. Isso é usado para a secagem de materiais sensíveis ao calor.

Estes produtos com boa uniformidade, capacidade de fluxo e solubilidade são de grande pureza e boa qualidade.

Os procedimentos de produção são simples e operação e controle é fácil. O líquido com umidade de 40 a 60% pode ser seco, em pó ou em partículas. Os produtos, após o processo de secagem, não precisam de esmagamento e classificação, para a redução dos procedimentos de operação e aumentar a pureza do produto. Já os diâmetros das partículas do produto e a água podem ser ajustadas por meio da mudança da condição de operação dentro de um intervalo de tempo específico.



Figura 53 - Exemplo de centrífugador automático.  
Fonte: Ciclofan.

### 2.7.3 Lista de Modelo

Tabela 3 – Tabela de rotores para ventilador centrífugo.

Código	Rotores		Largura	Altura	Ø Furo
	Modelo	Sentido	A	B	C
SC 2044 I	Dupla	Direita	Ø146	150	Ø9
VS 0806 I	VSI-80	Direita	Ø97	42	Ø10
VS 0808 I	VSI-80	Esquerdo	Ø97	42	Ø10
VS 0906 I	VSI-90 / VSC-10	Direita	Ø120	42	Ø10
VS 0908 I	VSI-90 / VSC-10	Esquerdo	Ø120	42	Ø10
<b>VS 1008 I</b>	<b>VSI-100</b>	<b>Direita</b>	<b>Ø120</b>	<b>74</b>	<b>Ø9</b>
<b>VS 1015 I</b>	<b>VSI-100</b>	<b>Esquerdo</b>	<b>Ø120</b>	<b>74</b>	<b>Ø9</b>
VS 1300 I	VSI-130	Direita	Ø146	72	Ø11
VS 1306 I	VSI-130	Esquerdo	Ø146	72	Ø11
VS 1326 I	VSI-130 / VSC-20	Direita	Ø146	72	Ø9
VS 1328 I	VSI-130 / VSC-20	Esquerdo	Ø146	72	Ø9
<b>VS 1607 I</b>	<b>VSI-160</b>	<b>Direita</b>	<b>Ø160</b>	<b>75</b>	<b>Ø14</b>
<b>VS 1613 I</b>	<b>VSI-160</b>	<b>Esquerdo</b>	<b>Ø160</b>	<b>75</b>	<b>Ø14</b>
VS 1638 I	VSI-160 / VSC-30	Direita	Ø160	75	Ø9
VS 1654 I	VSI-160	Esquerdo	Ø160	75	Ø9
VS 2027 I	VSI-200	Direita	Ø200	92	Ø19
VS 2028 I	VSI-200	Esquerdo	Ø200	92	Ø19
<b>VS 2107 I</b>	<b>VSI-200</b>	<b>Esquerdo</b>	<b>Ø200</b>	<b>102</b>	<b>Ø24</b>
<b>VS 2108 I</b>	<b>VSI-200</b>	<b>Direita</b>	<b>Ø200</b>	<b>102</b>	<b>Ø24</b>

Fonte: COFFEE LOVER.

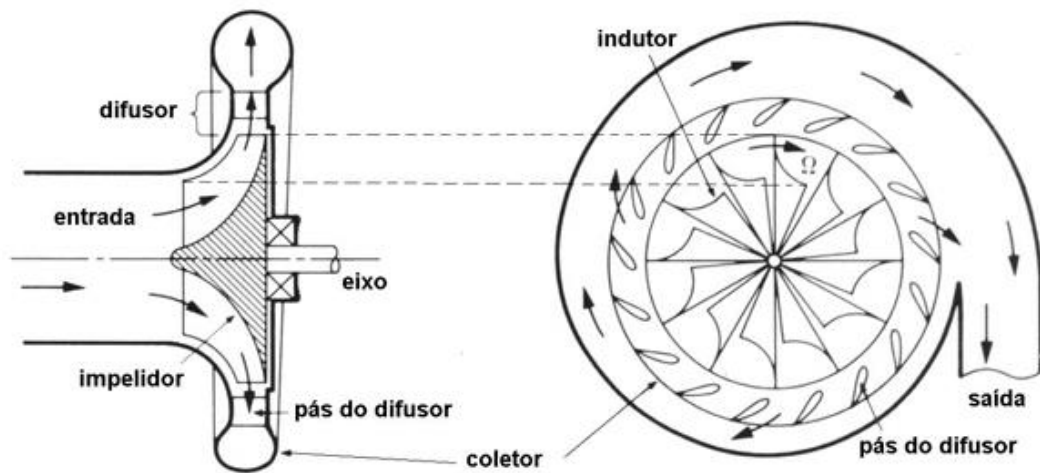


Figura 54 - Funcionamento de um centrifugador automático.  
Fonte: Canal Piloto.

## 2.8 Estrutura Metálica

Com o objetivo de diminuir as dificuldades na secagem do café, se desenvolveu o terreiro secador. Este utiliza um terreiro comum, normalmente com o uso de concreto, para um sistema de ventilação com ar aquecido por uma fornalha, para se secar o café em leiras, na falta de sol ou em caso de chuva.

O terreiro híbrido é feito normalmente com dimensões de 10 m por 15 m cada um. No tamanho, o terreiro de secagem possui uma tubulação principal para o abastecimento de ar para pontos específicos, em que seis aberturas são colocadas nas câmaras de secagem e em camada fixa, ou tubulações secundárias desenvolvidas por dutos construídos por chapa perfurada, para a secagem em leiras que podem ser transversais ou longitudinais.



Figura 55 - Representação de estrutura metálica.  
Fonte: Escola Engenharia.

Neste tipo de secador, também é possível secagem em camada fixa, acomodando-se com câmaras de secagem através das aberturas de ar. Estas câmaras são arquitetadas com caixas d'água em fibra e que possuem um fundo falso feito com chapa perfurada o que forma uma câmara.

As caixas se apoiam nas tomadas de ar da tubulação principal ou nas fendas da tubulação secundária do duto lateral. Já os dutos que realizam distribuição de ar são feitos com tubos de PVC e perfurados em chapa metálica, que ficam adaptados nas tomadas de ar.

Por outro lado, o duto principal é acoplado uma fornalha com um ventilador centrífugo, que pode abastecer até 1,5 m<sup>3</sup>/h de ar. Na falta de sol, caso de chuvas e durante a noite, o produto é recolhido para as câmaras de secagem sobre os dutos de distribuição de ar para secagem com ar aquecido. Durante períodos de chuva, deve-se cobrir os grãos.

Se operar o sistema em camada fixa é fácil, porém é necessário algum cuidado. Desse modo, a altura do produto na câmara de secagem pode variar. A altura acima desta faixa pode causar problemas, como alta taxa de umidade nos grãos. A movimentação do produto periodicamente é importante para evitar uma indesejável umidade do produto.

A secagem dos grãos pode ser feita em 24 horas no terreiro híbrido ou por uso da energia solar e da combustão da biomassa como lenha ou carvão vegetal, no período de falta de sol. Assim, durante os dias ensolarados, o terreiro funciona normalmente e usam-se as câmaras para secagem com ar a altas temperaturas, o que permite maior produtividade.

Por meio dessa técnica, o café originário do lavador pode ser secado até chegar à umidade ideal, em quatro dias, ou em oito horas, caso se ventilar com ar aquecido. Com isso, há uma economia nos gastos de energia no uso desse tipo de secador e não os secadores mecânicos comuns, pois é possível o uso da energia solar em dias de sol e melhorar outras formas de energia, quando o clima não cooperar com o processo.

## 2.9 Trocadores de Calor

Consiste em um equipamento termodinâmico que faz a transferência de calor de fluidos que estão em temperaturas diferentes. Este processo nada mais é do que uma troca térmica de calor. Este dispositivo tem por função resfriar e aquecer fluidos, e para isto, o fluido passa por um processo que permite a troca de calor.



Figura 56 - Exemplo de trocador de calor.  
Fonte: Termotek.

### 2.9.1 História

Milhares de anos antes de Cristo os seres humanos já utilizavam um dispositivo que promovia a troca de calor, que usamos até hoje: a panela de

cozinhar. Arquimedes, em sua época criou o primeiro trocador de calor para uso comercial: o canhão a vapor. Além destes, Heron, em 120 A.C, fez outro equipamento: a esfera gigante. Porém, só em 1763 o trocador de calor foi patenteado, com a máquina que funcionava a vapor de Watt.

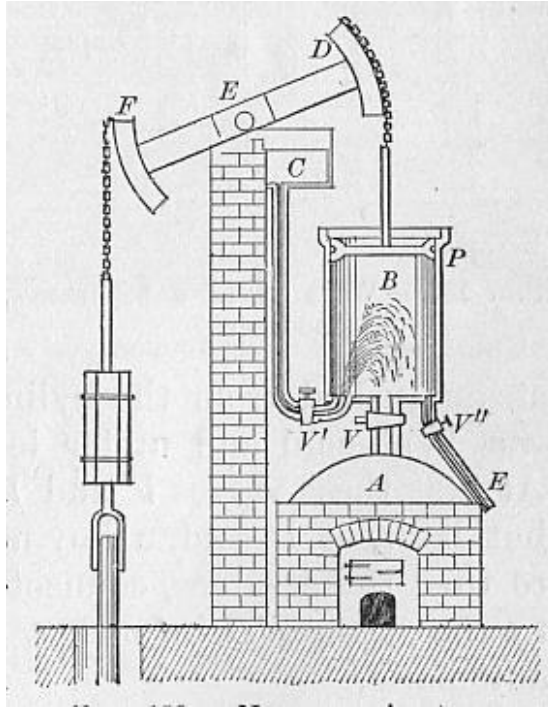


Figura 57 - Um dos primeiros trocadores de calor.  
Fonte: Academic Kids.

### 2.9.2 Características

Possuem vários tubos e estão disponíveis em diversos modelos, cada um com características e aplicações para uma determinada necessidade. Normalmente, o fluido refrigerante (menor temperatura), escoam pelos tubos, ao mesmo tempo que o fluido de maior temperatura, que é refrigerado, passa pelos tubos internos, sendo que é separado pelo casco do equipamento. Com o objetivo de uma maior economia, alguns equipamentos possuem dobras nos tubos para reduzir o espaço. O trocador de calor não tem um lado específico para saída e entrada do fluido, assim o dispositivo pode operar em dois tipos de fluxo sendo eles paralelo e contracorrente. Nos paralelos, os fluidos circulam de modo paralelo dentro do equipamento, ou seja, os fluidos entram pelo mesmo lado e saem por outro mesmo

lado. Nos do tipo contracorrente, é admissível que os fluidos circulem em sentido contrário, em que, um fluido entra por um lado e sai pelo lado oposto, enquanto o outro fluido entra por esse lado oposto e sai pelo lado inicial do mesmo equipamento.

### **2.9.3 Utilização**

O dispositivo pode ser encontrado em muitas áreas e processos industriais, dependendo da função dentro do processo que é utilizado, como para alta pressão e temperatura, ou até para uso doméstico. Um exemplo clássico de uso de um trocador de calor é o ar condicionado, que funciona com o ar em temperatura ambiente quando é colocado em contato com um fluido refrigerante que retira o calor do ar e este ar quando refrigerado retorna ao ponto inicial. Além deste, utiliza-se o equipamento na indústria, como condensador, atuando com a entrada do fluido na forma de gás e mandando de volta como líquido. Porém, em caso contrário, o fluido entra de forma líquida e sai na forma de gás, funcionando como evaporador.

Aplicações:

- Indústrias de petróleo;
- Indústrias Químicas;
- Indústrias de automóveis;
- Geração de energia;
- Processos de refinarias;
- Indústria marítima;
- Condicionadores de ar; e
- Indústria de bebidas.



Figura 58 - Trocador de calor para cervejaria.  
Fonte: MANUTROL.

#### 2.9.4 Vantagens

- Alta eficiência na transferência de calor;
- Baixo custo;
- Alto desempenho;
- Fácil desmontagem;
- Fácil manutenção; e
- Permite o ajuste da capacidade do trocador.

#### 2.10 Câmara de Combustão

Uma câmara de combustão é o espaço em que acontece o processo de combustão de um combustível em um equipamento.

Estes dispositivos têm muitas formas e podem funcionar por vários tubos que ficam entre o compressor e a turbina. Além disso, podem ter um formato anelar com um espaço ininterrupto onde acontece a queima do combustível. Por outro lado, um

grande problema numa câmara de combustão é a estabilidade da chama em função da velocidade da corrente de ar em pressão. Para que a chama seja estável, o combustível é queimado no estado gasoso em um tubo dentro da câmara de combustão. Este tubo tem vários furos posicionados para permitirem a entrada de ar o suficiente para a queima aproveitável do combustível para não se perder a estabilidade da chama. Do mesmo modo, o resfriamento da parte externa da câmara de combustão é outro problema, pois ocorre um desvio de uma parte do ar que vem do compressor e refrigera a câmara externamente.

### 2.10.1 Materiais Refratários

- Alumina;
- Zirconita;
- Sílica fundida; e
- Quartzos.



Figura 59 - Exemplo de câmara de combustão.  
Fonte: POLIDRYER.

### 2.10.2 Utilização

A principal função de uma câmara de combustão é queimar o combustível, acrescentando energia na forma de calor. Portanto, a câmara de combustão deve

fazer essa queima de uma maneira eficiente, resfriando os gases que resultaram da combustão, para que as turbinas suportem a temperatura de operação.

### 2.10.3 Tipos de Câmaras

- Câmara múltipla;
- Anular;
- Canelar; e
- Câmara de fluxo reverso.

## 2.11 Combustíveis

Os combustíveis são compostos que fazem a queima (combustão) liberando calor. Eles podem ser classificados em sólidos, líquidos e gasosos, ou natural e derivado. Naturais são os que são usados como são retirados da natureza. Já os derivados são os que sofreram algum processo de refino.

Com isso, podemos dizer que o poder calorífico é a quantidade de energia retirada da combustão completa a partir de uma unidade de volume ou peso de um combustível. O poder calorífico está relacionado com as propriedades químicas do combustível utilizado e não de onde é queimado, já que se assume que a combustão é completa. A partir daí o poder calorífico superior (PCS) é calculado pela bomba calorimétrica, em que se leva em consideração o calor da condensação do vapor de água dos produtos resultantes da combustão. Já o poder calorífico inferior (PCI), não leva em consideração o calor de condensação do vapor de água resultante da combustão.

### 2.11.1 Combustíveis Sólidos

**Lenha:** Consiste em madeira em pedaços, para serem queimados ou transformados em carvão. A lenha é composta por matérias orgânicas que podem

chegar a 75% do peso. O coeficiente de umidade da lenha após o corte está entre 40 a 55% em base úmida e 20 a 25% em base úmida na lenha seca.



Figura 60: Lenha.  
Fonte: Mambo.

**Carvão Mineral:** É formado a partir do acúmulo de matéria orgânica sob transformações físicas e químicas causadas por processos geológicos. De acordo com as transformações existem quatro tipos de carvão: turfa, linhito, hulha e antracito.



Figura 61: Carvão Mineral.  
Fonte: CRM.

**Carvão Vegetal:** É formado obtido pela pirólise da lenha. Pesa aproximadamente 40% do peso da lenha. O alcatrão que é formado na produção do carvão tem PCI = 27211 KJ/kg quando está com baixa umidade.



Figura 62: Carvão Vegetal.  
Fonte: Novotempo.

### 2.11.2 Resíduos Agrícolas

São extraídos depois da colheita dos produtos agrícolas, como: bagaço de cana, palha de arroz e de café e sabugo de milho. Para se evitar a erosão e se permanecer a fertilidade do solo é preciso 36 a 50% do total de resíduos agrícolas produzidos. Já para a secagem seria necessário aproximadamente 15% do número de sabugos produzidos ou de 5% do número de resíduos produzidos numa lavoura de milho com produtividade média.



Figura 63: Resíduos agrícolas.  
Fonte: CULTURA MIX.

### 2.11.3 Combustíveis Líquidos

Os combustíveis líquidos são produtos do petróleo, do óleo de xisto e do álcool etílico.

**Petróleo:** É uma substância originada pela mistura de compostos orgânicos os chamados “hidrocarbonetos”. O petróleo bruto, quase não possui utilidade através da destilação separam-se seus produtos, como: gasolina, querosene, óleo diesel.



Figura 64: Petróleo bruto.  
Fonte: ROMANEWS.

**Álcool Etílico:** É extraído da cana-de-açúcar e da mandioca, com a vantagem de ser um produto renovável, o que não é o caso do petróleo.



Figura 65: Álcool etílico.  
Fonte: ROMANEWS.

#### 2.11.4 Combustíveis Gasosos

É formado por mistura de gases, que dá origem ao combustível. O mais comum é o gás natural de petróleo, que é usado em automóveis como (GNV) e em domicílios. Além desse, o biogás é utilizado em propriedades rurais e é feito através da fermentação de produtos orgânicos.



Figura 66: Gás Natural.  
Fonte: CEGN – UFRJ.

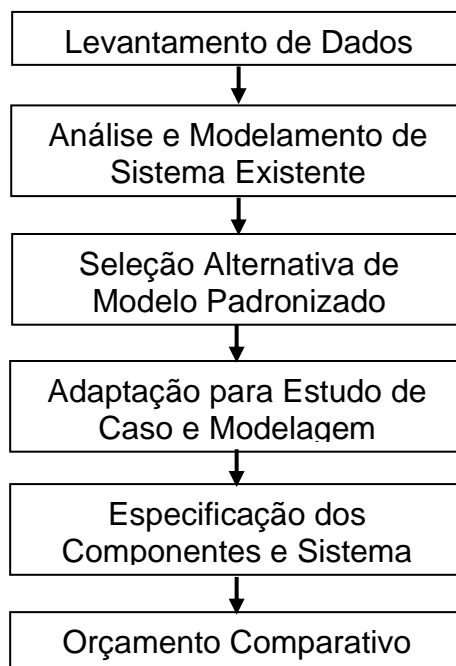
### 3 METODOLOGIA

Optou-se por fazer um estudo de caso para o projeto do secador de café, que tem como função descrever e analisar o funcionamento do equipamento, desenvolver argumentos lógicos, a fim de aumentar a sua eficiência e melhorar o custo benefício. Esta técnica utiliza dados qualitativos que podem ocorrer por meios variados. Além disso, para a realização do estudo de caso, foi definido quais os procedimentos seriam adotados para chegar ao objetivo.



Figura 67: Metodologia Estudo de Caso.  
Fonte: WORDPRESS.

#### 3.1 Fluxograma



### **3.2 Levantamento de Dados**

Será utilizado como base de modelo existente o secador de coluna SCOT-150, que é fabricado pela empresa Tromink Industrial Ltda, que tem a função de remover a umidade dos grãos e sementes. Com isso, serão feitos todos os cálculos para se dimensionar este secador, e para isso será utilizada uma planilha no Software Excel para o cálculo dos custos da produção de um protótipo adaptado ao desta empresa.

### **3.3 Modelo Existente**

O modelo que será analisado é o Secador de coluna SCOT, que é fabricado em uma estrutura de chapa de aço galvanizado, em que em seu centro, há colunas interligadas, formando uma massa de grãos. Com isso, a massa de grãos, circula por um sistema regulador com saída individual, pela gravidade. Neste basculante, os sistemas estão interligados entre si, homogeneizando o processo da secagem.

O produto entra pela parte superior do secador, passando por um funil de carga, que é montado sobre a torre de secagem. Com isso, a torre é montada acima da descarga do secador, que está interligada com os pilares, formando uma estrutura rígida.

Na parte lateral do secador, ficam duas câmaras: uma de ar quente e uma de ar servido. A câmara de ar quente fica ligada com o sistema de alimentação do secador que são o conjunto da fornalha e caldeira.

Do lado oposto da torre, fica ligada a câmara de ar servido, onde ficam instalados os exautores. Estes fazem a sucção do ar, em que enviam o ar quente pela massa de grãos, tirando a umidade. Assim, esse ar servido retorna ao ambiente externo.

Na parte inferior, há um transportador que direciona o grão, logo após a remoção de umidade, para se armazenar e comercializar.



Figura 68: Secador SCOT.  
Fonte: TROMINK.

### 3.4 Adaptação do Modelo

A equipe se baseou no Secador SCOT da empresa Tromink, para fazer uma adaptação para o pequeno produtor rural, em que executa as mesmas funções de um secador de café industrial, com um custo menor e sem grande perda na qualidade do serviço. Além disso, o modelo será consideravelmente menor e contará com equipamentos menos sofisticados para o processo de secagem.

### 3.5 Dimensionamento

Para o dimensionamento do projeto será seguida a metodologia de Weber no livro “Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos” (2005), em que o autor descreve as variáveis do processo de secagem de grão e dimensionamento do equipamento levando em conta os seguintes critérios: percentual de água evaporada, calor necessário para a evaporação, tipo e quantidade de combustível, custos, vazão de ar, potência necessária do motor, volume da câmara de combustão e área da grelha.

### 3.6 Cálculos

Tabela 4 – Comparativo de dados do secador analisado e projetado.

	<b>SECADOR PROJETADO</b>	<b>SECADOR SCOT - 150</b>
<b>Ton/h (907,184Kg)</b>	15	150
<b>Sacas</b>	2019	2010
<b>Redução de Umidade</b>	18% - 14%	18% - 14%
<b>Produto</b>	Grãos de Café (750kg/m <sup>3</sup> )	Grãos de Soja (750kg/m <sup>3</sup> )
<b>Temperatura Ambiente</b>	20 C <sup>o</sup>	20 C <sup>o</sup>
<b>Temperatura de Secagem</b>	110 C <sup>o</sup>	110 C <sup>o</sup>

Fonte: Autores.

#### 3.6.1 Cálculo da Porcentagem de Água Evaporada

$$A = \frac{(hi - hf)}{(100 - hf)} \times 100$$

$$A = \frac{(18 - 14)}{(100 - 14)} \times 100 \quad (0.1)$$

$$A = 4,65\%$$

Legenda:

hi: Umidade inicial (18%)

hf: Umidade final (14%)

A: Água evaporada

#### 3.6.2 Cálculo da Massa de Água em Função do Tempo

$$Pa = (Ps) \times \frac{A}{100}$$

$$Pa = (10200) \times \frac{4,65}{100} \quad (0.2)$$

$$Pa = 474,30 \text{ Kg} / h$$

Legenda:

Pa: Massa de água em (kg)

Ps: Massa de grãos (café) em (kg)

A: Água evaporada em (%)

### 3.6.3 Cálculo da Quantidade de Calor para Evaporação da Água

$$H = \frac{(Pa)x(c)}{\alpha}$$

$$H = \frac{(474,30)x(667)}{0,7}$$

$$H = 451940,142Kcal / k \quad (0.3)$$

$$H' = 486157,500Kcal / h$$

“Dizemos que esse roteiro de cálculo é simplificado porque não levamos em consideração outros fatores que embora não seja tão expressivo, também são relevantes como o caso das perdas por transmissão de calor nas paredes do secador e fornalha.” (WEBER, 2005, pg. 301).

Legenda:

H: Calor em (kcal)

Pa: Massa de água em (kg)

c: Calor teórico livre: 667 kcal/kg

### 3.6.4 Cálculo do Custo do Combustível

• Lenha:

“A melhor forma de calcular o custo da lenha seria comprar madeira por quilograma ao invés de m<sup>3</sup> que é a forma de comercialização mais utilizada, já que o estéreo, é o peso de um volume de 1m x 1m x 1m de toras de madeira, com seus espaços vazios e não um volume maciço, 100% ocupado com madeira. Um estéreo tem o peso em torno de 400 kg, já o peso específico da madeira é consideravelmente maior, normalmente acima de 700 kg/m<sup>3</sup>” (WEBER, 2005, pg. 303).

$$\begin{aligned}
 PI &= \frac{H}{PCL} \\
 PI &= \frac{451940,142}{2900} \\
 PI &= 155,841 \text{Kg} / h
 \end{aligned}
 \tag{0.4}$$

Legenda:

PI: Peso da lenha em (kg)

H: Calor por hora em (kcal/h)

PCL: Capacidade calorífica da lenha em (2.900 kcal/kg)

$$\begin{aligned}
 VI &= \frac{PI}{Es} \\
 VI &= \frac{155,841}{400} \\
 VI &= 0,389 \text{m}^3 / h
 \end{aligned}
 \tag{0.5}$$

Legenda:

VI: Volume de lenha em (m<sup>3</sup>)

PI: Peso da lenha em (kg)

Es: Peso de um m<sup>3</sup> em (kg/m<sup>3</sup>)

• Custo da Lenha:

$$\begin{aligned}
 Ccm &= (VI) \times (cc) \\
 Ccm &= (0,389) \times (34) \\
 Ccm &= 13,24 \text{R\$} / h
 \end{aligned}
 \tag{0.6}$$

- Gás Natural:

$$P_{gn} = \frac{H}{C_{gn}}$$

$$P_{gn} = \frac{451940,142}{11000} \quad (0.7)$$

$$P_{gn} = 41,085 \text{ kg / h}$$

Legenda:

Pgn: Peso do gás natural (kg/h)

Cgn: Poder calorífico inferior “gás natural” (11.000 kcal/kg)

H: Calor por hora (kcal/h)

- Em BTU/h:

$$BTU_h = \frac{H}{1BTU}$$

$$BTU_h = \frac{451940,142}{0,250} \quad (0.8)$$

$$BTU_h = 1807760,568 \text{ BTU / h}$$

### 3.6.5 Custo do Gás Natural por Hora

$$\frac{C_{gn}}{h} = \frac{(BTU / h)}{1000000 \text{ BTU}} \times 17,12$$

$$\frac{C_{gn}}{h} = \frac{(1807760,568)}{1000000} \times 17,12 \quad (0.9)$$

$$\frac{C_{gn}}{h} = 30,94 \text{ R\$ / h}$$

### 3.6.6 Cálculo da Vazão de Ar para Secagem e Resfriamento

$$Q = \frac{((H)x(60))x(\gamma)}{(17x(t_2 - t_1))}$$

$$Q = \frac{((451940,142)x(60))x1,30}{(17)x(110 - 20)} \quad (0.10)$$

$$Q = 23040,085m^3 / h$$

Legenda:

t1: Temperatura ambiente (20 °C)

t2: Temperatura do ar de secagem (110 °C)

$\gamma$ : Rendimento (1,30)

### 3.6.7 Vazão de Ar com Aproveitamento de Calor

$$Qr = Qx0,7$$

$$Qr = 16128,060m^3 / h \quad (0.11)$$

### 3.6.8 Cálculo da Potência do Motor do Ventilador

$$N = \frac{(Pr t)xQ'}{75x\gamma}$$

$$Q' = \frac{Q}{3600}$$

$$Q' = \frac{23040,085}{3600} \quad (0.12)$$

$$Q' = 6,4m^3 / s$$

$$N = \frac{(60)x(6,4)}{(75)x(0,7)}$$

$$N = 7,31cv$$

$$N = (2x5cv)$$

Legenda:

N: Potência

$\gamma$ : Rendimento (0,7)

Q': Vazão (m<sup>3</sup>/s)

### 3.6.9 Cálculo da Potência do Motor com Reaproveitamento de Calor

$$N' = \frac{((Pt) \times (Q') \times (2/3))}{(75) \times (\gamma)}$$

$$N' = \frac{((60x) \times (6,4) \times (2/3))}{(75) \times (\gamma)}$$

$$N' = 4,87cv \quad (0.13)$$

$$N' = (1x5cv)$$

Legenda:

N': Potência do motor com reaproveitamento de calor

Q': Vazão (m<sup>3</sup>/s)

Pt: Pressão total na coluna d'água

### 3.6.10 Cálculo do Custo de Energia de uma Hora de Funcionamento em Função dos Motores e Ventiladores

$$Cr = N \times C \times t$$

$$Nw = (10) \times (0,736)$$

$$Ch = N \times R\$ \times t \quad (0.14)$$

$$Ch = (7,36) \times (0,527) \times 1$$

$$Ch = 3,87R\$ / h$$

Legenda:

Cr: Custo (R\$)

N: Potência (kw)

t: Tempo (horas)

Ch: Custo de uma hora de funcionamento (R\$/h)

N: Potência (kw)

R\$: Valor unitário da energia elétrica (R\$ 0,527)

### 3.6.11 Cálculos do Custo da energia em uma Hora de Funcionamento dos Motores e Ventiladores com Reaproveitamento de Calor

$$\begin{aligned}
 Ccr &= (Ch)x(2/3) \\
 Ccr &= (3,87)x(2/3) \\
 Ccr &= 2,58R\$/h
 \end{aligned}
 \tag{0.15}$$

Legenda:

Ccr: Custo por hora da energia no sistema com reaproveitamento de calor

### 3.6.12 Cálculo do Volume da Câmara de Combustão

Esta é a parte mais delicada da fornalha, pois se relaciona à superfície das grelhas para que a queima do volume de lenha por hora, aconteça em boas condições. Além disso, o correto dimensionamento do volume da câmara de combustão, para que os gases possam ser queimados de modo a buscar um melhor rendimento com o máximo aproveitamento do combustível. As grelhas menores e câmara de combustão abaixo do recomendado, não queimam totalmente os gases combustíveis que saem pelo ventilador na forma de fumaça. (WEBER, 2005, p. 307).

$$\begin{aligned}
 C \text{ arg } K &= \frac{BxPci}{V} \\
 C \text{ arg } K &= \frac{(155,841)x(2900)}{180000} \\
 C \text{ arg } K &= 2,51m^3
 \end{aligned}
 \tag{0.16}$$

Legenda:

B: kg/h de lenha (155,841)

Pci: Poder calorífico inferior (2.900)

V: Volume da câmara de combustão (m<sup>3</sup>)

### 3.6.13 Cálculo da Área da Grelha

$$Sg = \frac{B}{K}$$

$$Sg = \frac{155,841}{150} \quad (0.17)$$

$$Sg = 1,038m^2$$

Legenda:

Sg: Área de grelha (m<sup>2</sup>)

B: kg/h de lenha (155,841)

K: Carga mecânica (150 kg/m<sup>2</sup>xh)

### 3.6.14 Dimensões da Câmara de Combustão

$$Hc = \frac{V}{Sg}$$

$$Hc = \frac{2,51}{1,038} \quad (0.18)$$

$$Hc = 2,42m$$

Legenda:

Hc: Altura da câmara de combustão (m)

V: Volume da câmara de combustão (m<sup>3</sup>)

Sg: Área de grelha (m<sup>2</sup>)

## 4 COMPARATIVOS E RESULTADOS

Tabela 5 – Comparação dos dados fornecidos e calculados.

Parâmetros	Secador SCOT - 150		Secador Projetado
	Dados Do Fornecedor	Dados Do Projeto	Diferença Percentual (%)
Capacidade de Secagem (Ton/h)	150	15	90
Energia (Kcal/h)	7.220.000	729.236,25	89,9
Vazão de ar (m <sup>3</sup> /h)	380.000	24.192,09	93,4
Combustível (lenha) (Kg/h)	2579	233,76	90,4

Fonte: Autores.

Os valores ficaram aproximadamente na escala 1:10 exceto a vazão de ar necessária devido ao fato de não termos utilizado em nossos cálculos o sistema convencional de cálculos e assim, consideramos que no sistema haveria reaproveitamento de calor, pois como se pode perceber houve uma significativa diminuição na vazão necessária para o funcionamento do equipamento e isso garante uma grande economia.

### 4.1 Orçamento e Comparativo

Tabela 6 – Orçamento e comparativo.

Componente	Modelo	Fabricante	Unidades	Valor unitário R\$	Valor total R\$
Elevador hidráulico	Elevador hidráulico Pantográfico 3500 kg 2.2kW	Máquinas Ribeiro	1	13299	13299
Câmaras de separação	Containers metálicos revestido de 1,038 m <sup>2</sup>	MF RURAL	19	230	4540
Fornalha	Fornalha revestida com tijolo refratário 2,51 m <sup>3</sup>	MF RURAL	1	10000	10000
Câmara de secagem	Containers metálicos revestido de 1,038 m <sup>2</sup>	MF RURAL	5	230	1200
Exaustor	Exaustor industrial axial Ø 100 cm	Ventisilva	1	5500	5500
Tubulação	Duto Flexível de	Greengardens	2	60	120

(Dutos)	alumínio 150mm - 3 metros				
Chaminé	CHAPÉU T ALUMÍNIO D60 X 150 MM	WESTAFLEX	1	20	20
Ventilador Centrífugo	Exaustor axial centrífugo cq4t4rd	Qualitas	6	5.700,00	34200
Trocador de Calor	Trocador De Calor 113 Placas Cd200-113m	Alfa Laval	4	2000	8000
Estrutura metálica (Telhado)	Cobertura Policarbonato Estrura Em Alumínio 81 m <sup>2</sup>	AGM	1	300	24.300
Moega	Moega Para Triturador Dpm-4	Nogueira	4	200	800
					<b>101.979</b>

Equipamento	Funcionários	Custo por funcionários (salário + encargos)	Gasto Mensal	Economia mensal
Secador de café industrial	3	2000	6.000	<b>34.000</b>
Terreiros de secagem	20	2000	40000	

Equipamento	Tempo médio de processo	Efetividade (%)	Ganho mensal
Secador de café industrial	1 dia	7,14	<b>16536,24</b>
Terreiros de secagem	14 dias	-7,14	

Economia total mensal
<b>50.536,00</b>

As tabelas foram montadas analisando alguns dados pesquisador com agricultores da nossa região.

Pesquisamos que um operador gera um custo mensal de aproximadamente R\$2000,00 contando salário mais encargos tributários.

Analisamos que o equipamento possui capacidade produtiva de 9988 sacas semanais e que o preço da saca de café tem valor de R\$ 6,00.

Trabalhando 44 horas semanais estima-se um valor de receita aproximadamente de R\$ 239712,00 com a venda do café.

Concluimos que com uma efetividade de 7,14% apresentada pelo equipamento, estima-se um ganho de R\$ 16.536,24 por mês e que com uma economia de custos com funcionários de R\$ 34000 por mês, totaliza-se um ganho de R\$50536,00 com o equipamento operando em sua capacidade máxima.

## 4.2 Planta Layout

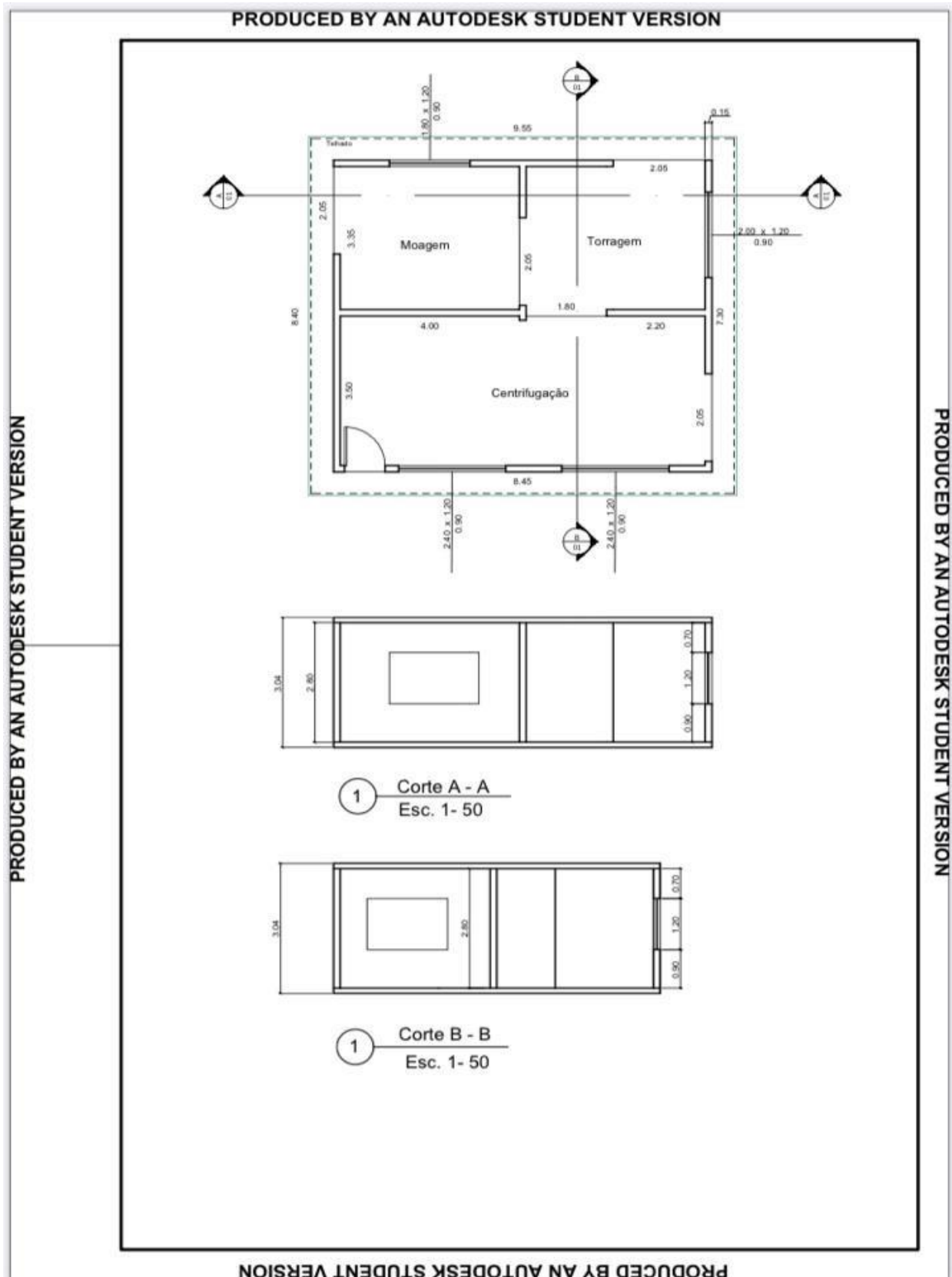


Figura 69: Planta Layout do Projeto  
Fonte: Autores.

## Modelos

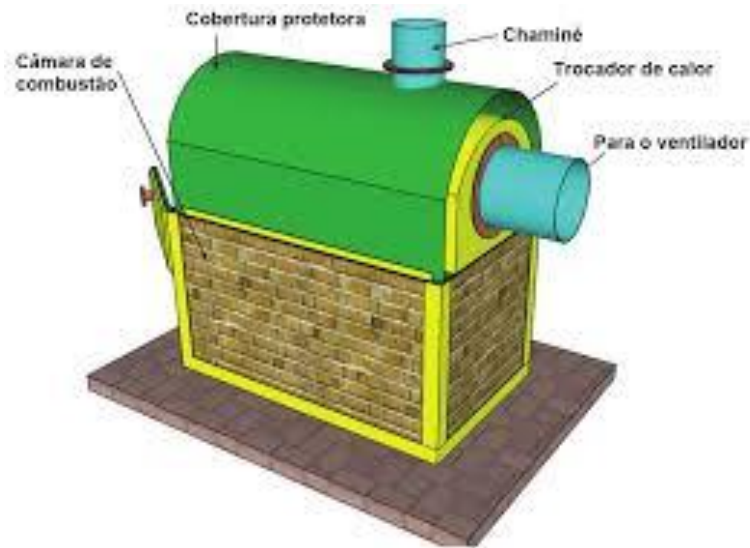


Figura 70: Modelo de secador de café.  
Fonte: EMBRAPA CAFÉ.

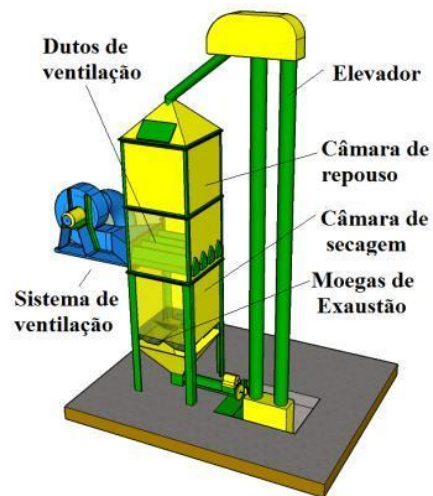


Figura 71: Secador e moedor com elevação.  
Fonte: DocPAYER.

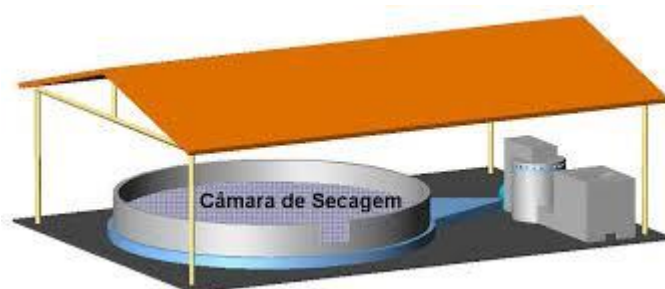


Figura 72: Ventilador centrífugo e câmara de secagem.  
Fonte: Universidade Federal de Viçosa.

## **5 CONCLUSÃO**

Portanto, a análise do projeto do secador de café atende ao propósito a que foi criado, pois os dados estão coerentes com a escala apresentada e assim é possível que o médio produtor agrícola possa automatizar o seu processo de secagem sem grande perda na qualidade, levando se em conta a capacidade do operador do equipamento e o seguimento das recomendações da compra dos equipamentos feita no orçamento comparativo de mercado.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARSA, **Grande Enciclopédia - Agricultura: Origens e Desenvolvimento**. São Paulo: BARSA Planeta Internacional, 2004, 3ª ed.

HALL, C. W. MATTOS, A. D. **Drying cereal grains**. Westport, The AVI Publishing Company, 1974, 5ª ed.

LEREW, L. E.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; BROOKER, R. C. **Simulation of a commercial crossflow dryer – The Hart-Carter model**. St. Joseph, ASAE, 1972.

MAGALHÃES. **Desenvolvimento e análise de uma fornalha para aquecimento direto e indireto de ar utilizando biomassa polidispersa**. Tese. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. Porto Alegre: Bookman, 2013, 4ª ed.

SILVA, J. S.; LARCEDA FILHO, A. F. **Construção de secador para produtos agrícolas**. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 1984.

WEBER, E. A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Pinambi: 2005, São Paulo, 1ª ed.

BRASIL AGRO. A sustentabilidade da agricultura brasileira. (Disponível em <URL: <http://www.brasilagro.com.br/index.php?noticias/detalhes/14/34714>> Acesso em 15 mai. 2019.

PARK, K. J. Conceitos de Processo e Equipamentos de Secagem. 2007. Disponível em <URL: [http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/concproceqsec\\_07.pdf](http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/concproceqsec_07.pdf)> Acesso em 25 abr. 2019.

GLOBO RURAL. Secagem de café. Redação Globo Rural, 2013. Disponível em <URL: <https://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/gr-respondede/noticia/2013/12/secagem-de-cafe.html>> Acesso em 5 abr. 2019.

Conab estima safra de grãos 2019/2020 em 245,8 milhões de toneladas. Raphael Salomão, 2019. Disponível em <URL: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2019/10/conab->

[estima-safra-de-graos-20192020-em-2458-milhoes-de-toneladas.html](#)> Acesso em 5 abr. 2019.