



## **SECADOR SOLAR INDIRETO**

Natália Simão Haro Firmo

Bragança

2020

## **SECADOR SOLAR INDIRETO**

Natália Simão Haro Firmo

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Bragança  
e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como  
requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Industrial – Ramo Engenharia Mecânica, no âmbito do Programa de  
Dupla Diplomação entre o Instituto Politécnico de  
Bragança e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Luís Frölen Ribeiro

Coorientador: Rodrigo Corrêa da Silva

Coorientador: Valdemar Garcia

17 de julho de 2020

## RESUMO

O objetivo desse trabalho é mecanizar o processo de secagem solar através de um protótipo totalmente sustentável e ecológico. O projeto desse protótipo foi feito, a partir de diversos mecanismos como conhecimentos de termodinâmica, ferramentas do *design thinking* e referências em estudos já realizados. O público alvo desse protótipo são os pequenos agricultores que não possuem capital para investimento em novas tecnologias de secagem, porém necessitam de máquinas simples e baratas para competir no mercado atual dos frutos secos. O estudo foi feito para a secagem de figos a pedido de um produtor de figos e essa empresa realiza a secagem rudimentar desses frutos. No decorrer do trabalho é apresentada toda a teoria utilizada para a elaboração do projeto, como ferramentas de design, como benchmarking, matriz morfológica e casa da qualidade, assim como cálculos de calor fornecido pelo coletor solar e energia requerida para a secagem do alimento. A modelação 3D foi realizada, assim como o orçamento e lista de peças, sequência de montagem e um exemplo de aplicação do secador no campo através de fotos e montagem. O protótipo possui um coletor solar de área útil de captação de radiação de  $2 \text{ m}^2$  e a câmara de secagem possui 2,8 metros de altura e  $1 \text{ m}^2$  de área transversal. Conclui-se, no final do trabalho, que o coletor dimensionado é capaz de fornecer uma energia útil de aproximadamente 128 MJ, e a energia requerida para a secagem dos frutos é de 48 MJ, ficando disponível, assim, mais de 80 MJ de energia que pode ser armazenada pelas garrafas de água por inércia térmica. Todo esse processo dura aproximadamente 16 horas de radiação solar, o que foi estimado para 2 dias completos de secagem. Um modelo de negócio foi estudado e criado para simulação de venda do protótipo em larga escala, visando o mercado dos pequenos agricultores. Esse modelo foi utilizado para a participação de um concurso cultural no ramo agrícola. Por fim, em trabalhos futuros, é apresentada a proposta da construção do protótipo projetado, assim como a realização de testes e consequentes melhorias.

**Palavras-chave:** secador solar indireto, energia solar, secagem de alimentos, figos secos.

## ABSTRACT

This thesis focused on mechanizing the solar drying process through a totally sustainable and ecological prototype. The design of this machine was made using several mechanisms of study, such as thermodynamics, design thinking tools and references in previous studies. The target audience of this prototype are small farmers who do not have high budget to invest in new drying technologies, but need simple and cheap equipment to compete in the current market of dried food. This study was made to dry figs as a request from a fig producer, this company performs a rudimentary method of drying figs. In the course of this work, it is presented all the theory involved for the elaboration of this project, such as design tools, benchmarking, morphological matrix and house of quality. As well as calculations of heat provided by the solar collector and energy required for drying. The 3D modeling was performed, also the budget and list of materials, assembly sequence and an example of application in the field was shown through photos and image editing. The prototype has a solar collector of a useful radiation area of 2 m<sup>2</sup> and the drying chamber is 2,8 meters tall and 1 m<sup>2</sup> in cross-sectional area. It is concluded, at the end of this work, that the dimensioned collector is capable of providing a useful energy of approximately 128 MJ, and the energy required for drying the fruits is 48 MJ, so, making more than 80 MJ of energy available for storage in the water bottles by thermal inertia. This entire process lasts 16 hours of solar radiation, which was estimated for 2 full days of drying. A business canvas model was created to simulate the sale of the machine on a large scale, targeting the small farmers market. This model was used to participate in a cultural contest in the agricultural sector of research. Finally, for future works it is proposed the construction of the prototype, as well as tests performance and improvement of the machine.

**Key words:** indirect solar dryer, solar energy, food drying, dried figs.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Estado da arte.....	3
2.2 Secadores solares.....	6
2.3 Coletores solares .....	9
2.4 Secagem de alimentos .....	10
2.5 Modos de transferência de calor.....	12
2.5.1 Convecção.....	12
2.5.2 Radiação .....	12
2.6 Transferência de massa .....	13
2.7 Termossifão .....	13
2.8 Inércia térmica .....	13
2.9 Isolamento térmico .....	14
2.10 Psicrometria .....	15
2.10.1 Remoção da água dos figos .....	15
2.10.2 Humidade relativa final ou de equilíbrio .....	15
2.10.3 Quantidade necessária de energia para evaporação da água.....	15
2.10.4 Caudal mássico de secagem.....	16
2.10.5 Desempenho do coletor solar.....	16
2.10.6 Estimativa da energia armazenada nas garrafas de água .....	18
2.11 Figs e sua secagem.....	19
2.12 Ferramentas do design thinking.....	21
2.12.1 Necessidades e especificações do projeto.....	21
2.12.2 Geração de conceito e fundamentação no design .....	22
2.12.3 Benchmarking .....	23
2.12.4 Matriz morfológica .....	24
2.12.5 Casa da qualidade .....	24
2.13 Modelo Business Canvas .....	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	28
3.1 <i>Design thinking</i> .....	28
3.1.2 Geração de conceito e fundamentação no design .....	28
3.2 Benchmarking .....	29
3.2.1 Modelos encontrados no mercado .....	29
3.3 Matriz morfológica .....	33

3.4	<b>Desenhos e conceitos</b>	34
3.5	<b>Custos</b>	37
3.6	<b>Casa da qualidade</b>	40
3.7	<b>Escolha do protótipo final</b>	42
3.8	<b>Cálculos e validação do protótipo</b>	42
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	47
4.1	<b>Princípio de funcionamento do protótipo</b>	47
4.2	<b>Projeto mecânico final</b>	48
4.3	<b>Lista de peças</b>	60
4.4	<b>Orçamento final</b>	62
4.5	<b>Sequência de montagem</b>	63
4.5.1	Câmara de secagem	63
4.5.2	Coletor solar	69
4.6	<b>Aplicação</b>	76
4.7	<b>Modelo Business Canvas</b>	77
5.	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	79
5.1	<b>Conclusões</b>	79
5.2.	<b>Trabalhos futuros</b>	80
	<b>REFERÊNCIAS</b>	81
	<b>REFERÊNCIAS WEB</b>	83

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Características de modelos de secador solar .....	5
<b>Figura 2</b> - Secador solar direto, secador solar indireto e secador solar misto.....	8
<b>Figura 3</b> - Principais componentes de um coletor solar .....	10
<b>Figura 4</b> - Etapas do processo de criação do protótipo .....	22
<b>Figura 5</b> - Características para construção de um secador solar .....	24
<b>Figura 6</b> - Modelo de casa da qualidade .....	25
<b>Figura 7</b> - Secador solar Chatron .....	30
<b>Figura 8</b> - Secador Black Block Base .....	30
<b>Figura 9</b> - Secador Klarstein Master Jerky 16.....	31
<b>Figura 10</b> - Desidratador Polidryer PD-40.....	31
<b>Figura 11</b> - Matriz morfológica para um secador solar.....	33
<b>Figura 12</b> - Desenho protótipo 1 .....	34
<b>Figura 13</b> - Modelo 2 .....	36
<b>Figura 14</b> - Modelo 3 .....	37
<b>Figura 15</b> -Casa da qualidade.....	41
<b>Figura 16</b> - Evolução dos estados do ar .....	45
<b>Figura 17</b> - Princípio de funcionamento do secador .....	48
<b>Figura 18</b> - Dimensões da câmara de secagem .....	49
<b>Figura 19</b> - Componentes da câmara de secagem .....	50
<b>Figura 20</b> - Vista detalhada de dentro da câmara.....	51
<b>Figura 21</b> - Dimensões do coletor solar .....	52
<b>Figura 22</b> - Componentes do coletor solar .....	53
<b>Figura 23</b> - Vista transversal da entrada de ar.....	53
<b>Figura 24</b> - Vista do corte lateral do coletor .....	54
<b>Figura 25</b> - Vista do coletor com as garrafas de água.....	55
<b>Figura 26</b> - Dimensões da bandeja.....	55
<b>Figura 27</b> - Componentes da bandeja.....	56
<b>Figura 28</b> - Protótipo final com as bandejas .....	57
<b>Figura 29</b> - Vista lateral com corte - esquerda porta aberta, direita- porta fechada.....	57
<b>Figura 30</b> - Esquerda - colocação das bandejas; Direita- encaixe certo das bandejas nas prateleiras.....	58
<b>Figura 31</b> - Demonstração da modularidade do protótipo .....	59
<b>Figura 32</b> - Vista de trás com as portas abertas.....	59
<b>Figura 33</b> - Esquerda - numeração das cantoneiras; Direita - denominação das juntas.....	63
<b>Figura 34</b> - Representação das juntas superior e inferior.....	64
<b>Figura 35</b> - Estrutura final soldada.....	65
<b>Figura 36</b> – Esquerda -estrutura com chaminé; Direita- detalhe da chaminé .....	65
<b>Figura 37</b> - Estrutura rebitada com as chapas .....	66
<b>Figura 38</b> - Estrutura com prateleiras.....	67

<b>Figura 39</b> - Esquerda- estrutura com roofmate; Direita- Detalhe de cortes no roofmate .....	67
<b>Figura 40</b> - Estrutura com teto e chaminé finalizados .....	68
<b>Figura 41</b> - Estrutura com túnel de vento e porta.....	69
<b>Figura 42</b> - Estrutura com prateleiras.....	70
<b>Figura 43</b> - Esquerda- Estrutura com apoios; Direita- Detalhe estrutura com apoios .	70
<b>Figura 44</b> - Esquerda- estrutura com laterais; Direita- detalhe espaçamento para encaixe lateral.....	71
<b>Figura 45</b> - Estrutura com chapas onduladas .....	71
<b>Figura 46</b> - Esquerda- estrutura com apoio de acrílico; Direita- detalhe dos fixadores dos apoios .....	72
<b>Figura 47</b> - Estrutura com acrílico .....	72
<b>Figura 48</b> - Estrutura com roofmate .....	73
<b>Figura 49</b> - Estrutura com os pés de apoio .....	73
<b>Figura 50</b> - Detalhe solda de apoio superior e inferior .....	74
<b>Figura 51</b> - Detalhe do corte do varão superior e inferior.....	74
<b>Figura 52</b> - Montagem entrada de ar .....	75
<b>Figura 53</b> - Modelo final do secador .....	75
<b>Figura 54</b> – Aplicação do secador no campo .....	76
<b>Figura 55</b> - Exemplo de manuseio: abertura de porta e colocação das bandejas .....	76

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Etapas do processo de criação do protótipo .....	4
<b>Tabela 2</b> - Características para construção de um secador solar .....	6
<b>Tabela 3</b> - Vantagens e desvantagens dos modelos de secador solar.....	7
<b>Tabela 4</b> - Etapas do processo de secagem de figos.....	20
<b>Tabela 5</b> - Principais pilares e características do Business Canvas.....	27
<b>Tabela 6</b> - Design especulativo .....	28
<b>Tabela 7</b> - Benchmarking dos secadores .....	32
<b>Tabela 8</b> - Vantagens e desvantagens do modelo 1 .....	34
<b>Tabela 9</b> - Vantagens e desvantagens do modelo 2.....	36
<b>Tabela 10</b> - Vantagens e desvantagens do modelo 3.....	37
<b>Tabela 11</b> - Orçamento do protótipo 1 .....	38
<b>Tabela 12</b> - Orçamento protótipo 2 .....	38
<b>Tabela 13</b> - Comparativo de substituição de materiais nos protótipos 2 e 3.....	39
<b>Tabela 14</b> - Orçamento protótipo 3 .....	40
<b>Tabela 15</b> - Resultado dos cálculos .....	43
<b>Tabela 16</b> - Lista de componentes da câmara .....	49
<b>Tabela 17</b> - Lista de componentes do coletor solar .....	52
<b>Tabela 18</b> - Lista de componentes da bandeja.....	56
<b>Tabela 19</b> - Lista de peças da câmara de secagem .....	60
<b>Tabela 20</b> - Lista de peças coletor solar .....	61
<b>Tabela 21</b> - Orçamento final do protótipo .....	62
<b>Tabela 22</b> - Sequência de soldadura .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta o projeto de um secador solar indireto concebido para a secagem natural de figos. O processo de secagem resume-se em extrair a humidade do alimento. A secagem dos figos será realizada por meio de convecção do ar, por isso a velocidade do escoamento, humidade do ar e temperatura do ar são parâmetros importantes para a realização da secagem.

O trabalho é concentrado no projeto e construção do protótipo, projetado através de estudos de artigos e validado através de cálculos de termodinâmica. Ferramentas de *Design Thinking* também foram aplicadas no processo de desenvolvimento do projeto.

O objetivo do projeto é mecanizar a secagem sustentável de frutos através de sistemas solares renováveis naturais com a construção de um protótipo de secagem solar. Foi desenvolvida uma máquina, de baixo custo, para apoio dos agricultores sem aumentar os custos financeiros operacionais.

A motivação para o desenvolvimento deste protótipo é ajudar pequenos agricultores, os quais não possuem muito dinheiro para ser investido em suas colheitas. Este protótipo, ao não utilizar energia elétrica, pode ser um grande agregador de valor à produção de frutos, visto que a secagem de alimentos promove vários benefícios, tais como: facilita o transporte, visto que o alimento diminui de tamanho devido à alta perda de água; aumenta o preço de venda do alimento, pois os frutos secos são vendidos à um valor muito mais elevado no mercado; diminui riscos de dano do alimento, tendo em conta seu manuseio e transporte.

Os pequenos agricultores poderão valorizar produtos os frescos que não foram ou não serão, por questões de mercado, imediatamente comercializados. A secagem da sobra dos produtos permite diminuir desperdícios, encontrar melhores oportunidades de negócio e aumentar o valor agregado do produto.

Há poucas máquinas de secagem solar dedicadas à secagem de grandes quantidades de figos e algumas empresas ainda utilizam o processo de secagem natural ao sol.

Então, podemos referenciar algumas vantagens e aspectos diferenciadores do projeto:

- 1- Totalmente autônomo;
- 2- Consumo nulo de eletricidade/custos de operação residuais;
- 3- Baixo custo financeiro (máquina barata) e acessível a todos os agricultores e detentores de pomares;
- 4- Diminuição dos riscos às intempéries;
- 5- Diminuição da mão de obra dedicada à secagem relativamente aos métodos tradicionais;

6- Totalmente renovável e sustentável.

No entanto, projeto possui algumas restrições, as quais são referidas a seguir:

- O projeto deve ser de fácil e rápida construção, sendo de menor custo possível, para torná-lo acessível aos pequenos agricultores;
- Deve secar 25 quilos de figos;
- Não utilizar energia elétrica no processo.

Todos os requisitos e restrições foram aplicados ao projeto final. A construção do protótipo não foi concluída devido à pandemia Covid-19, na qual o uso dos laboratórios foi interdito.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Estado da arte**

Um dos métodos com a melhor preservação de alimentos que tem vindo a ser utilizado até hoje é a secagem. A secagem funciona a partir da diferença de concentração de humidade do ar e o alimento a ser secado, o calor expande o ar, diminuindo a humidade relativa. Serve como preservador dos alimentos, inibindo a atividade da água em alimentos frescos [1].

A definição de secagem pressupõe a remoção de água (desidratação) de um alimento sólido, na forma de vapor, por meio de um mecanismo de vaporização térmica, numa temperatura inferior à de ebulição da água [2].

O processo de secagem utiliza ar quente para a transferência de calor para o alimento e a consequente vaporização da água contida nesse, ocorrendo a desidratação. A secagem pode ocorrer à pressão atmosférica ou à pressões menores, em equipamentos como secadores a vácuo. A capacidade do ar para eliminar a água de um alimento depende, principalmente, de sua temperatura e de sua humidade relativa [2].

A secagem natural tem várias desvantagens, já que o produto está a ser exposto a fatores climáticos como o vento, a chuva, pó, assim como a possibilidade de ataque de animais e insetos, e a contaminação de micro-organismos, entre outros. Para superar esses problemas, encurtar o tempo de secagem e diminuir ao mínimo suas perdas, podem ser empregues em equipamentos, processos e técnicas para realizarem a secagem, incluindo aqui secadores que aproveitam a ação do vento e da energia solar [3].

Visto que mais de 80% dos alimentos produzidos nos países em desenvolvimento são por pequenos agricultores, um processo simplificado, porém eficaz, precisa de ser desenvolvido para tornar cada vez mais acessíveis e de baixo custo os métodos agrícolas. Ainda será necessário referir que os métodos de preservação de alimentos precisam cumprir as obrigações do mercado, assim como cumprir a satisfação do cliente através de alimentação nutritiva e apelativa, livre de conservantes e sustentáveis. Secadores solares são potencialmente capazes de cumprir os desafios apresentados pela secagem de alimentos e pode ser uma alternativa a métodos menos eficazes de secagem já existentes, sejam eles solares ou que utilizam combustível, podem assim ser mais baratos e efetivos. Em comparação com a secagem solar direta, os secadores solares utilizam equipamentos adicionais e sistemas que protegem os alimentos da energia proveniente dos raios solares. Sistemas de secagem solar possuem várias vantagens em termos de qualidade do produto seco, e também possuem performances otimizadas. É considerada uma alternativa à secagem solar direta rudimentar, enquanto

mantém, custo-benefício do equipamento dependendo do tipo de secador e orçamento do agricultor. No geral, secadores solares utilizados em produtos agrícolas utilizam ar aquecido a 50-60 °C sob temperaturas e remoção de humidade controladas, resultando em ótimos resultados de secagem [1].

Existem vários tipos de secadores solares, e estes são empregados para diversos tipos de alimentos e até para a secagem de insetos, ervas e plantas, e a aplicação varia da indústria alimentar à indústria farmacêutica. Os tipos mais importantes de secadores solares estão indicados na tabela 1 [4]:

Tabela 1- Etapas do processo de criação do protótipo

Fonte: *Solar Drying Technology for Food Preservation* [4]

<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>
Secagem ao ar livre	A comida é exposta ao sol e vento através de bandejas, em prateleiras ou no chão. A comida é raramente protegida de predadores e do ambiente.
Direto	A comida é colocada em um recipiente com entrada de radiação permitindo que os raios entrem em contato direto com o alimento. Existem furos feitos para que haja circulação de ar.
Indireto	Ar é aquecido em um coletor solar e depois entra em contato com a comida dentro de uma câmara. Desse modo a comida não é exposta diretamente à radiação solar.
Misto	Combina os modos direto e indireto: um coletor solar separado pré-aquece o ar enquanto o alimento, simultaneamente, recebe radiação solar direta.
Híbrido	Combina a energia solar com outra fonte de energia como o combustível fóssil ou biomassa.
Alimentação com combustível	Utiliza eletricidade ou combustível fóssil como fonte de calor ou ventilação.

Os três tipos mais utilizados de secadores solares e de baixo custo de grande eficiência, e que serão mais explicados e exemplificados por terem servido de base para o desenvolvimento do protótipo, são: secador solar direto, secador solar indireto e secador solar do tipo misto.

Um fluxograma apresentado por [1] mostra algumas das principais características de cada tipo desses secadores solares:

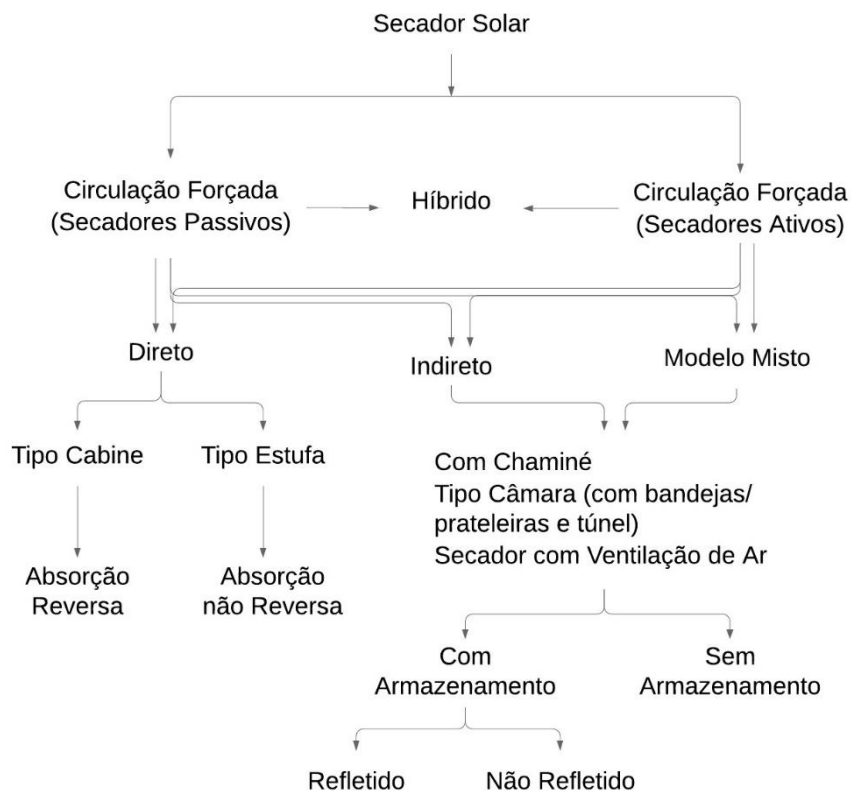


Figura 1 - Características de modelos de secador solar

Fonte: *Review of drying technology of fig* [1]

Os componentes essenciais presentes num secador solar são: uma câmara de secagem onde a comida é desidratada, um coletor solar que aquece o ar, e algum tipo de sistema de fluxo de ar e também pode possuir um sistema de armazenamento de energia [4].

Durante o processo de secagem, dois fenômenos ocorrem simultaneamente: transferência de calor pela fonte quente ao produto, e a transferência de massa da humidade interna do alimento para a sua superfície, e depois da superfície para o ambiente [1].

Os secadores solares utilizam pelo menos um, de dois sistemas de fluxo de ar: convecção natural, a qual utiliza o princípio natural de que o ar quente ascende, ou a convecção forçada em que o ar é forçado pela câmara de secagem através de ventiladores [4]. Os efeitos da convecção natural podem ser ampliados com a presença de uma chaminé, onde o ar de saída da câmara é forçado a partir de um fluxo de ar criado por sifão térmico devido à diferença de pressão e temperatura entre a entrada e saída da câmara.

Uma tabela foi apresentada por [5] para ajudar na consideração das características mais importantes na construção de um secador solar.

Tabela 2 - Características para construção de um secador solar

Fonte: *Solar fruit drying technologies for smallholder farmers in Uganda, a review of design constraints and solution* [5]

<b>Considerações para o projeto</b>	<b>Indicadores chave</b>
Localmente apropriado	Acessível Capacidade local de construção, reparação e manutenção Fácil operação Utiliza espaço otimizado
Deve possuir um design avançado e totalmente desenvolvido	Otimizado Com especificações Custos Viabilidade financeira detalhada e análise do payback do projeto
Materiais	Requere mão de obra menos especializada possível A troca de materiais pode ser possível Sustentável
Proveniência	Precisa ter passado por vários testes robustos e que comprovem a funcionalidade do presente e futura do produto Deve melhorar a viabilidade da indústria dos pequenos agricultores
Orientações	Deve ter orientações claras e práticas para utilização dos utilizadores

Todas essas especificações serão levadas em consideração para o projeto apresentado nessa tese, assim como outras ferramentas e fontes de informação.

## 2.2 Secadores solares

Existem múltiplos tipos de dispositivos que utilizam energia solar. Os três principais tipos de secadores solares que foram cogitados para a construção do protótipo, por utilizarem apenas a energia solar e serem mecanizados, são: secadores solares diretos dependem da exposição solar direta nos produtos para a geração de calor e evaporação da humidade. Secadores solares indiretos usam a radiação para aquecer o ar que então é usado para secar os produtos. Secador solar do tipo misto combina a exposição direta e o ar quente para a secagem dos produtos. A otimização do design e da

performance dos secadores solares pode ser dificultado devido à variabilidade de condições ambientais e operações de longa duração [6].

Esses secadores solares utilizam um ou dois tipos de sistemas de fluxo de ar: convecção natural, o qual funciona pelo princípio natural de que o ar quente sobe por ser mais leve e também por diferenças de temperatura e pressão interna e externa; e convecção forçada, no qual o ar é forçado pela câmara de secagem com dispositivos, com exaustores, por exemplo. Os efeitos da convecção natural podem ser potenciados com a adição de uma chaminé que potência a impulsão e aceleração do ar pela câmara. Além disso, lugares com predominância de ventos fortes podem ser usados como vantagem [4].

Na tabela 3 é feita uma comparação com as vantagens e desvantagens dos secadores solares comentados ao longo do trabalho [4].

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens dos modelos de secador solar

Fonte: *Solar Drying Technology for Food Preservation* [4]

<b>Classificação</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Secagem ao ar livre	+ mais barato + simples	- radiação UV, poeira, contaminação de animais podem prejudicar o alimento
Indireto	+ alimento protegido dos raios UV + menos dano causado por temperaturas extremas	- mais complexo e caro do que a secagem ao ar livre
Direto	+ menos dano causado por temperaturas extremas	- radiação UV pode prejudicar o alimento - mais complexo e caro do que a secagem ao ar livre
Misto	+ habilidade de operar sem sol, reduz as hipóteses de perda de comida + permite melhor controle da secagem + a utilização de combustível pode acelerar em até 40 vezes o processo se comparado à secagem solar	- caro - pode causar a dependência do combustível no processo

Secadores solares devem possuir três componentes: uma câmara de secagem na qual o alimento é secado, um coletor solar que aquece o ar e algum tipo de sistema de fluxo de ar. A figura 2 mostra

três tipos diferentes de secador solar com os três componentes. A câmara de secagem protege a comida dos animais, insetos, poeira e chuva. É sempre isolado para aumentar sua eficiência. As bandejas devem ser feitas de materiais para uso alimentar, num plástico cobrindo-os para evitar resíduos prejudiciais à comida. O coletor solar é geralmente uma caixa pintada de preto com uma cobertura transparente. Ele aumenta a temperatura do ar entre 10 a 30°C acima da temperatura ambiente. Ele pode ser separado da câmara de secagem ou combinado (como em secadores diretos) [4].

Esses três tipos de secadores solares [7] são apresentados nas figura 2:

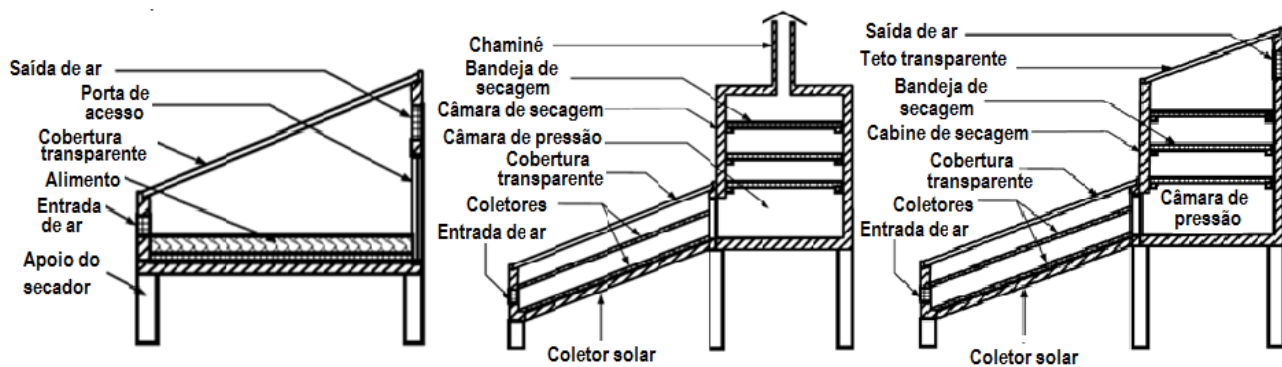


Figura 2 - Secador solar direto, secador solar indireto e secador solar misto

Fonte: *Exergetic Analysis of Solar Energy drying Systems* [7]

Uma análise energética foi feita para os três tipos de secadores solares, para encontrar a eficiência e a qualidade de energia absorvida pelos sistemas. Os resultados obtidos mostram que o secador solar do tipo misto e indireto são mais eficientes em utilizar a energia capturada do que o modo direto de secador solar. Para os modelos misto e indireto, entre 78,1% e 77%, respectivamente, da energia coletada é disponível e útil para o processo, enquanto 21,9% e 23%, respectivamente, da energia coletada é perdida. Porém o secador de modo direto apenas pôde coletar 49,3% da energia coletada, enquanto os 50,7% restantes de energia foram perdidos. Numa análise geral dos três sistemas de secagem, o secador solar misto provou melhor eficiência entre os modelos apresentados [7].

Os secadores solares indiretos são o enfoque deste trabalho, visto que foi o modelo utilizado para o desenho do protótipo final. Caracterizam-se a partir da convecção natural e distribuída, os quais utilizam um coletor solar, isolamento apropriado, uma câmara de secagem, a qual não permite que a radiação solar entre em contato direto com o alimento e uma chaminé. O ar, que é aquecido durante sua circulação dentro do coletor solar, entra na câmara para a secagem do produto. Como os alimentos não recebem radiação solar diretamente, a caramelização (formação de cristais de açúcar na superfície do alimento) e dano localizado pelo calor não acontecem. Por isso, secadores solares indiretos são geralmente utilizados para alimentos perecíveis, nos quais possuem vitaminas, que expostas a radiação

solar diretamente, podem ser danificadas e reduzidas. A coloração dos alimentos também pode ser afetada se expostos à luz solar. Em secadores solares de circulação natural as temperaturas de operação são mais elevadas comparando com os secadores solares diretos, e também são mais recomendados para secagem em camadas profundas do alimento, portanto, de melhor qualidade. Uma das desvantagens do secador solar indireto é que as condições de secagem podem ser difíceis de serem mantidas dentro da câmara, devido a temperaturas oscilantes oriundas do coletor solar, possuem estruturas mais complexas e difíceis de construir, necessitando de um maior investimento para a construção do equipamento [8].

### **2.3 Coletores solares**

Os coletores solares são caracterizados a partir de seu movimento – estacionário, rastreador solar de um eixo ou dois – e sua temperatura de operação. Os coletores estacionários são permanentemente fixados numa posição e não seguem o sol. Três tipos diferentes de coletor encaixam-se nesta categoria: coletor solar de placa plana, coletor solar estacionário parabólico e coletor solar de tubo evacuado [8].

Nos coletores solares de placa plana, modelo utilizado no projeto do protótipo deste trabalho, a radiação atravessa uma cobertura transparente e colide numa placa de cor preta de alta absorção. Uma grande quantidade dessa energia é absorvida pela placa e transferida para os tubos de transporte do ar, aquecendo-o. As superfícies lateral e inferior do coletor são bem isoladas para prevenir a perda de calor. Os tubos de passagem do ar podem ser soldados na placa absorvedora ou podem fazer parte dela. Esse coletor não possui o problema de distribuição não uniforme de temperatura. A cobertura transparente tem a função de reduzir as perdas por convecção pela placa absorvedora pelo ar estagnado entre esses dois materiais (o plástico, material escolhido para o projeto, é muito utilizado para cobrir o coletor solar, possui alta resistência e baixo peso, por isso, a estrutura pode ser mais leve e mais barata para sustentar seu peso). Essa cobertura também pode diminuir as perdas de radiação pelo coletor, pois é transparente, afim de coletar as pequenas ondas de raios solares recebidas, porém é quase opaco para bloquear os raios emitidos pela placa absorção, causando um efeito de estufa. As vantagens de coletores solares de placa plana são: baixo custo de fabricação, coletam ambas radiações de feixe e difusa, e como são fixos, não precisam de sistemas mais complexos de rastreamento do sol [8].

O coletor deve ser orientado diretamente em direção ao equador, virado para o sul no hemisfério norte e virado para o norte no hemisfério sul. O ângulo de inclinação do coletor deve ser igual à latitude local, com variações máximas de 10 a 15°, dependendo de sua aplicação [8].

Os componentes principais de um coletor de placa plana são: a cobertura, de vidro ou outro material que possui alta absorção de radiação e baixa emissividade; tubos que permitem a passagem

do ar que é aquecido pelo calor e que conduzem o ar da entrada para a saída do coletor; isolamento, utilizado para minimizar as perdas de calor e a caixa protetora que suporta toda a estrutura e protege o coletor de poeira e outros materiais nocivos para o equipamento. Também existem coletores que possuem algum tipo de armazenamento de energia para aumentar a eficiência do coletor, e diversos materiais com alta inércia térmica são utilizados para exercer essa função [8].

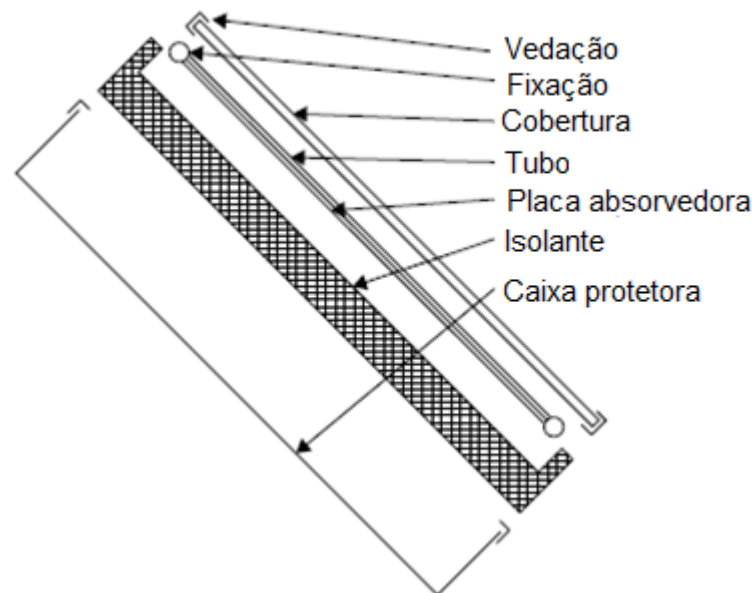


Figura 3- Principais componentes de um coletor solar

Fonte: *Solar Energy Engineering* [8]

Os coletores solares possuem diversos tipos de aplicação e uma grande variedade de modelos. Podem ser utilizados para aquecer água, água com aditivos ou ar. O maior objetivo do coletor solar é coletar a maior quantidade de energia solar possível com o menor custo total. Ele também deve ter longa duração, embora sofra pelos efeitos adversos dos raios ultravioleta, corrosão e entupimento causados pela acidez e alcalinidade do fluido, deposição de poeira, detritos e humidade na placa de cobertura e também os danos causados pela expansão térmica do fluido [8].

## 2.4 Secagem de alimentos

Devido a grandes perdas de vegetais, o desenvolvimento de soluções eficientes e de baixo custo para os agricultores é necessário para minimizar essas perdas pós colheita. Secagem solar, se executada devidamente, não apenas preserva o alimento, como também mantém os nutrientes no produto final [9].

A definição de secagem é a remoção de água (desidratação) de um alimento sólido, na forma de vapor, por meio de um mecanismo de vaporização térmica, numa temperatura inferior à de ebulição da água. O processo de secagem utiliza ar quente para a transferência de calor para o alimento e a

consequente vaporização da água contida neste, ocorrendo a desidratação. A secagem pode ocorrer à pressão atmosférica ou à pressão reduzida em equipamentos conhecidos como secadores a vácuo. A capacidade do ar para eliminar a água de um alimento depende, principalmente, de sua temperatura e de sua humidade relativa [2].

A secagem pode ser alcançada através de vários métodos diferentes, como secagem artificial, secagem solar direta ou secagem solar auxiliada. A secagem na indústria alimentar pode ser categorizada em dois tipos de acordo com a sua temperatura de operação, alta ou baixa. Secadores de elevada temperatura ou secadores convencionais alimentados por combustíveis fósseis ou eletricidade são geralmente utilizados em países mais desenvolvidos e geralmente não são economicamente viáveis para utilização pelos pequenos agricultores nos países em desenvolvimento devido a seu elevado custo. Secadores convencionais são utilizados para secagem artificial de alimentos para minimizar a perda de produto e para aumentar a eficiência do processo, pois os parâmetros de secagem podem ser controlados e ajustados durante a desidratação. Devido ao seu processo rápido de secagem, esse método é mais utilizado na indústria, visto que a exposição do produto ao calor é mínima, contribuindo para o aperfeiçoamento da qualidade do alimento final [1].

A quantidade de tempo requerida para secar alimentos depende da velocidade em que o ar absorve a humidade do alimento. Secagem rápida depende de três fatores: o ar precisa estar quente, seco e com velocidade. A humidade do ar é medida em termos de humidade relativa (RH). Se o ar está com humidade relativa a 100%, ele absorveu 100% da humidade que consegue a temperatura que se encontra. Se o ar possui uma humidade relativa próxima de 100%, precisa ser aquecido antes de estar apto a absorver a humidade da comida [4].

Na prática, calor pode ser fornecido para materiais a serem secados através de diferentes modos, como: convecção, condução, radiação, micro-ondas, rádio frequência, entre outros. Durante o processo de secagem, dois fenômenos ocorrem ao mesmo tempo: transferência de calor pela fonte quente ao alimento, e transferência de massa do interior do alimento à superfície, e então da superfície ao ambiente. A vantagem de utilizar a secagem para a preservação do alimento não é apenas de que a tecnologia é conveniente, mas também o custo associado para o processo, empacotamento, transporte e armazenamento é menor para alimentos secos do que para enlatados e comidas congeladas. No geral, a secagem de alimentos consiste em três etapas: o processo de pré-secagem, a secagem, e o tratamento pós secagem. A qualidade do produto final depende do tipo de processo e do uso final desse produto [1].

A secagem natural tem várias desvantagens, já que o produto está sendo exposto a fatores climáticos como o vento, a chuva, pó, assim como a possibilidade de ataque de animais e insetos, e a

contaminação de micro-organismos, entre outros. Para superar esses problemas, encurtar o tempo de secagem e diminuir ao mínimo suas perdas, podem ser empregados equipamentos, processos e técnicas para realizarem a secagem, como em secadores que aproveitam a ação do vento e da energia solar [3].

## **2.5 Modos de transferência de calor**

### **2.5.1 Convecção**

O modo de transferência de calor por convecção ocorre com o contato entre um fluido em movimento e uma superfície, estando os dois a diferentes temperaturas. Basicamente, o que ocorre para haver a retirada de umidade do alimento é o ar quente entrando em contato com o alimento. A diferença de temperatura entre o fluido e a superfície é extremamente importante para que a troca de calor ocorra, visto que a convecção só ocorre se a mesma existir. O modo de transferência de calor por convecção é a transferência de energia que ocorre no interior de um fluido devido aos efeitos combinados da condução e do escoamento macroscópico do fluido. Essa energia a ser transferida, basicamente, seria a energia interna do fluido [10].

Ainda existe o modo de troca de calor latente, a qual é associada à mudança de fase entre os estados de líquido e vapor. Isso ocorre quando há a secagem do alimento de dentro da câmara, a água contida dentro do alimento evapora em contato com o ar quente, perdendo umidade para o ar.

Existem dois tipos de transferência de calor por convecção:

- Convecção forçada: ocorre quando o escoamento é causado por meios externos, como ventiladores e bombas, por exemplo.
- Convecção natural: ocorre devido às forças de impulso, originadas a partir da diferença de densidades provocadas por variações de temperatura no fluido.

### **2.5.2 Radiação**

Radiação térmica é a energia emitida pela matéria que se encontra a uma temperatura não-nula, podendo ocorrer a partir de superfícies sólidas, gasosas ou líquidas. A energia do campo de radiação é transportada por ondas eletromagnéticas, portanto, esse modo de transferência de calor não necessita de um meio material para se propagar [10].

A radiação emitida pelo corpo se origina da energia térmica delimitada pela sua superfície, e a taxa na qual essa energia é emitida por unidade de área é o poder emissivo da superfície,  $E$  ( $W/m^2$ ). A radiação também pode incidir sobre uma superfície a partir de sua vizinhança, pode vir de uma fonte especial, como o sol ou outras superfícies que o corpo esteja exposto. Denomina-se a taxa em que todas as radiações incidem sobre uma área unitária da superfície de irradiação,  $G$  ( $W/m^2$ ). A irradiação,

total ou parcialmente, pode ser absorvida pela superfície, aumentando a energia térmica do material, essa taxa de absorção pode ser calculada com o conhecimento de uma propriedade radiante da superfície, a absorvidade,  $\alpha$  [10].

## **2.6 Transferência de massa**

A transferência de massa é massa em trânsito como resultado de uma diferença de concentrações de uma espécie em uma mistura. Um gradiente de concentração de uma espécie em uma mistura fornece o potencial motriz para o transporte desta espécie [10]. Um exemplo é a transferência de vapor d'água para o ar seco, como num humidificador doméstico. Este exemplo pode ser comparado ao uso da transferência de massa no sistema de um secador solar, na qual a umidade é retirada do alimento através da diferença de concentração de umidade do ar dentro do secador.

Na transferência de massa por convecção, se um fluido com uma concentração qualquer escoar sobre uma superfície na qual a concentração dessa espécie é mantida num valor uniforme diferente, transferência dessa espécie por convecção irá ocorrer.

## **2.7 Termossifão**

Sistemas que utilizam termossifão aquecem o fluido e usam convecção natural para transportar o ar vindo do coletor até o secador. Os efeitos de termossifão ocorrem devido ao gradiente de temperatura formado dentro da câmara. Portanto, pela ação da radiação absorvida pelo coletor, o ar que passa pelo coletor se torna menos denso e expande, e sobe pelo coletor até a câmara de secagem. A circulação do ar é contínua enquanto houver radiação solar ou calor armazenado no coletor através de inércia térmica. A força motora desse caudal do ar dá-se apenas pela diferença de densidade do ar causada pela umidade. O sistema precisa ser bem isolado para garantir o funcionamento correto, prevenindo a perda de calor e formação de áreas onde o ar pára e impede o fluxo correto dentro da câmara. As vantagens do termossifão são de que esse sistema não depende de bombas e controladores de circulação de ar, são mais confiáveis e possuem uma vida útil maior do que sistemas com circulação de ar forçada. Além disso, não necessitam de suporte elétrico para seu funcionamento e esse modelo, também, controla o caudal mássico do ar de acordo com os níveis de radiação solar [8].

## **2.8 Inércia térmica**

Inércia térmica se define pela capacidade que o material detém de reter parte do calor que é conduzido por ele no seu interior, sendo consequência da sua massa. Para ambientes que recebem muito calor durante o dia, onde as temperaturas oscilam durante a noite, a inércia térmica é importante no armazenamento de calor para ser utilizado durante a noite, seja para aquecer objetos ou ambientes.

Aqui, a inércia térmica será utilizada para armazenar calor e utilizá-lo para continuar aquecendo o ar pelo coletor solar ainda mesmo após o sol se pôr [11].

A inércia térmica depende do calor específico do material a ser aquecido. Calor específico é definido como a quantidade de calor requerida para aumentar em uma unidade de temperatura a unidade de massa da substância, expresso em J/kgK. Portanto, quanto maior o calor específico de um material, mais calor ele absorve. A água é um ótimo exemplo de material com alta inércia térmica, pois possui um calor específico elevado, de 4187 J/kgK, sendo muito utilizada para fins de armazenamento de calor em diversos casos [11].

## **2.9 Isolamento térmico**

O isolamento térmico é de extrema importância em projetos nos quais envolve calor, já que ele não pode ser desperdiçado ou perdido, visto que o calor é uma fonte de energia, por isso, o isolamento serve para que não ocorra a perda de calor para o ambiente. Os isolantes térmicos são de vários tipos e materiais, os quais variam desde lãs naturais, placas de cortiça, fibra de coco até sintéticos como poliestireno. O que determina se um material será ou não um bom condutor térmico são as ligações em sua estrutura atômica ou molecular. Assim, os metais são excelentes condutores de calor devido ao fato de possuírem os elétrons mais externos "fracamente" ligados, tornando-se livres para transportar energia por meio de colisões através do metal. Por outro lado, tem-se materiais como madeira, lã, vidro, papel e poliestireno que são maus condutores de calor (isolantes térmicos), pois, os elétrons mais externos de seus átomos estão firmemente ligados [12].

Num estudo feito por [12], no qual três materiais foram utilizados para comparação de desempenho, sendo o roofmate, madeira e casca de arroz os materiais a serem comparados. O roofmate apresentou a menor variação de temperatura com relação às demais. A variação nas duas horas de avaliação foi de 8,2°C em relação ao ambiente externo, enquanto os demais chegaram a valores como 20°C de variação de temperatura.

## 2.10 Psicrometria

### 2.10.1 Remoção da água dos figos

A metodologia de cálculo utilizada nessa seção, até a equação (6), encontra-se no artigo “*Design of Fruits Solar Energy Dryer under Climatic Condition in Jordan*” [13].

A quantidade de humidade a ser retirada do produto,  $m_w$ , em quilos, foi calculada utilizando a equação (1):

$$m_w = \frac{m_p(M_i - M_f)}{(100 - M_f)} \quad (1)$$

Onde:

$m_p$ : massa inicial do produto a ser secado, kg;

$M_i$ : humidade inicial do produto, % da base húmida;

$M_f$ : humidade final do produto, % da base húmida;

As humidades final e inicial foram retiradas do material sobre secagem “*Mathematical modeling of solar drying systems*” [14].

### 2.10.2 Humidade relativa final ou de equilíbrio

A humidade relativa final ou de equilíbrio foi calculada utilizando a equação (2):

$$a_w = 1 - e^{[-e^{0,914+0,5639 \ln M}]} \quad (2)$$

Onde:

$a_w$ : atividade da água, decimal;

$M$ : teor de humidade na base seca, kg de água/kg de sólido seco.

Então, a humidade relativa final, ou de equilíbrio,  $ERH$  é dada pela equação (3).

$$a_w = \frac{ERH}{100} \quad (3)$$

### 2.10.3 Quantidade necessária de energia para evaporação da água

Então, a energia total,  $E$ (kJ), necessária para evaporar a água contida no alimento é calculada pela equação (4):

$$E = \dot{m}(h_f - h_i)t_d \quad (4)$$

Onde:

$\dot{m}$ : caudal mássico de ar, kg/hr;

$h_f$ : entalpia final de secagem do ar ambiente, kJ/kg ar seco;

$h_i$ : entalpia inicial de secagem do ar ambiente, kJ/kg ar seco;

$t_d$ : tempo de secagem, hrs.

#### 2.10.4 Caudal mássico de secagem

O caudal mássico de secagem,  $m_{dr}$ , medida em kg/hr, é determinada pela massa de humidade a ser removida pelo calor solar e o tempo de secagem pela equação seguinte:

$$m_{dr} = \frac{m_w}{t_d} \quad (5)$$

A massa de ar necessária para a secagem é calculada através da equação (6):

$$\dot{m} = \frac{m_{dr}}{(w_f - w_i)} \quad (6)$$

Onde:

$w_f$ : humidade absoluta final, kg  $H_2O$ / kg de ar seco;

$w_i$ : humidade absoluta inicial, kg  $H_2O$ /kg de ar seco.

#### 2.10.5 Desempenho do coletor solar

A metodologia de cálculo utilizada nesta seção foi retirada do livro “*Solar Engineering of thermal processes*” [15].

O desempenho do coletor solar é importante para compararmos se a energia requerida para evaporar a água contida no alimento a ser secado será fornecida pelo coletor. É descrito por um equilíbrio térmico entre a proporção do fluxo solar incidente na área de abertura do coletor menos as perdas térmicas. Essa energia útil pode ser expressa pela equação (7).

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (7)$$

Onde:

$Q_u$ : ganho de energia útil, W

$A_c$ : área do coletor exposta a radiação,  $m^2$ ;

$F_R$ : fator de remoção do coletor, adimensional;

$S$ : radiação absorvida pelo coletor,  $W/m^2$ ;

$U_L$ : coeficiente global de perda de calor,  $W/m^2K$ ;

$T_i$ : temperatura de entrada do ar no coletor, K;

$T_a$ : temperatura ambiente, K.

Para o cálculo do fator de remoção do coletor é utilizada a seguinte equação:

$$F_R = \frac{\dot{m}_{ar} c_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c [S - U_L (T_{fi} - T_a)]} \quad (8)$$

Onde:

$T_{fo}$ : temperatura de entrada do fluido, K;

$T_{fi}$ : temperatura de saída do fluido, K;

$\dot{m}_{ar}$ : caudal mássico do ar entrando no coletor, kg/s.

Para o cálculo do caudal mássico ar que entra no coletor é utilizada a seguinte fórmula:

$$\dot{m}_{ar} = v * \rho * A_t \quad (9)$$

Onde:

$v$ : velocidade do vento, m/s;

$\rho$ : densidade do ar a temperatura ambiente,  $kg/m^3$ ;

$A_t$ : área transversal de entrada do ar no coletor,  $m^2$ .

A potência térmica perdida pelo coletor ( $P_p$ ) é calculada pela diferença entre a potência térmica absorvida pelo coletor ( $P_{abs}$ ) e a potência útil transferida ao fluido ( $P_u$ ), demonstrado pela equação (10):

$$P_p = P_{abs} - P_u \quad (10)$$

E a potência absorvida é calculada pela equação (11):

$$P_{abs} = \alpha_p G A_c \quad (11)$$

Onde:

$\alpha_p$ : absorvidade da placa, adimensional;

$G$ : irradiação solar,  $W/m^2$ .

Para o cálculo da potência útil transferida ao fluido, no coletor, é utilizada a equação (12):

$$P_u = \dot{m} c_p \Delta T \quad (12)$$

Onde:

$c_p$ : calor específico do fluido, J/kg K;

$\Delta T$ : diferença de temperaturas de entrada e saída do coletor, K.

Para a determinação das perdas de calor sofridas pelo coletor precisa-se considerar perdas pelas laterais, partes inferior e superior do coletor. A perda superior é dividida em duas etapas, entre a placa absorvedora e a cobertura, e entre a cobertura e o ar ambiente.

Para o coletor solar utilizado nesse trabalho, a perda de calor da parte superior pode ser calculada pela equação (13):

$$U_F = \frac{P_p}{A_c(T_{pm} - T_a)} \quad (13)$$

Onde:

$U_F$ : coeficiente de perda de calor superior,  $W/m^2$ ;

$T_{pm}$ : temperatura média da placa absorvedora, K.

A energia perdida pelas laterais pode ser desprezada por ser um valor pequeno se comparado com as outras perdas calculadas.

A energia perdida pela parte inferior do coletor é calculada pela equação (14):

$$U_i = \frac{k}{L_i} \quad (14)$$

Onde:

$k$ : condutividade térmica da camada inferior do coletor,  $W/m.K$ ;

$L_i$ : espessura da camada inferior do coletor, m.

Por fim, o coeficiente global de perda de calor do coletor é calculado:

$$U_L = U_F + U_i \quad (15)$$

#### 2.10.6 Estimativa da energia armazenada nas garrafas de água

Com os valores de energia requerida pelo secador e energia útil do coletor, podemos calcular uma aproximação da quantidade de calor armazenada pelas garrafas durante o processo ( $E_C$ ), em kJ, que se dá pela equação (16):

$$E_C = Q_u - E \quad (16)$$

## 2.11 Figos e sua secagem

Figos secos (*Ficus carica*, L.) representam uma importante colheita, com uma produção entre 1.14 milhões de toneladas. Europa mediterrânea, norte da África e Ásia central são grandes produtores de figos secos, enquanto a Turquia é o maior produtor do mundo. A Espanha exporta mais de 4500 toneladas de figos secos por ano [16].

Em Portugal a área de cultura dos figos é de aproximadamente 7100 hectares e sua produção nacional total é cerca de 2150 toneladas. As zonas de maior produção ficam em Algarve, Trás-os-Montes e Terras Novas. Geralmente, os figos lampos são produzidos em regiões de inverno menos rigoroso, já os figos vindimos são, no geral, mais produzidos em lugares de clima mais frio. A região de Mirandela, onde os figos utilizados para esse trabalho são produzidos, se localiza na região norte do país, porém faz a colheita dos dois tipos de figos [1.7].

Frutas usadas para secagem são deixadas nas árvores até atingirem a maturação total. No método tradicional de secagem ao sol, cada figo semi-seco é coletado e colocado em bandejas de madeiras. Cada figo é virado periodicamente de um lado para o outro até que seu percentual de humidade chegue a 24%. O produto final é altamente apreciado pelos consumidores devido a seu grande valor nutricional, pois é rico em vitaminas A, B1, B2, fibra, aminoácidos essenciais e minerais como o ferro, cálcio e potássio. Porém, a demora do processo de secagem, dependendo das mudanças climáticas, podem afetar negativamente a qualidade da fruta devido ao crescimento e proliferação de micro-organismos e perdas nutricionais. Por isso, o maior problema em secar figos é a presença de fungos, os quais são capazes de crescerem sob condições de baixa humidade, e podem causar a deterioração da fruta, como perda de sabor, descoloração, decomposição e acima de tudo, produção de micotoxinas [16].

Existem dois tipos de figos produzidos durante o ano, os lampos, que são colhidos em meados de maio até junho, e os figos vindimos, que são colhidos em setembro e outubro. Os figos que vão ser secos são os do tipo vindimo, pois são menores e menos suculentos, menos atrativos em prateleiras de mercados. Por isso é realizada a secagem destes frutos, que são vendidos a maiores preços e armazenados por mais tempo e com mais facilidade do que os figos frescos. A secagem atualmente é feita de modo rudimentar.

Existem muitos atributos importantes que determinam a qualidade de alimentos desidratados, os quais abrangem quatro grupos: características físicas, químicas, microbianas e nutricionais. Para os figos secos, os critérios mais importantes são alta quantidade de açúcar, baixa acidez, casca espessa para a produção de figos secos com cor clara, textura leve e altas concentrações de açúcar. Ainda mais,

para a venda de figos secos, o apelo visual, características orgânicas e propriedades químicas, além da segurança do alimento, são os parâmetros chave de qualidade assim como em outras frutas secas [1].

O padrão indicado para a comercialização de figos secos indica que a humidade desse alimento não pode ultrapassar 26% para figos sem pré-tratamento e 26-40% de humidade para figos com pré-tratamento. O mercado mundial de figos secos é dominado, atualmente, por produtos obtidos através da secagem solar. Evidentemente, os parâmetros de secagem como velocidade do ar, temperatura e humidade relativa, assim como o tempo de secagem, afetam na qualidade final do produto seco [1]. Todas as etapas de secagem dos figos até seu processamento são apresentadas na tabela 4:

Tabela 4- Etapas do processo de secagem de figos

Fonte: *Review of drying technology of* [1]

<b>Etapas do processo</b>	<b>Recomendações</b>
Processo de secagem	Evitar o contato direto dos frutos com o solo ou outras vegetações. Utilizar as bandejas de secagem que se posicionam de 10 a 15 cm do chão. As frutas devem ser retiradas da câmara de secagem apenas quando atingirem 24% de humidade e atividade da água de 0,65.
Transporte	Durante todo o transporte, os figos secos devem ser armazenados em caixas ou cestos que permitam a ventilação do ambiente, e não podem ser guardados em sacos.
Armazenamento	Armazenamento a baixas temperaturas é o mais indicado, com temperaturas entre 5 a 10 °C e com humidade relativa abaixo dos 65%.
Processamento	A uma escala comercial, os figos secos devem ser amostrados e analisados para uma triagem inicial, afim de medir a qualidade da quantidade de humidade e analisar se os frutos estão com a coloração adequada.

Dentre tantas considerações envolvidas na secagem de figos, talvez a mais importante seja assegurar que o alimento seco possa ser armazenado durante 6 a 8 meses. O processo de secagem deve ser feito sem prejudicar a sua capacidade de ser consumido com segurança após seu armazenamento. Para garantir a segurança do consumidor, os produtos secos devem ser livres de contaminação química e infestação bacteriana e de fungos [1].

## 2.12 Ferramentas do design thinking

### 2.12.1 Necessidades e especificações do projeto

As ferramentas apresentadas neste tópico foram referenciadas a partir do livro *Engineering Design, Planning, and Management* [22].

Primeiramente é preciso ter o problema bem estruturado para saber solucioná-lo. As necessidades e especificações do projeto são itens necessários para a resolução de um problema. Nessa primeira etapa é extremamente necessário não deixar nada de fora da concepção do projeto, é importante listar todos os problemas e suas respectivas soluções, isso faz com que o cronograma programado não saia do prazo e também faz com que o final do projeto seja um alvo alcançável.

Existe a possibilidade de estudar projetos já existentes na área, fazendo melhoramentos incrementais e adaptações, isso pode ajudar a pensar nas especificações e características do produto. Todos os projetos possuem algo em que possam ser melhorados, é aí em que se podem ser trabalhadas as mudanças e alterações. Assim, todo o estudo de necessidades, marketing e até vendas dos produtos já existem e podem ser usados ao favor do novo design.

No design crítico especulativo também, com base em outros projetos, podem ser especuladas novas necessidades e vontades dos clientes, baseado no produto já obsoleto ou que não agradou ao público, suas necessidades ou teve um mal funcionamento. Assim, uma tabela com três principais colunas pode ser criada para clarear as ideias e organizá-las melhor:

- Necessidades do projeto: aqui são listadas todas as necessidades que o produto possui para ser fabricado e também características que são essenciais para sua execução, baseado em pesquisas e projetos passados, podem ser listadas todas as ideias, pois na próxima coluna elas serão filtradas;
- Requerimentos funcionais: são listados todos os itens essenciais já listados anteriormente, aqui o orçamento e funcionalidade do produto são dois requisitos muito importantes que devem ser prioridade na escolha dessas características e decisões dentro do projeto;
- Especificações finais: enfim são escolhidas as características finais do produto e projeto, por meio de testes, pesquisas mais específicas, número obtidos cientificamente, e também em soluções passadas que deram certo.

### 2.12.2 Geração de conceito e fundamentação no design

Para a criação do protótipo, além da fundamentação teórica, também é necessária a teoria de design e de desenvolvimento de produto. Todas as etapas foram pensadas e criadas a partir de ferramentas do *design thinking*.

Todo o processo de criação do protótipo foi, resumidamente, baseado no fluxograma da figura 4:

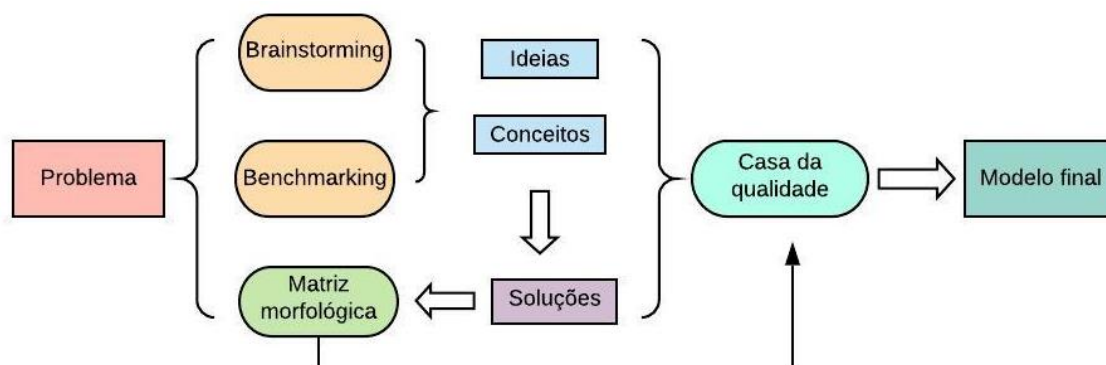


Figura 4 - Etapas do processo de criação do protótipo

Na figura 4 foram representadas as principais ferramentas e etapas de criação do produto, desde o problema, então as ferramentas utilizadas para resolver esse problema em cada fase do projeto, assim chegando num modelo final. No fluxograma pode-se entender melhor onde qual etapa se encaixa. As principais ferramentas escolhidas para o desenvolvimento dos protótipos foram: brainstorming, benchmarking e matriz morfológica. Os dois primeiros servem para coletar ideias de como o produto irá funcionar e quais serão suas características. O benchmarking coleta ideias do mercado atual e de produtos semelhantes e o brainstorming coleta todas as ideias possíveis, sem restrições, apontando soluções que então terão que ser filtradas a partir da matriz morfológica, que apresenta todas as soluções, escolhe as melhores e mais adequadas e então, após os projetos serem realizados para diversos protótipos, utiliza-se a casa da qualidade para escolher o melhor protótipo.

Além das ferramentas citadas anteriormente, o projeto como um todo também precisa de fases para se consolidar, para a tomada de decisões. Essas etapas dividem-se desde todo o pensamento de como o produto será feito até o feedback desse mesmo produto com o cliente ou seu destinatário, após o produto ser lançado ao público, assim dividindo-se em várias etapas, as quais podem ser resumidas a seguir:

- **Empatia:** essa é a primeira etapa, na qual o problema é apresentado e o cliente explica sua visão da situação. Nesse primeiro passo é importante se colocar no lugar do cliente,

para conseguir entender sua visão, acomodando perspectivas alheias, para melhor entender suas necessidades e soluções que está buscando

- **Definir:** nesse passo o problema é delimitado, e o que precisa ser resolvido e criado é definido.
- **Idealizar:** é aqui onde as ideias surgem, fase do brainstorming e do benchmarking, soluções são propostas e analisadas, sem censura ou medo de errar, qualquer ideia é válida nesse momento.
- **Prototipar:** nessa etapa algumas ideias são escolhidas e testadas, através de desenhos ou maquetes. Os desenhos foram feitos primeiramente à mão, e depois de prontos foram passados para formato CAD. Um estudo de viabilidade foi feito e analisado, a partir de ferramentas como casa da qualidade.
- **Testar:** então após a construção do protótipo são feitos os testes do produto, colocando em prática a partir de sua aplicação real. E então, se algo não está funcionando direito é modificado e adaptado para um novo protótipo até estar funcionando de acordo com o que foi projetado. Testes realizados com o utilizador do produto para uma análise de sua usabilidade também é de grande importância.
- **Implementar:** é nessa fase final que o protótipo depois de modificado é implementado no mercado e distribuído. Feedbacks dos clientes são recolhidos e transformados em novas ideias para melhorar cada vez mais o produto, e então assim o ciclo se reinicia até chegar-se a um produto ideal.

### 2.12.3 Benchmarking

É nesta etapa que é feita uma análise profunda de produtos semelhantes, ou que realizam a mesma função, no mercado atual. Todos os tipos de tecnologia existentes até o preço do produto são levados em consideração para esse estudo de mercado. Algumas características do benchmarking são:

- Características e detalhes de produtos e projetos já existentes;
- Seleção de produtos atuais que são ou podem ser concorrentes;
- Usar pesquisas e feedback de consumidores para selecionar as características mais importantes;
- Priorizar as características para desenvolvimento da engenharia do produto;

#### 2.12.4 Matriz morfológica

Uma matriz morfológica tem o intuito de quebrar o problema a ser resolvido em partes. Para gerar conceitos de ideias para o projeto, palavras-chave são colocadas em destaque que sirvam de parâmetro para novas ideias que se encaixem com esses termos.

Primeiramente, as principais características para o desenvolvimento dos protótipos foram definidas, e então, a matriz morfológica será uma ramificação e um detalhamento dessas características.

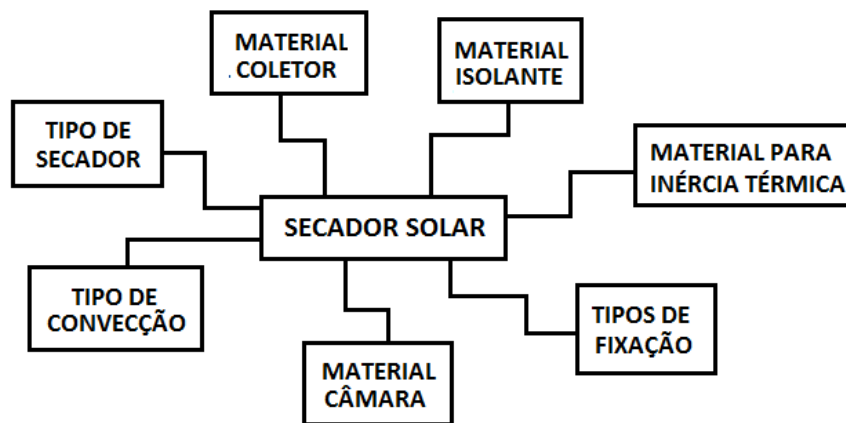


Figura 5 - Características para construção de um secador solar

#### 2.12.5 Casa da qualidade

Casa da qualidade relaciona as qualidades e defeitos dos em comparação e ajuda na escolha do melhor design. Ela também relaciona os modelos com produtos já existentes no mercado, porém a comparação será feita apenas entre esses três modelos, devido à falta de produtos parecidos para venda. Também relaciona a opinião dos clientes sobre esses produtos e dá uma nota de importância para cada aspecto que se apresenta neles, ou seja, o que é mais importante na fabricação e distribuição destes. Porém nessa comparação, serão apresentadas as características mais importantes para a construção do protótipo e os requisitos do cliente.

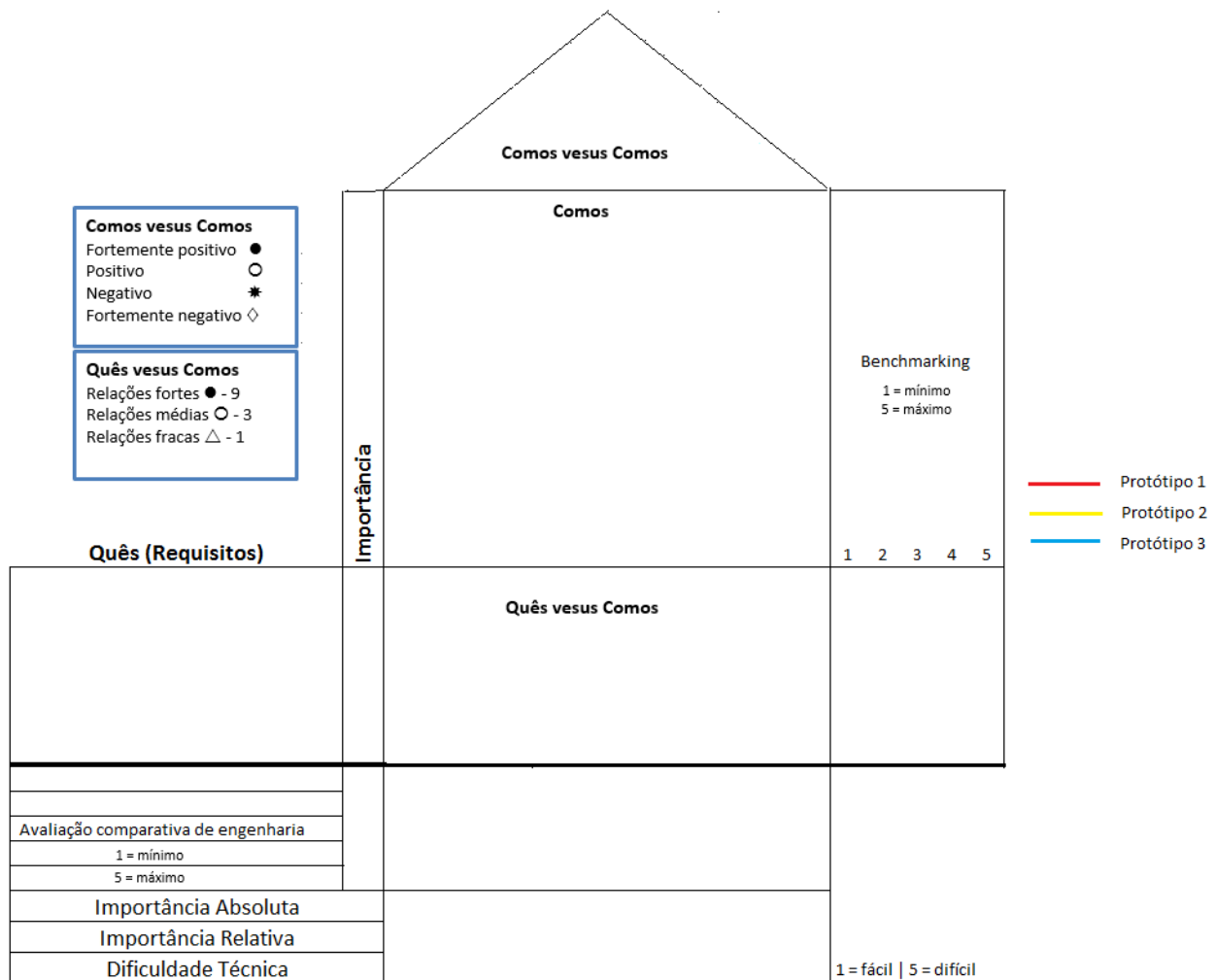


Figura 6 - Modelo de casa da qualidade

A casa da qualidade serve para que os requisitos do cliente sejam traduzidos em especificações de projeto e soluções para os problemas apresentados. Também tem a função de comparar os modelos desejados, seja do mercado, ou tipos de protótipos, para estudar qual a melhor escolha para este tipo de problema.

Cada ponto da matriz tem uma função:

- **Quês (Requisitos):** é onde o cliente especifica quais as características e funcionalidades o produto precisa ter.
- **Comos:** aqui é onde o projetista apresenta as soluções para os problemas apresentados, como características que o produto terá para resolver cada especificação apresentada.
- **Comos versus comos:** onde a correlação entre as características do produto é feita. Numa escala de fortemente positivo à fortemente negativo, precisa-se estudar quais características são dependentes entre si ou que causam algum impacto entre si.

- **Quês versus comos:** nesse ponto as especificações do projeto e as características são comparadas, numa escala de relações fracas a relações fortes, onde é pensado quais características são cruciais para resolver quais problemas, e quais não possuem correlação, então deixa-se o quadrado em branco, ou quais possuem influências negativas sobre o problema apresentado.
- **Benchmarking:** parte onde os modelos que estão sendo comparados são classificados a partir dos quês, o quanto cada produto é capaz de se relacionar com o problema apresentado, qual produto resolve esse problema.
- **Avaliação comparativa de engenharia:** aqui todas as características apresentadas são relacionadas com cada protótipo, avalia-se qual protótipo possui cada especificação mostrada na matriz.
- **Importâncias:** é estipulada uma importância, de 1 a 10, para cada característica proposta para o produto, ou seja, quão importante essa característica será para o produto final.
- **Dificuldade técnica:** é classificado de 1 a 5 a dificuldade de fabricação ou implementação de cada característica aplicada no produto final.

### 2.13 Modelo Business Canvas

O modelo de negócio conhecido como “Business Canvas”, descreve um método de projeto e como é criado, é entregue ao público e como captura seu valor. Pequenas empresas podem utilizar esse modelo de negócio como uma estratégia para combater a concorrência. Descreve a relação entre empresas competidoras e parceiros, como também com seus clientes. Neste business canvas existem nove pilares que sustentam esse plano e que são relacionados entre si, os quais são: segmento dos clientes, proposta de valor, canais, relacionamento com clientes, fluxo de receita, recursos chave, atividades chave, parcerias chave e estrutura de custos [17].

A tabela 5 representa todos esses pilares principais e suas características:

Tabela 5 - Principais pilares e características do Business Canvas

Fonte: *Business model canvas as a solution for competing strategy of small business in Indonesia*

[17].

<b>Pilar</b>	<b>Características/ Ações principais</b>
Segmento dos clientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A empresa precisa saber qual seu público alvo;</li> <li>- Existem dois aspectos a serem considerados:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aspecto demográfico;</li> <li>2. Aspecto geográfico.</li> </ol> </li> </ul>
Proposta de valor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criar valores através das necessidades dos clientes;</li> <li>- Criar diferentes valores através dos competidores;</li> <li>- Criar um produto apelativo ao público.</li> </ul>
Canais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparar a linha de distribuição de acordo com o público alvo;</li> <li>- Preparar a comunicação com os clientes de acordo com os bens produzidos;</li> <li>- Criar anúncios chamativos, porém demonstrando os benefícios do produto para o cliente.</li> </ul>
Relacionamento com clientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construir uma relação com o público, pode ser através de mídias digitais;</li> <li>- Criar um sistema de apoio ao cliente;</li> <li>- Estudar o feedback dos clientes para descobrir os pontos fracos do produto.</li> </ul>
Fluxo de receita	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Como os clientes conseguem adquirir o produto;</li> <li>- Ver o local de vendas e ajustá-lo de acordo com o mercado alvo;</li> <li>- Quais características adicionais no produto podem aumentar a receita?</li> </ul>
Recursos chave	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os recursos que podem ser maximizados, como recursos humanos, por exemplo.</li> </ul>
Atividades chave	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todas as atividades que são realizadas mais frequentemente, como compra de material, vendas e supervisão do apoio ao cliente.</li> </ul>
Parcerias chave	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encontrar parceiros que podem prover os materiais;</li> <li>- Fazer parcerias com o governo ou empresas privadas.</li> </ul>
Estrutura de custos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar um orçamento de acordo com as necessidades da empresa;</li> <li>- Fazer relatórios para reportar perdas e ganhos.</li> </ul>

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 *Design thinking*

Para o secador solar de figos temos o problema inicial apresentado: Um pomar de figos em que os figos do tipo vindimo, que são menores e menos atrativos às vendas nos mercados, são secos ao sol por uma maneira rudimentar e muito simples. Porém esse método de secagem é pouco eficiente e gasta muitos dias para ser executada por completo.

Solução: fabricação de uma máquina de secador de figos solar, na qual aproximadamente 25 quilos da fruta serão desidratados em no máximo 3 dias (dependendo do clima), visto que o período de secagem atual é de aproximadamente uma semana. Um requisito do projeto é a não utilização de energia elétrica, restringindo-se à energia solar, focando num projeto ecologicamente sustentável. O baixo orçamento também seria um pré-requisito, visto que o processo atual de secagem possui baixo custo, tendo apenas a mão de obra como custo do processo. A utilização de materiais recicláveis é uma estratégia ótima, tanto para o orçamento quanto para a sustentabilidade do projeto

Tabela 6- Aspectos importantes do produto

<b>Necessidades do projeto</b>	<b>Requerimentos funcionais</b>	<b>Especificações finais</b>
Sustentável	Secagem rápida	Presença de uma câmara de secagem
Barato	Sustentável	Bandejas para secagem dos alimentos
Acessível	Mínimo de 25 quilos de figos	Máquina compacta
Funcional	Modular	Utilização de apenas energia solar

A partir da tabela 6 fica mais fácil identificar o problema, suas limitações e traçar metas de como resolvê-lo. O modo como será realizado o projeto e suas etapas serão feitas a partir de algumas ferramentas do design.

#### 3.1.2 Geração de conceito e fundamentação no design

Aplicando o conceito já apresentado na seção 2.10.2, podemos separar todo o trabalho feito em 6 etapas:

**Empatia:** para o projeto do secador, foi conversado com o cliente, o agricultor cultivador de figos, e foram apresentados os problemas:

- Tempo de secagem alto dos figos, o qual chega a quase uma semana;

- Mão de obra desnecessária, pois todos os dias pelo menos duas vezes ao dia é necessário alguém para virar todos os figos um por um;
- Eficiência baixa do processo de secagem, a variável tempo versus quantidade é muito pequena, visto que a quantidade seca ao ar livre também não é elevada pois o espaço precisa ser muito grande para comportar altas quantidades de figos;
- A qualidade do produto final deixava a desejar, sabendo que o figo era exposto ao ambiente, podendo ser atacado por animais, insetos e poeira, degradando o alimento.

**Definir:** nessa etapa foi definida a ideia do desenvolvimento e proposta de um secador solar de figos, mas os detalhes seriam avaliados e escolhidos futuramente por pesquisas e cálculos.

**Idealizar:** todas as ideias foram distribuídas, desde o tipo de secador até quais seriam os materiais a serem escolhidos, através de pesquisas de mercado e ferramentas de design thinking.

**Prototipar:** o design final foi escolhido a partir de comparações de design, funcionalidade e orçamento, a partir de matriz morfológica e casa da qualidade. É nessa etapa também que o protótipo é construído.

**Testar:** nessa etapa o protótipo é testado e seus resultados são estudados para um futuro melhoramento em seu desempenho, essa etapa não foi feita devido às restrições relacionadas a pandemia atual.

**Implementar:** a etapa final será quando o protótipo for inserido no campo pelo cliente. Como o protótipo não foi construído, essa etapa também não foi realizada.

## 3.2 Benchmarking

### 3.2.1 Modelos encontrados no mercado

A pesquisa foi feita a partir de modelos de desidratadores de alimentos encontrados no mercado, sejam eles híbridos ou apenas solares. O mercado de desidratadores de alimentos é vasto e abrange desde grandes agricultores e empresas agrícolas até pequenos e médios agricultores, que possuem uma colheita menor e menos capital para investimento em grandes máquinas, o que, por muitas vezes, faz com quem o pequeno agricultor recorra à secagem natural dos alimentos cultivados. Um dos objetivos do projeto é popularizar a secagem mecanizada, facilitando a vida do pequeno agricultor agregando valor ao seu produto, podendo até concorrer com grandes empresas do ramo do agronegócio.

Através de uma pesquisa encontrou-se uma vasta gama de desidratadores, os quais serão apresentados a seguir.

- **Secador solar Chatron – AVATAR MODELS**



Figura 7 - Secador solar Chatron

Fonte: Site Chatron [1.1]

Este secador é fabricado pela empresa portuguesa Chatron, especializada em iluminação natural através da captação de radiação solar natural e também na fabricação de desidratadores e secagem solar. O secador é capaz de secar uma grande variedade de alimentos, como raízes, legumes, carnes e ervas medicinais. É do tipo híbrido, possui um painel solar combinado com motores e ventiladores.

- **Black Block Base – Pam e alimentos**



Figura 8 - Secador Black Block Base

Fonte: Secador solar híbrido Black Block Base - Pam e alimentos [1.2]

Este modelo de secador é fabricado pela empresa Black Block especializada em secagem híbrida de alimentos. Esse secador conta com uma câmara de secagem constituída por ventiladores e

aquecedores, e também com painéis solares. Esse modelo é mais utilizado em escala industrial, já que possui dimensões grandes e alta capacidade de secagem.

- **Klarstein Master Jerky 16**



Figura 9 - Secador Klarstein Master Jerky 16

Fonte: Secador solar master jerky 16 [1.3]

O modelo da marca alemã Klarstein é considerado para uso profissional, mas de pequeno porte, totalmente elétrico prometendo desidratação rápida dos alimentos, secando desde carne até legumes e frutas.

- **Desidratador Polidryer PD-40**



Figura 10 - Desidratador Polidryer PD-40

Fonte: desidratador PD-40 [1.4]

A Indústria e Comércio de Máquinas POLIDRYER Ltda., brasileira, atua na fabricação de equipamentos para secagem e armazenagem de produtos agrícolas, além de outras máquinas utilizadas na agricultura. A POLIDRYER tem como meta o atendimento das necessidades dos pequenos e médios produtores rurais, uma lacuna pouco explorada pelas grandes indústrias. Esse modelo foi

especificamente desenvolvimento para desidratação de cogumelos, mas também pode ser utilizado para a secagem de plantas medicinais, possuindo um sistema de ventilação e aquecimento elétricos ou alimentado por gás natural ou GLP.

Tabela 7- Benchmarking dos secadores

<b>Secador</b>	<b>Temperatura de secagem</b>	<b>Tipo de secador</b>	<b>Dimensões (CxLxA) em m</b>	<b>Tempo de secagem</b>	<b>Capacidade de secagem</b>	<b>Potência</b>
Chatron	-	Híbrido	1,03 x 0,9 x 1,03	-	-	560 W
Black Block	-	Híbrido	6,21 x 2,44 x 2,61	2,5 dias	1200 kg	650 – 2000 W
Master Jerky 16	40-90°C	Elétrico	0,57 x 0,44 x 0,66	15 horas	20 kg	1500 W
Polidyer PD-40	45 - 55 °C	Elétrico ou por combustível	0,8 x 2 x 2	12 horas	40 kg	-

Após o estudo do benchmarking pôde-se observar que, atualmente, não há nenhum tipo de máquina semelhante à proposta nessa tese. Nenhum dos modelos já existentes e disponíveis no mercado possuem uma utilização de 100% com energia solar, alguns são totalmente elétricos e outros são híbridos, trabalhando com motores e simultaneamente com painéis solares ou até são alimentados por combustível. O modelo proposto difere por ser totalmente sustentável em utilizar apenas o sol na secagem dos alimentos. Os modelos de equipamentos mencionados são propostos para grandes agricultores, como o Black Bock, mas também para performances menores, como o Master Jerky 16.

O modelo proposto também é destinado a pequenos agricultores que necessitam de equipamentos simples e baratos para agregar valor à sua produção. Porém nem todos possuem preços acessíveis para uma parte desses agricultores, alguns ultrapassam um valor aceitável para ser investido por um pequeno agricultor. Além disso, utilizam algum tipo de gasto energético envolvendo seu funcionamento, o que acaba aumentando o custo do cultivo do alimento a longo prazo. Fato que se difere no modelo proposto, pois luz solar é de graça e de grande abundância.

### 3.3 Matriz morfológica

Então, uma matriz morfológica foi feita a partir dessas características chave para o desenvolvimento do protótipo:

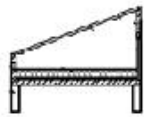
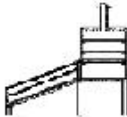



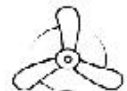



























Funções	Princípio de soluções							
<b>Tipo de secador</b>	Direto 	Indireto 	Misto 	Indireto com sifão 				
<b>Tipo de convecção</b>	Natural 	Forçada 	Mista 					
<b>Material câmara</b>	Madeira compensada 	Aço 	Acrílico PPMA 	Alumínio 	Aço galvanizado 	MDF 		
<b>Material coletor</b>	Madeira compensada 	Placa ondulada de cobre 	Placa ondulada aço galvanizado 	MDF 	Acrílico transparente 	Vidro 	Aço 	
<b>Tipos de fixação</b>	Rebite 	Velcro 	Parafuso 	Prego 	Cola 	Solda 		
<b>Material para inércia térmica</b>	Pedra granito 	Mármore 	Garrafas de água 					
<b>Material isolante</b>	Espuma expansiva 	Roofmate 	Lã mineral 	Placa de cortiça 				

Figura 11- Matriz morfológica para um secador solar

Os materiais de cada protótipo variam de acordo com suas especificações e geometria. Também foram analisados os preços de cada material e sua viabilidade para cada modelo.

### 3.4 Desenhos e conceitos

Após alguns estudos e pesquisas sobre o assunto, três modelos de secador solar foram desenvolvidos, um primeiro modelo simples que utiliza apenas a radiação solar incidente nos alimentos para fazer a sua secagem. O modelo é baseado apenas em um secador solar direto, no qual é constituído apenas por uma câmara de secagem.

Esse modelo de secador proposto possui apenas uma estrutura coberta por acrílico, para permitir a radiação solar entrar, e bandejas dispostas em diagonal, para que pelo menos uma parte delas estivesse em contato com essa radiação. O primeiro protótipo, por ser mais simples é feito de MDF, tanto sua estrutura quanto as bandejas. A cobertura é feita com acrílico transparente para a passagem de radiação. É do tipo direto com convecção natural. A fixação será feita por pregos e cola.

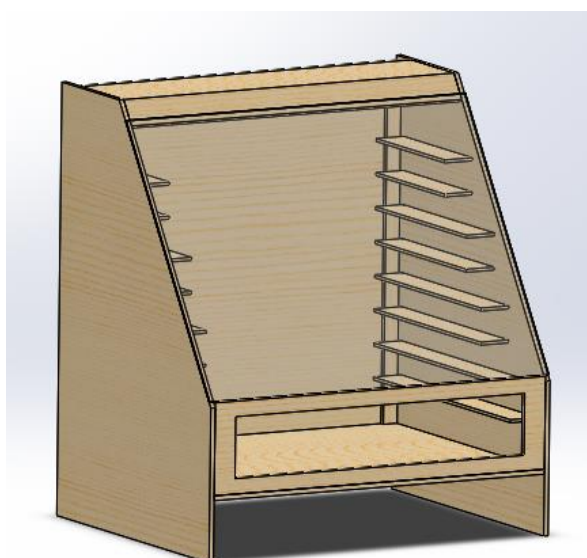


Figura 12 - Desenho protótipo 1

Tabela 8- Vantagens e desvantagens do modelo 1

<b>Vantagens do modelo 1</b>	<b>Desvantagens do modelo 1</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>-Baixo custo de fabricação;</li><li>-Baixo peso, fácil manuseio e transporte;</li><li>-Não possui isolamento;</li><li>-Mais compacto, ocupa menos espaço;</li><li>-Feito de materiais simples;</li><li>-Fácil montagem, não necessita de solda.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Secagem demorada devido à ineficiência do modelo, o ar entra frio e pode não coletar umidade corretamente dos alimentos;</li><li>-Susceptível à danos causados pela chuva;</li><li>-Bandejas de tamanhos diferentes, não podendo haver a redistribuição entre elas caso alguma bandeja possua alimentos prontos e outras não, também a dificuldade em saber qual bandeja encaixa em qual prateleira.</li></ul>

Após os estudos sobre diversos secadores solares e seus respectivos modelos, chegou-se à conclusão de que o modelo proposto não alcançava a eficiência requerida e que não foram utilizadas todas as ferramentas de transferência de calor disponíveis para a teoria de construção do protótipo. A convecção natural dentro desse primeiro modelo de secador não iria ser muito eficiente, visto que nenhum fluxo de ar seria imposto lá dentro, o escoamento seria lento e não seria alcançada a retirada de umidade desejada dos alimentos.

Observou-se que praticamente todos os secadores solares construídos possuíam algum tipo de coletor solar e sistema de fluxo de ar ligados à câmara de secagem. Alguns destes modelos já foram apresentados e discutidos nesta tese, e validados através de estudos e testes [18], [9], [19], [20]. Então, foi decidido mudar o design do secador e adicionar um coletor solar e uma chaminé conectados à câmara de secagem. Também foi retirado acrílico transparente para entrada de radiação na câmara, a geometria dela foi alterada e suas dimensões também. Foram colocadas, também, quatro placas onduladas de aço galvanizado, dispostas uma contra a outra, simulando tubos para aumentar a troca de calor entre o ar que entra no coletor e a placa, se mostrando um modelo mais eficiente do que apenas um coletor de placa plana [18].

No lugar, foi projetada uma câmara de secagem vertical, retangular, como uma caixa, totalmente fechada (apenas com a entrada e saída de ar), na qual as bandejas com o alimento são dispostas horizontalmente. Uma mudança feita em relação aos outros projetos de secadores solares foi a localização da entrada de ar e a presença de um túnel de ar separando as bandejas da chaminé. Essas mudanças foram feitas justamente para aumentar a eficiência de secagem, visto que a entrada de ar será na parte de cima da câmara, na qual o ar quente que passa pelo coletor, por ser menos denso, sobe e atinge a entrada da câmara, e então um fluxo de ar é criado a partir desse túnel que possui diâmetro hidráulico menor do que o de entrada, fazendo com que a vazão do escoamento aumente e o ar escoe com maior velocidade. Então ele desce arrefecido retirando a umidade dos alimentos. Quando o ar chega na parte de baixo da câmara ele entra em contato com o túnel e então é puxado para cima devido à diferença de pressão. Pois além de possuir menor diâmetro hidráulico, a temperatura na chaminé é maior devido à incidência de raios solares, pintada de preto. Assim, absorve mais energia em forma de calor, aumentando a temperatura, diminuindo a pressão, fazendo com que o ar mais denso e de maior pressão suba, retirando a umidade. Para o segundo protótipo, foi pensado na sua durabilidade e resistência à chuva, então para material da câmara será utilizada chapa de aço galvanizado e cantoneiras de aço. Como é do tipo indireto, possui um coletor feito com chapas de aço e chapas onduladas de aço galvanizado, para simulação de canais de ar e vidro para entrada de luz solar. Garrafas

de água serão utilizadas para armazenamento de calor. O material isolante será o roofmate, pelo seu baixo custo e peso. A fixação será feita por cola, rebites e solda.

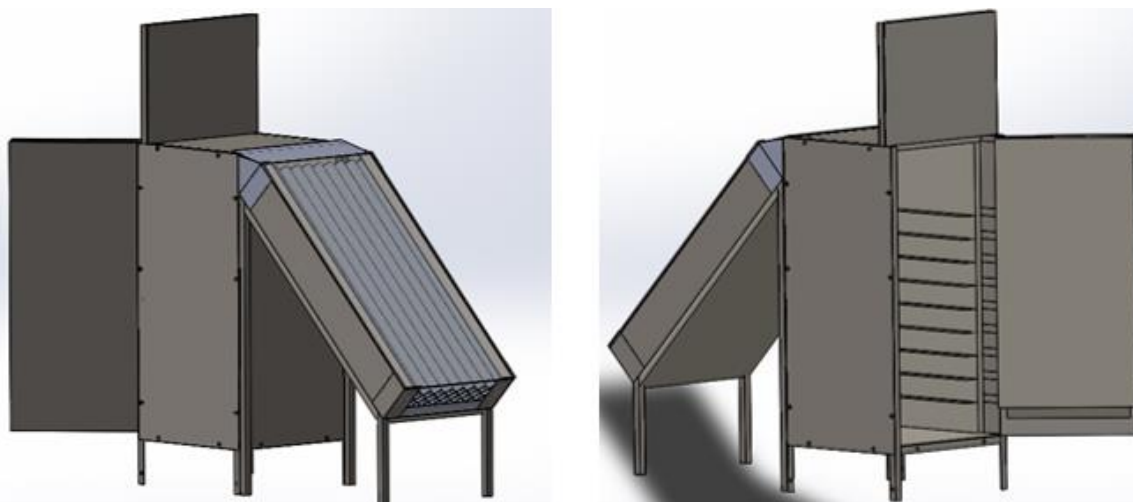


Figura 13- Modelo 2

Tabela 9 - Vantagens e desvantagens do modelo 2

<b>Vantagens do modelo 2</b>	<b>Desvantagens do modelo</b>
-Alta resistência à chuva e más condições climáticas;	-Alto peso, difícil manuseio e transporte;
-Alta durabilidade;	-Alto custo de fabricação;
-Alta eficiência de secagem devido ao coletor solar;	-Difícil montagem, necessita de solda;
-Bandejas do mesmo tamanho.	-Grandes dimensões, ocupa um considerável espaço.

O terceiro protótipo foi adaptado do primeiro, visando custear o equipamento, então para a câmara continua-se utilizando aço galvanizado, cantoneiras de aço e MDF, porém o coletor será de MDF, barateando o projeto, e em vez de vidro será utilizado acrílico transparente. As fixações serão feitas por parafuso, rebites e solda. Possuindo mesmo princípio de funcionamento que o anterior.

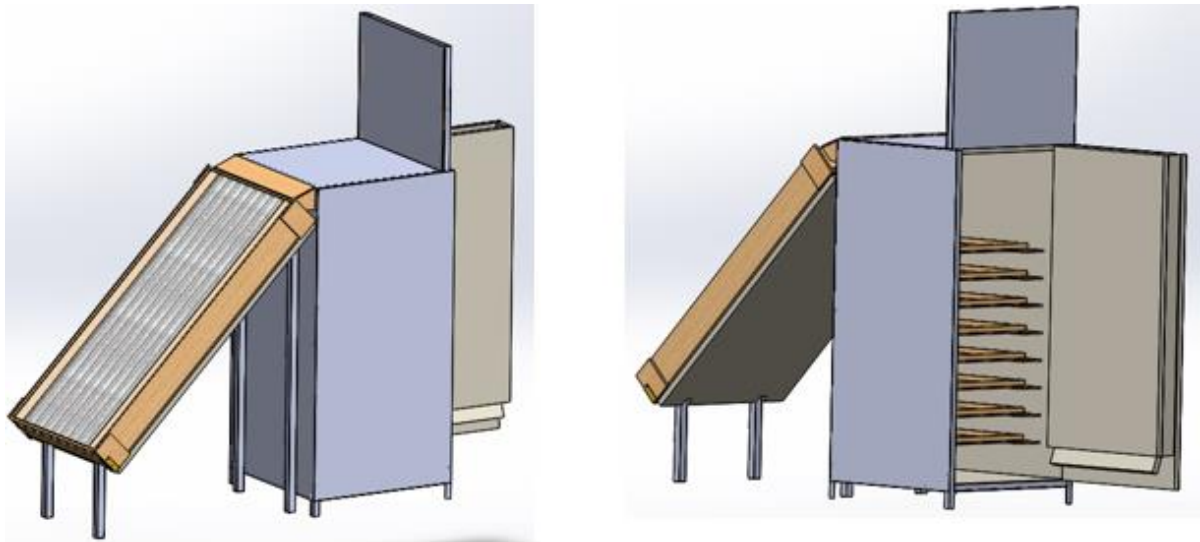


Figura 14 - Modelo 3

Tabela 10- Vantagens e desvantagens do modelo 3

<b>Vantagens do modelo 3:</b>	<b>Desvantagens do modelo 3:</b>
-Alta resistência à chuva e más condições climáticas da câmara de secagem, mas não do coletor, pois este é feito de madeira;	-Menor durabilidade em relação ao modelo 2;
-Alta eficiência de secagem devido ao coletor solar;	- Difícil montagem, necessita de solda;
-Bandejas do mesmo tamanho;	- Grandes dimensões, ocupa um considerável espaço.
-Peso menor do que o do segundo modelo.	

Como foi possível observar, a maior diferença entre os modelos 2 e 3 é sua durabilidade e preço, o modelo 2 é mais caro, porém de maior durabilidade, já o modelo 3 é mais barato e conseqüentemente dura menos. Essas duas diferenças possuem impactos diferentes no projeto, e serão avaliadas para a escolha de qual protótipo seria o mais adequado.

### 3.5 Custos

Os custos de cada protótipo foram feitos a partir de pesquisas em lojas na cidade de Bragança, como Fepronor, lojas AKI e vidraria Bricantel.

O primeiro protótipo teve um custo de:

Tabela 11 - Orçamento do protótipo 1

<b>n° item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Total (€)</b>
<b>1</b>	Acrílico	39,90
<b>2</b>	Placa madeira	55,98
<b>3</b>	Placa madeira	17,99
<b>4</b>	Ripa madeira	17,95
<b>5</b>	Ripa madeira	12,45
<b>6</b>	Verniz	15,98
<b>7</b>	Tinta	41,33
<b>8</b>	*Demais itens	62,78
<b>TOTAL</b>		<b>246,37</b>

\*demais itens (itens abaixo de 10 euros foram listados juntos para simplificação da tabela): lixa, disco de desbaste, disco de corte, broca, parafuso, cola de madeira, pincel, caneta permanente, tela e diluente.

O orçamento final para o protótipo 1 foi de 246,37 euros, valor relativamente baixo, considerando que é feito apenas com madeira. Porém, como esse protótipo não era mais uma opção devido à novos estudos e pesquisas, em que o modelo direto já não proporciona a eficiência requerida para o projeto, o orçamento do segundo protótipo foi feito.

Tabela 12- Orçamento protótipo 2

<b>n° item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Total (€)</b>
<b>1</b>	Chapa galvanizada	75,00
<b>2</b>	Chapa de aço	150,00
<b>3</b>	Chapa ondulada galvanizada	60,00
<b>4</b>	Cantoneira aço	84,00
<b>5</b>	Roofmate	95,94
<b>6</b>	Vidro	79,99
<b>7</b>	Primário	45,92
<b>8</b>	Tinta	41,33
<b>9</b>	*Demais itens	180,06
<b>TOTAL</b>		<b>812,24</b>

\*demais itens (itens abaixo de 40 euros foram listados juntos para simplificação da tabela): varão de seção quadrada, dobradiça porta, dobradiça entrada de ar, rebite, lixa, disco de desbaste, disco de corte, broca, pino de travamento da porta, puxador, cola, cola de madeira, ripas de madeira, verniz, pincel, caneta permanente, tela e diluente.

O orçamento final do segundo modelo foi feito. A princípio todos os materiais de construção da câmara e coletor seriam de metal, visto que suportam melhor a chuva e as condições ambientes. Porém, como se pode observar na tabela 11, o valor total final extrapolou o orçamento inicial de no máximo 600 euros e ficou fora de cogitação.

Então, foi pensado em alternativas para diminuir o custo do protótipo. Primeiramente, foram encontrados os itens de maior valor no orçamento e que poderiam ser substituídos por outros materiais ou até mesmo excluídos do projeto. Foram encontrados 5 itens de maior valor e que fizeram com que o orçamento aumentasse: as chapas de metal para a estrutura do coletor e fabricação das prateleiras da câmara, as cantoneiras de aço para a fabricação da estrutura da câmara, o roofmate isolante da câmara e coletor, o vidro para a proteção do coletor e o primário para a preparação da superfície que irá receber a tinta.

Após a análise e pequenas mudanças realizadas no projeto, foram encontradas medidas que diminuiriam os custos da máquina.

Tabela 13 - Comparativo de substituição de materiais nos protótipos 2 e 3

<b>Material</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>Material</b>	<b>Valor (€)</b>
Chapa de aço	150,00	Madeira	63,97
Cantoneira de aço 50x50x5	84,00	Cantoneira de aço 40x40x4	42,00
Roofmate 50 mm de espessura	95,94	Roofmate 40 mm de espessura	65,36
Vidro	80,00	Acrílico	39,99
Primário	45,92	Preparação manual da superfície	0,00
<b>Total</b>	<b>455,86</b>	<b>Total</b>	<b>211,32</b>

Essas foram as principais mudanças feitas no protótipo para a diminuição de custos. Primeiramente, materiais que poderiam ser mudados foram alterados para materiais mais baratos e de mais fácil acesso e manuseio, como a troca de aço por madeira e a troca de vidro por acrílico; as dimensões foram trocadas, diminuídas e por consequência, possuem menor preço, alterando apenas milímetros do projeto resultou numa economia de mais de 70 euros. A limpeza do material a ser pintado e o tratamento da superfície já excluem o uso do primário, o que diminui mais de 40 euros no orçamento. Após todas as alterações feitas, chegou-se numa economia de 244,54 euros, praticamente metade do valor atual do orçamento do protótipo.

Então, baseando-se nessas mudanças, foi projetado o protótipo 3, o qual possui orçamento listado abaixo:

Tabela 14 - Orçamento protótipo 3

<b>Nº item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	Chapa galvanizada	75,00
<b>2</b>	Chapa ondulada galvanizada	30,00
<b>3</b>	Cantoneira aço	42,00
<b>4</b>	Roofmate	65,46
<b>5</b>	Acrílico	40,00
<b>6</b>	Tinta	41,33
<b>7</b>	*Demais itens	263,93
<b>TOTAL</b>		<b>557,72</b>

\*demais itens (itens abaixo de 30 euros foram listados juntos para simplificação da tabela): varão de seção quadrada, placa de MDF, dobradiça porta, dobradiça entrada de ar, esquadro, rebite, lixa, disco de desbaste, disco de corte, broca, parafuso, pino de travamento da porta, puxador, cola, cola de madeira, ripa de madeira, verniz, pincel, vedante de silicone de alta temperatura, caneta permanente, tela e diluente.

Observa-se na tabela 13 que com a mudança de material alguns elementos de fixação foram modificados, assim como a dimensão de alguns componentes, como as bandejas, resultando em valores ligeiramente diferentes do original, porém não foram tão significativos para uma alteração drástica no valor do protótipo.

### **3.6 Casa da qualidade**

Com todos os desenhos e projetos prontos, então, uma análise detalhada é feita para a escolha de um só protótipo. Vários requisitos do projeto são analisados, assim como suas características, aplicando pesos em cada um para chegar à uma pontuação final. O protótipo que receber a maior pontuação será o escolhido.

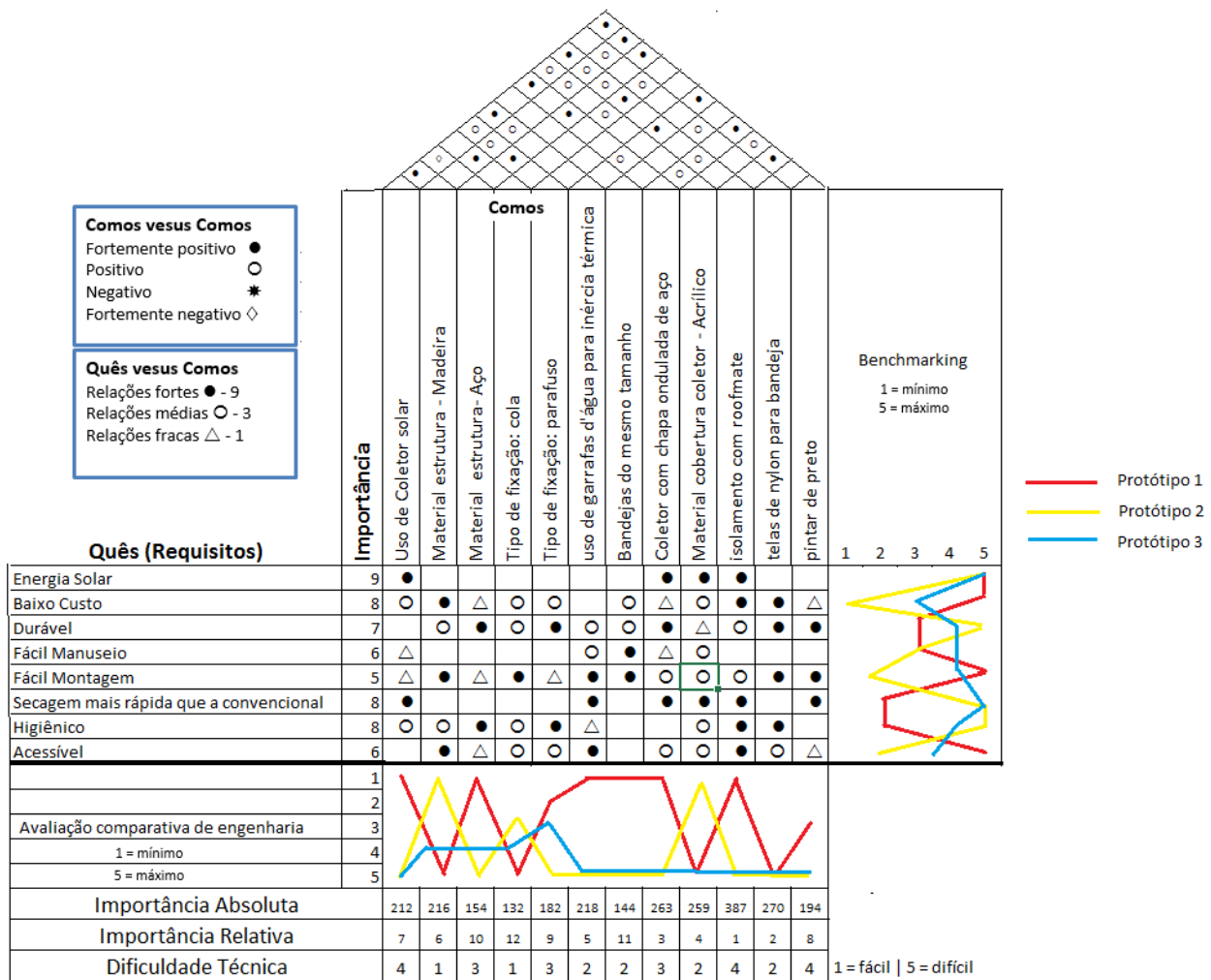


Figura 15 -Casa da qualidade

Para leitura do gráfico é importante focar nas linhas, que representam cada protótipo e quais se aproximam mais da importância absoluta e do nível 5 do item benchmarking. Quanto maior a importância absoluta, melhor será se o protótipo possuir a linha que chega mais próximo à ela.

Outro aspecto importante a ser levado em consideração são os símbolos no meio da matriz, que indicam as relações que cada problema tem com cada solução. Por exemplo, o problema “durável” indica a durabilidade do produto, a qual precisa ser alta. As soluções, que são nomeadas de “comos”, são classificadas de acordo com a relação que elas possuem com cada problema. A solução “material da estrutura – madeira” indica que o protótipo será construído com esse material, no caso, menos durável do que o aço. Para classificarmos, então, a madeira, se relacionada com durabilidade, possui uma relação média, já o aço possui uma relação forte. Porém, em outros aspectos, como custo, por exemplo, a madeira possui relação forte e o aço possui relação média.

Cada problema recebe um nível de importância, visto que existem problemas mais importantes do que outros, como o custo ser muito mais importante do que fácil montagem. Então, a cada problema

relacionado com uma solução, sua importância é multiplicada pela relação que essa solução possui com o problema. Por exemplo, o problema “energia solar” relacionado com a solução “uso de coletor solar” possui uma pontuação de alta de importância, visto que o coletor solar é uma característica importante em um projeto que utiliza a luz do sol como fonte de energia. Já, se compararmos ao uso de coletor solar com a relação que possui com o tipo de fixação, os dois não possuem relação, então não será somada uma pontuação a essa relação de problema versus solução. Após todos os problemas e solução serem relacionados, a pontuação de importância de todas as soluções é somada resultando no item “importância absoluta”. Por isso que quanto mais cada protótipo chegar perto de “5” em “avaliação de engenharia”, com soluções de maior importância absoluta melhor o protótipo será.

Isso também acontece com o benchmarking, que é classificado em um nível de 0 a 5, em que 5 é o quanto mais o protótipo consegue solucionar aquele problema.

Após esse estudo da casa da qualidade pôde-se observar que o protótipo 3 conseguiu se encaixar melhor nas especificações requeridas do projeto, a curva de ambos os gráficos se aproxima mais das pontuações máximas. Isso quer dizer que esse protótipo possui um número grande de soluções de alta pontuação no item “importância absoluta” e também no benchmarking conseguiu se aproximar mais dos maiores níveis de solução para os problemas apresentados.

### **3.7 Escolha do protótipo final**

Então, a partir de todas as ferramentas e orçamentos apresentados, o projeto final será baseado no protótipo 3, visto que possui um custo médio, o qual se encaixa nas especificações, possui materiais acessíveis em sua maioria, e uma grande eficiência se comparado aos outros modelos. Além de seguir as especificações do cliente, ser totalmente sustentável, acessível, barato e eficiente.

### **3.8 Cálculos e validação do protótipo**

A partir dos cálculos apresentados no tópico 2.10 dessa tese, foi realizada uma tabela com todos os valores e suas referências. A carta psicrométrica encontra-se na figura 16.

Tabela 15 - Resultado dos cálculos

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência</b>
Quantidade de humidade a ser retirada do alimento ( $m_w$ )	18,42 kg	Equação (1)
Massa inicial do alimento ( $m_p$ )	25 kg	Dado fornecido pelo cliente
Humidade inicial do alimento ( $M_i$ )	80%	Bibliografia [14]
Humidade final do alimento ( $M_f$ )	24%	Bibliografia [14]
Atividade da água ( $a_w$ )	0,6722	Equação (2)
Humidade relativa inicial de secagem ( $RH_i$ )	30%	Carta psicrométrica
Humidade relativa final de secagem ( $ERH$ )	67,22%	Equação (3)
Temperatura inicial de secagem ( $T_{si}$ )	55 °C	Bibliografia [1]
Temperatura final de secagem ( $T_{sf}$ )	29 °C	Carta psicrométrica
Energia total requerida para a secagem ( $E$ )	47.076,02 kJ	Equação (4)
Caudal mássico ( $\dot{m}$ )	127,92 kg/hr	Equação (6)
Entalpia final de secagem do ar ( $h_f$ )	70 kJ/kg	Carta psicrométrica
Entalpia inicial de secagem do ar ( $h_i$ )	47 kJ/kg	Carta psicrométrica
Tempo de secagem ( $t_d$ )	16 horas	Dado fornecido pelo cliente (2 dias de secagem com 8 horas de sol aproveitáveis a cada dia)
Caudal mássico de secagem ( $m_{dr}$ )	0,6578 kg/hr	Equação (5)
Humidade absoluta final ( $w_f$ )	0,0165 kg $H_2O$ / kg ar seco	Carta psicrométrica
Humidade absoluta inicial ( $w_i$ )	0,0075 kg $H_2O$ / kg ar seco	Carta psicrométrica
Energia útil do coletor ( $Q_u$ )	127.690,6 kJ	Equação (7)
Área do coletor exposta a radiação ( $A_c$ )	2 $m^2$	Geometria do coletor
Fator de remoção do coletor ( $F_R$ )	0,01246	Equação (8)
Radiação absorvida pelo coletor ( $S$ )	88.888,88 $W/m^2$	Multiplicação de $G$ e $\tau\alpha$
Transmitância ( $\tau\alpha$ )	0,8	Para pintura preto fosca e cobertura transparente
Caudal mássico do ar no coletor ( $\dot{m}_{ar}$ )	1,15 kg/s	Equação (9)
Velocidade do vento ( $v$ )	2,22 $m/s$	Referência web [1.6]
Densidade do ar ( $\rho$ )	1,16 $kg/m^3$	Bibliografia [10]
Área transversal de entrada do coletor ( $A_t$ )	0,03173 $m^2$	9 furos de diâmetro 0,067 m

Coeficiente global de perda de calor ( $U_L$ )	2.090,68 W/m <sup>2</sup> K	Equação (14)
Temperatura de entrada do ar no coletor ( $T_i$ )	28 °C	Referência web [1.7]
Temperatura ambiente ( $T_a$ )	28°C	Referência web [1.7]
Temperatura de saída do fluido ( $T_{fo}$ )	55 °C	Bibliografia [1]
Temperatura de entrada do fluido ( $T_{fi}$ )	28 °C	Bibliografia [1]
Potência térmica perdida pelo coletor ( $P_p$ )	175.569,93 W	Equação (10)
Potência absorvida pelo coletor ( $P_{abs}$ )	177.777,77 W	Equação (11)
Absortividade da placa ( $\alpha_p$ )	0,65	Bibliografia [10]
Irradiação solar ( $G$ )	111.111,11 W/m <sup>2</sup>	Referência web [1.6]
Potência útil transferida ao fluido ( $P_u$ )	2.216,85 W	Equação (12)
Calor específico do fluido ( $c_p$ )	1004,8 J/kg.K	Bibliografia [10]
Diferença de temperaturas de entrada e saída do coletor, ( $\Delta T$ )	27 °C	Subtração de $T_{fo}$ e $T_{fi}$
Coeficiente de perda de calor superior ( $U_F$ )	2.090,01 W/m <sup>2</sup>	Equação (13)
Temperatura média da placa absorvedora ( $T_{pm}$ )	70 °C	Suposição
Energia perdida pela parte inferior do coletor ( $U_i$ )	0,675 W/m <sup>2</sup>	Equação (14)
Condutividade térmica da camada inferior do coletor – roofmate ( $k$ )	0,027 W/m.K	Bibliografia [10]
Espessura da camada inferior do coletor ( $L_i$ )	0,04 m	Geometria do coletor
Estimativa da energia armazenada pelas garrafas ( $E_c$ )	80.614,55 kJ	Equação (16)

Como pôde-se observar através da tabela 15, a energia requerida para a secagem do alimento é de aproximadamente 48 MJ, enquanto a energia fornecida pelo coletor em 16 horas de sol (2 dias) é de aproximadamente 128 MJ, portanto, o coletor consegue suprir a quantidade de calor necessária para a secagem.

Além disso, 80 MJ de energia sobram e podem ser armazenados pelas garrafas de água, podendo continuar a secagem nos períodos noturnos, sem a presença do sol.

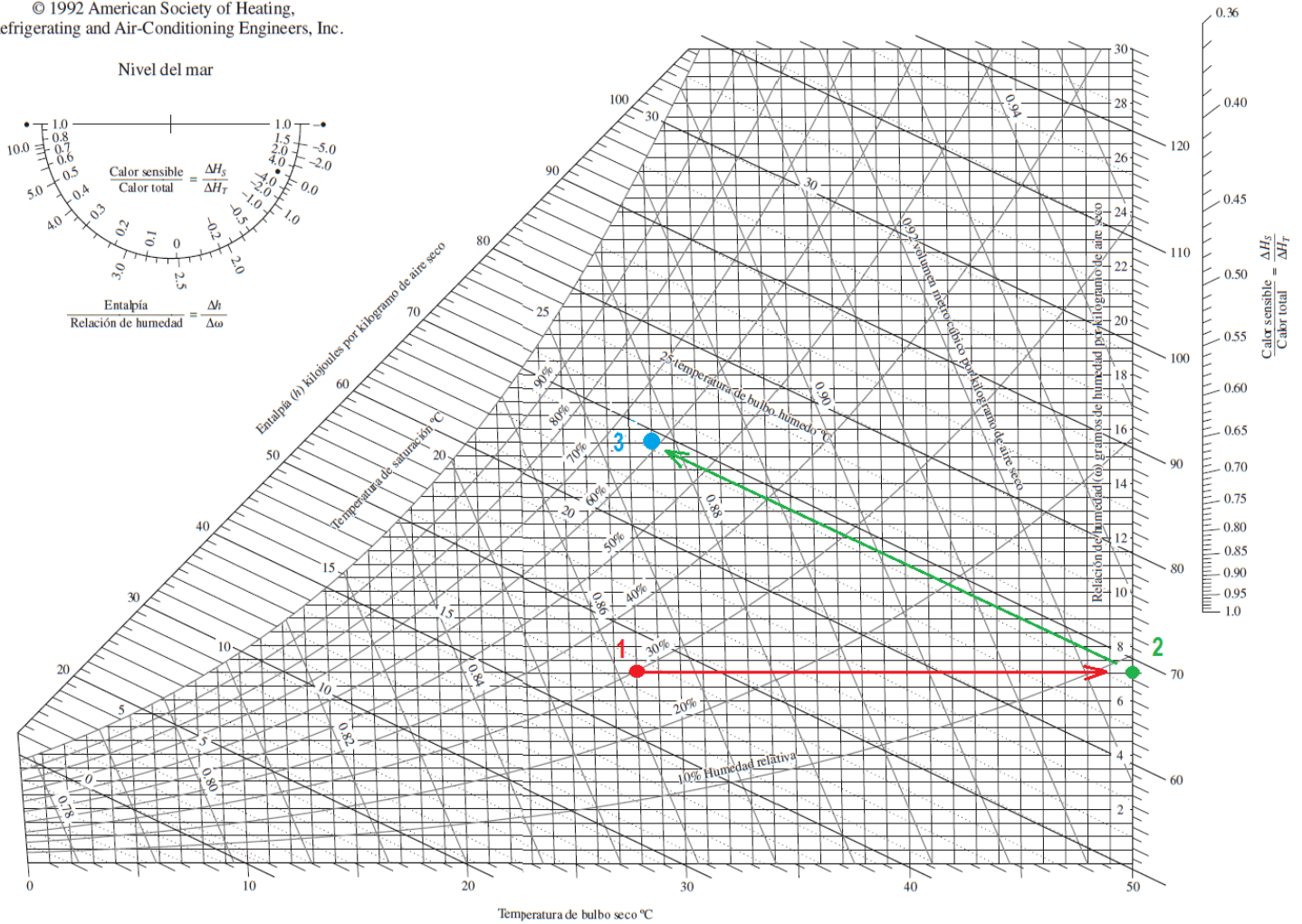


Figura 16 - Evolução dos estados do ar

Fonte: carta psicrométrica de *Termodinámica* [21]

A carta psicrométrica da figura 16 mostra os principais pontos encontrados para os cálculos e como foram encontrados:

- 1 – O ponto 1 demonstra o estado do ar antes de entrar no coletor em condições ambientes. Fazem parte desse ponto  $RH_i$ ,  $w_i$ ,  $h_i$  e  $T_{fi}$ .
- 2 – O ponto 2 representa o ar já aquecido pelo coletor na temperatura  $T_{fo}$ .
- 3 – O ponto 3 representa o ar após a secagem através de um processo isentálpico. Fazem parte desse ponto  $ERH$ ,  $w_f$ ,  $h_f$  e  $T_{sf}$ .

No processo 1-2, o ar é aquecido pelo coletor mantendo a humidade absoluta, diminuindo a humidade relativa e aumentando a temperatura. Após isso, em 2-3, o ar arrefece e coleta humidade do

alimento em um processo de entalpia constante, no qual aumenta a umidade absoluta e diminui a temperatura.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Princípio de funcionamento do protótipo**

O projeto de secagem consiste em 3 etapas:

1ª etapa: A primeira etapa consiste na entrada de ar no coletor para fazer o aquecimento antes dele entrar na câmara de secagem. No coletor há a presença de garrafas de água para o acúmulo de energia térmica, a fim de que após o sol se pôr, o calor ainda poderá ser liberado para o ar que está entrando no coletor. Chapas onduladas simulando tubos também são posicionadas entre o acrílico e as garrafas para aumentar o contato do ar gelado com as placas quentes e assim aquecê-lo.

2ª etapa: Após o ar ser aquecido dentro do coletor solar, ele entra na câmara de secagem através da abertura frontal conectada ao coletor, perdendo a menor quantidade de ar possível no processo. Então, o ar já aquecido entra e é forçado a descer absorvendo umidade do alimento durante o processo. O ar, que coleta bastante umidade em sua descida, se encontra mais denso e desce até o túnel abaixo das prateleiras e bandejas que está conectado à chaminé e à um túnel de menor diâmetro hidráulico.

3ª etapa: Posteriormente, o ar já mais frio e úmido tende a subir pelo túnel ligado à chaminé devido à diminuição do diâmetro hidráulico da trajetória do ar. Para auxiliar a tiragem da chaminé, esta é pintada de preto para absorver mais calor promovendo uma depressão na parte superior da chaminé facilitando o escoamento natural do ar úmido.

Todas essas etapas do fluxo de ar estão demonstradas na figura 17:

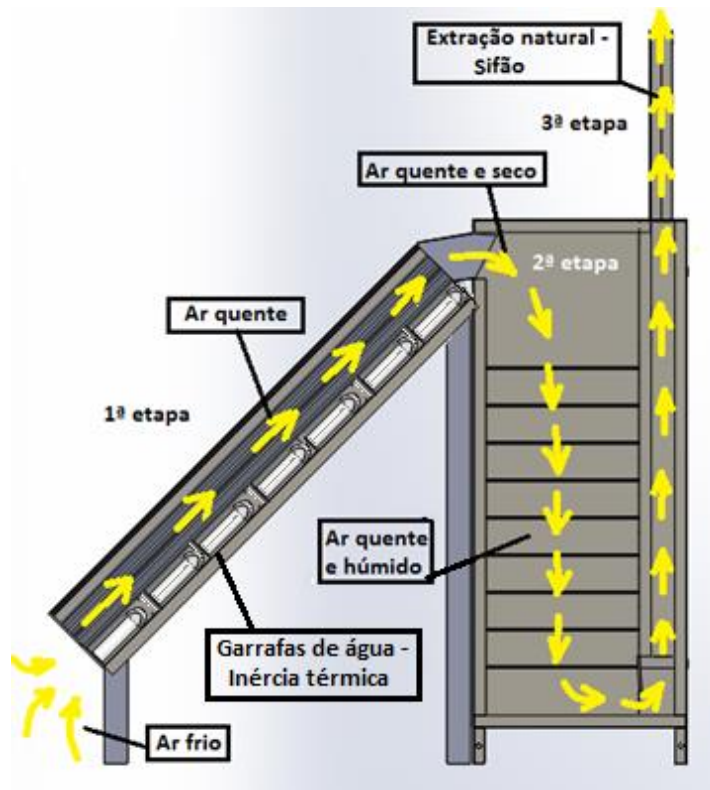


Figura 17- Princípio de funcionamento do secador

O modo de transferência de calor utilizado no protótipo é a convecção natural, visto que não nenhum elemento a forçar o fluxo de ar para dentro do coletor e da câmara de secagem. Foi escolhido esse tipo de convecção pois o uso de energia no projeto é apenas renovável, ou seja, energia elétrica não era uma opção.

O fluxo de calor que percorre o coletor e a câmara de secagem é regido pela diferença de temperatura de dentro da câmara (fria) com a ar que entra nela (quente), visto que a densidade do ar quente é menor do que a do ar frio, porém o ar desce devido à humidade que coletou dos alimentos com que teve contato dentro da câmara.

## 4.2 Projeto mecânico final

Com a escolha do protótipo final a partir das ferramentas já utilizadas e explicadas no tópico anterior, pode-se entender melhor o funcionamento da máquina e também visualizar o projeto e cada parte específica do protótipo.

### Câmara de secagem

A câmara de secagem é constituída por cantoneiras de aço e chapas rebitadas de aço galvanizado, revestido por roofmate isolante colado na parte de dentro. As prateleiras são feitas de madeira e são coladas nas chapas de aço. As dimensões são: comprimento (C): 1 m; altura (A): 2,1 m;

largura (L): 1 m e altura da chaminé (AC): 0,8 m. A entrada de ar possui 0,1 m de altura por 0,920 m de largura. A área transversal da chaminé é dada pela medida de 0,05 m por 1 m.

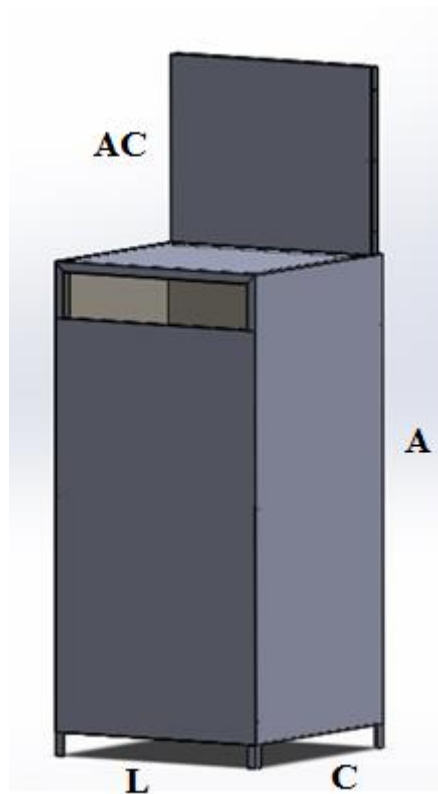


Figura 18 - Dimensões da câmara de secagem

Tabela 16 - Lista de componentes da câmara

<b>Nº item</b>	<b>Descrição</b>
1	Chapa de aço galvanizado da chaminé
2	Estrutura de madeira e aço da chaminé
3	Corredor de ar de roofmate colado na porta
4	Porta de capa de aço galvanizado
5	Roofmate isolante das laterais
6	Prateleira de MDF
7	Lateral de chapa de aço galvanizado
8	Estrutura feita de cantoneiras soldadas
9	Teto de chapa de aço galvanizado
10	Roofmate isolante do teto
11	Parte frontal de chapa de aço galvanizado
12	Roofmate isolante da parte frontal
13	Roofmate isolante da base
14	Base de chapa de aço galvanizado

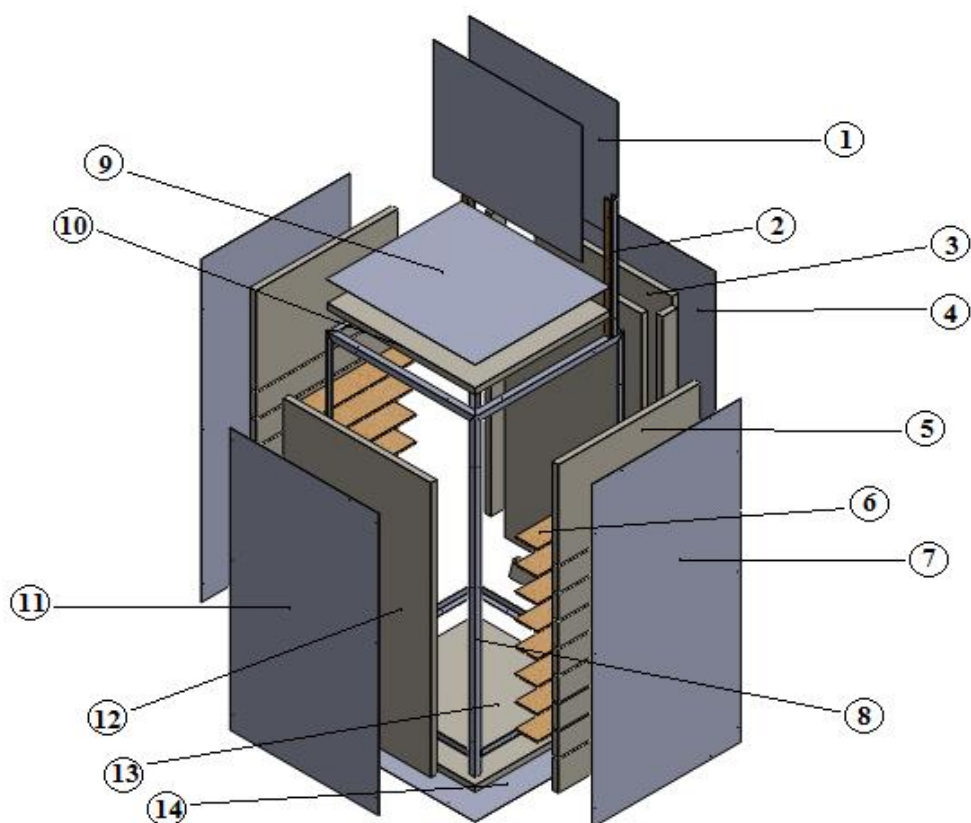


Figura 19- Componentes da câmara de secagem

Na câmara também há três dobradiças nas portas, permitindo sua livre movimentação e duas na entrada no corredor de ar, o que permite controlar o fluxo de ar vindo das prateleiras, controlado por servomotores e sensores, que não serão apresentados. Existe também um puxador aparafusado na porta para abrir e fechá-la.

A seguir, na figura 20, é apresentada uma vista mais detalhada do corredor de ar, que se conecta com a chaminé quando a porta é fechada. E também pode-se observar melhor o interior da câmara. As prateleiras possuem dimensão de 0,2 m por 0,7 m.

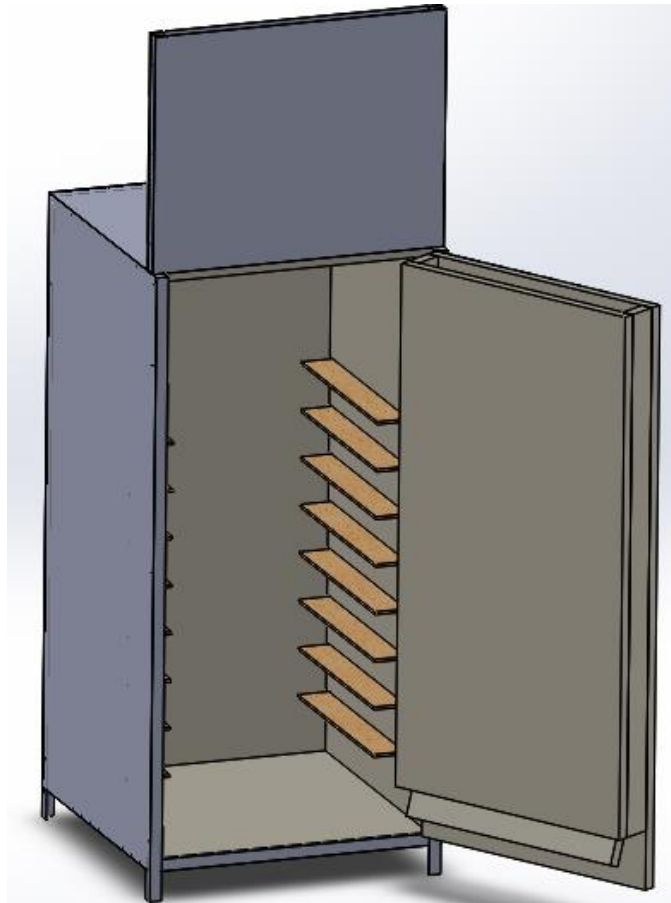


Figura 20 - Vista detalhada de dentro da câmara

### **Coletor solar**

O coletor solar é constituído por placas de MDF na sua estrutura, quatro chapas de aço galvanizado onduladas posicionadas umas contra as outras para simular tubos, varões de seção quadrada para a sustentação junto com duas cantoneiras para apoio do coletor, uma placa de roofmate retangular na base do coletor para isolamento, garrafas de água são colocadas em prateleiras abaixo das chapas onduladas para armazenamento de água e por fim uma placa de acrílico transparente é posicionada no topo fixada por duas placas de MDF e cuidadosamente parafusada para a entrada de raios solares. As fixações serão feitas por pregos e cola de madeira. A inclinação do coletor é de  $45^\circ$  visto a latitude média da cidade de Bragança. As dimensões são: comprimento (C): 2 m; altura (A): 0,225 m; largura (L): 1 m e altura total do coletor (AC): 2,055 m.

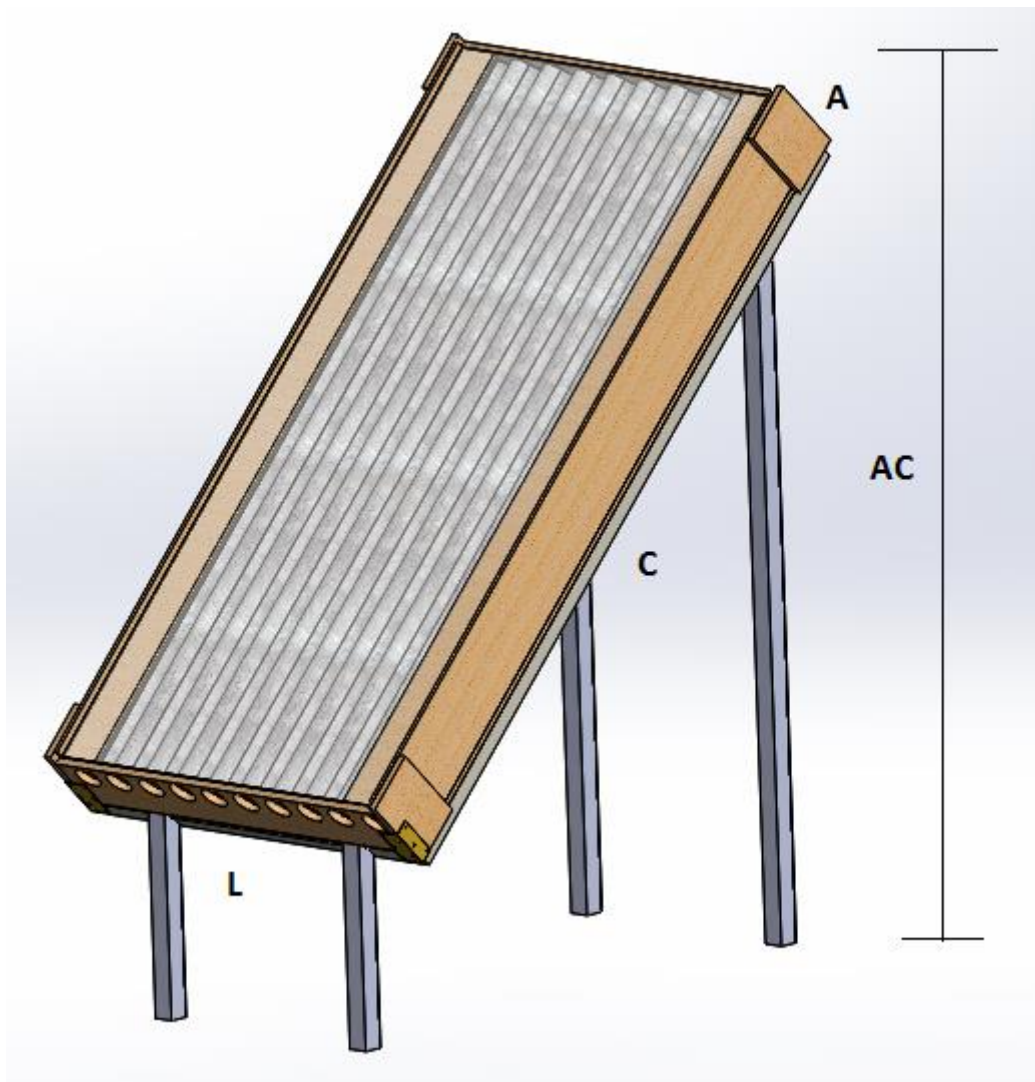


Figura 21- Dimensões do coletor solar

Tabela 17- Lista de componentes do coletor solar

Nº item	Descrição
1	Placa de acrílico
2	Placas onduladas posicionadas simulando tubos
3	Garrafas de água para armazenamento de energia na forma de calor
4	Roofmate isolante da base
5	Prateleira de MDF para fixação da placa de acrílico
6	Base de MDF para apoiar toda a estrutura
7	Prateleiras em MDF para apoio das garrafas
8	Lateral em MDF
9	Cantoneiras de apoio ao coletor
10	Varões de seção quadrada como suporte a todo o coletor

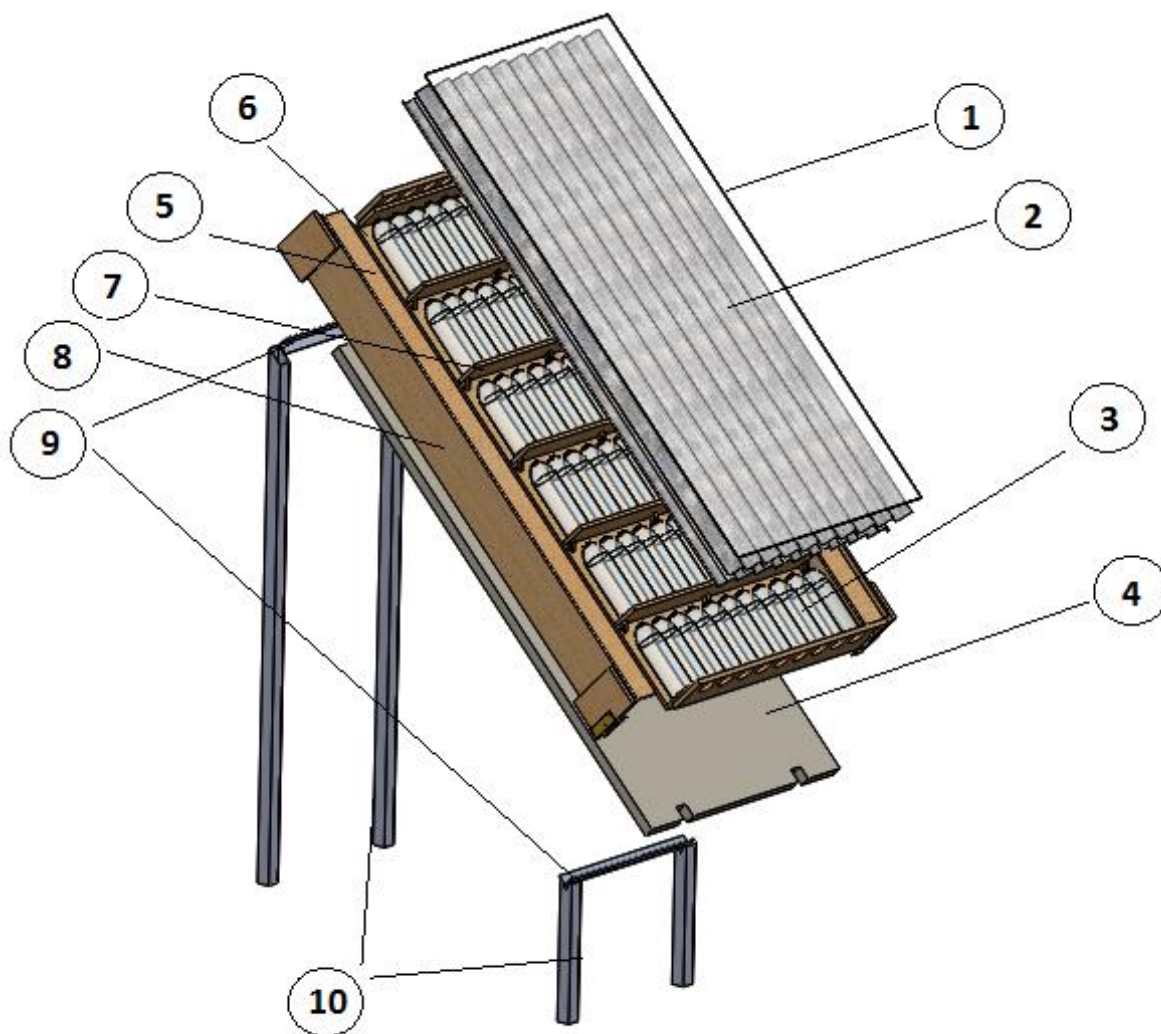


Figura 22- Componentes do coletor solar

A vista transversal do coletor é representada na figura a seguir:

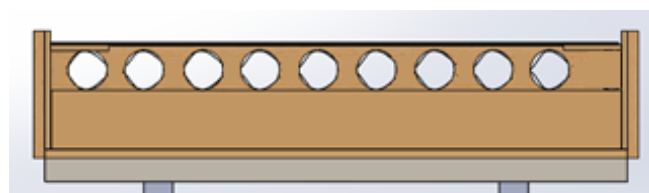


Figura 23 - Vista transversal da entrada de ar

Chapas de MDF são cortadas com furos circulares para passagem de ar apenas pelos tubos simulados pelas placas onduladas, por onde o ar circula e se aquece enquanto flui pelo coletor. O roofmate na base do coletor tem a função de não deixar o calor ser perdido, ele chega até as garrafas de água onde é armazenado. O diâmetro dos tubos formados é de 67 mm cada, existindo 9 círculos inteiros devido à geometria das placas.

A vista de corte lateral do coletor é mostrada na figura 24:

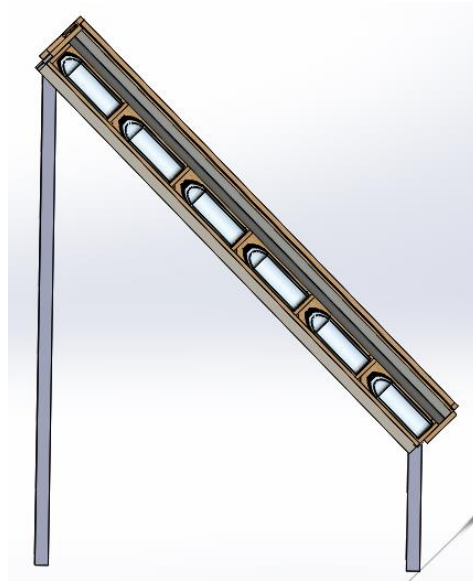


Figura 24- Vista do corte lateral do coletor

A partir da figura 24 observa-se as garrafas dispostas em fileiras separadas pelas prateleiras, as duas placas onduladas entram em contato direto com as garrafas, sem separações.

Na figura 25, é demonstrado em detalhes as garrafas enfileiradas e separadas por prateleiras. No total são 66 garrafas de água de 1,5 L cada, totalizando 99 L de água para armazenamento de calor. Essa quantidade de água é muito alta e servirá para guardar o calor captado durante o dia, para continuar a aquecer o ar durante a noite.

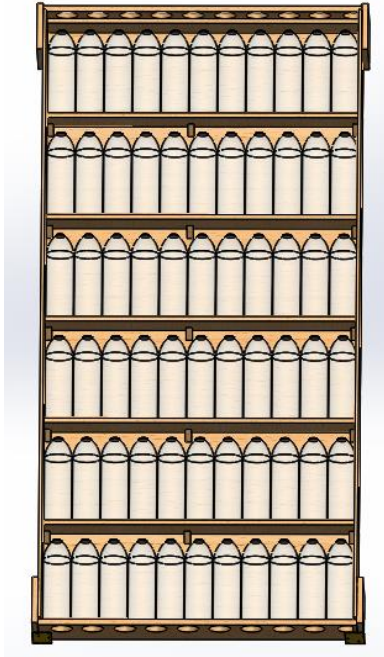


Figura 25 - Vista do coletor com as garrafas de água

### **Bandejas**

As bandejas são feitas de ripas de madeira, coladas e pregadas umas as outras, posicionando a tela de nylon entre duas ripas para sua fixação. As dimensões são: comprimento (C):0,7 m; altura (A): 0,042 m e largura (L):0,6 m.

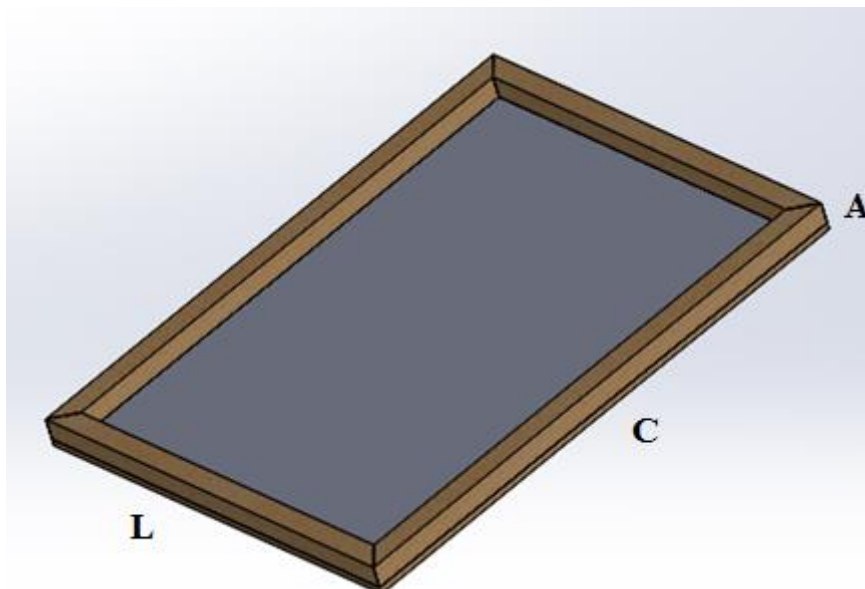


Figura 26 - Dimensões da bandeja

Tabela 18 - Lista de componentes da bandeja

Nº item	Descrição
1	Parte de cima da bandeja construída com quatro ripas de madeira
2	Tela de nylon para colocar o alimento
3	Parte de baixo da bandeja construída com quatro ripas de madeira

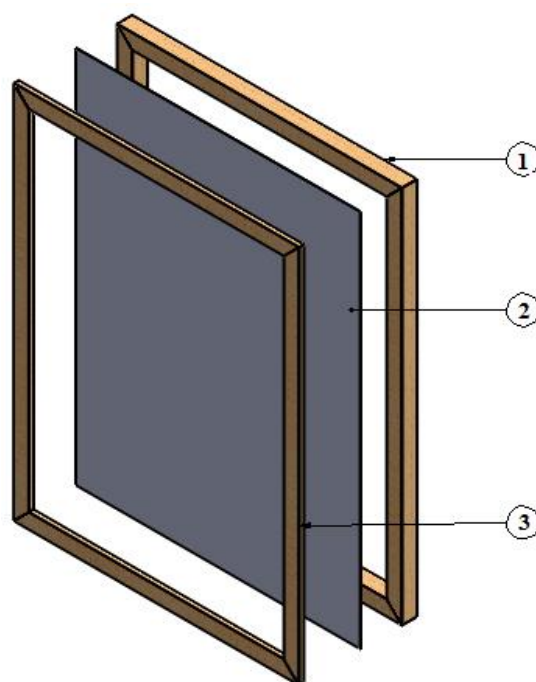


Figura 27 - Componentes da bandeja

Nas figuras a seguir é demonstrado o projeto do protótipo final com as bandejas dispostas em todas as prateleiras.

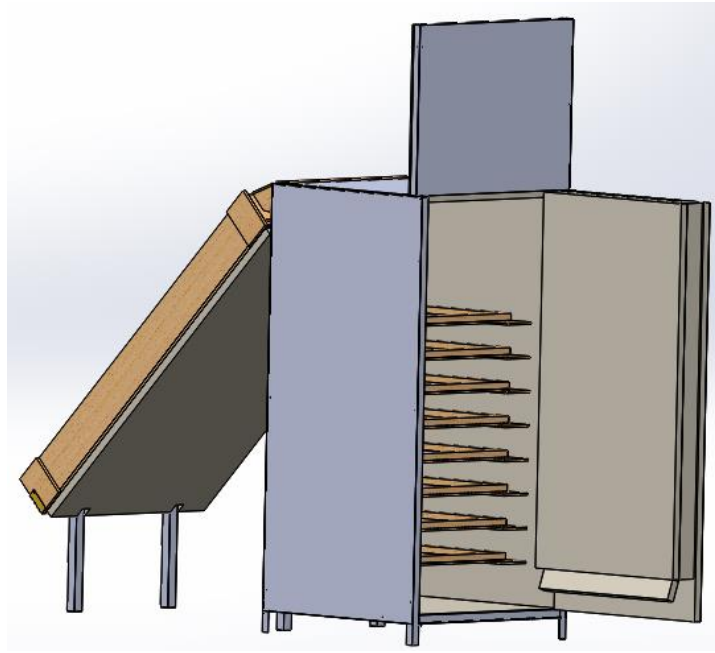


Figura 28 - Protótipo final com as bandejas

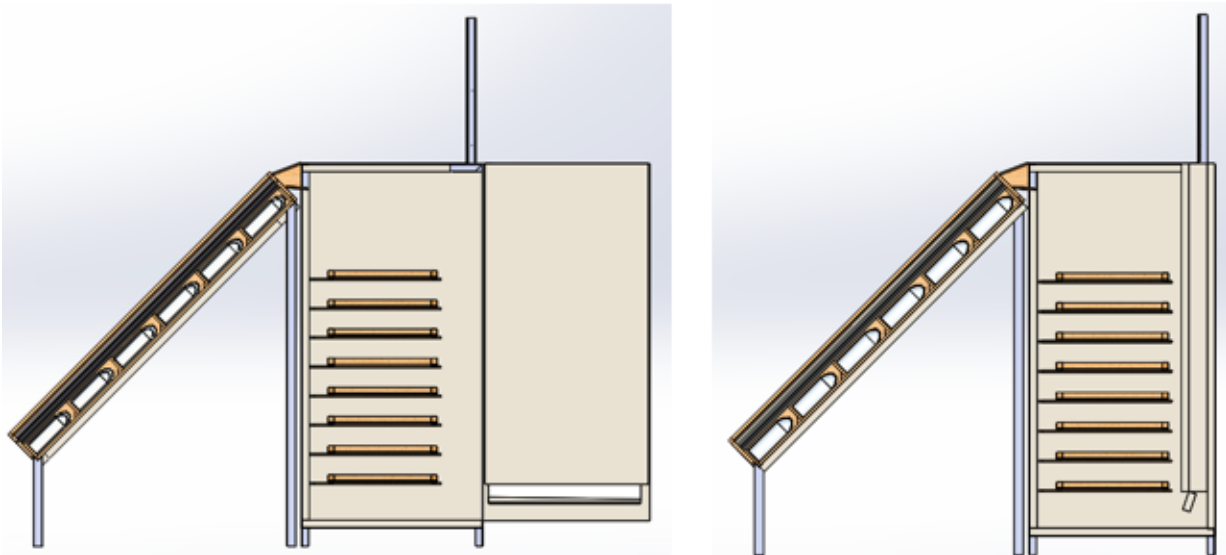


Figura 29 - Vista lateral com corte - esquerda porta aberta, direita- porta fechada

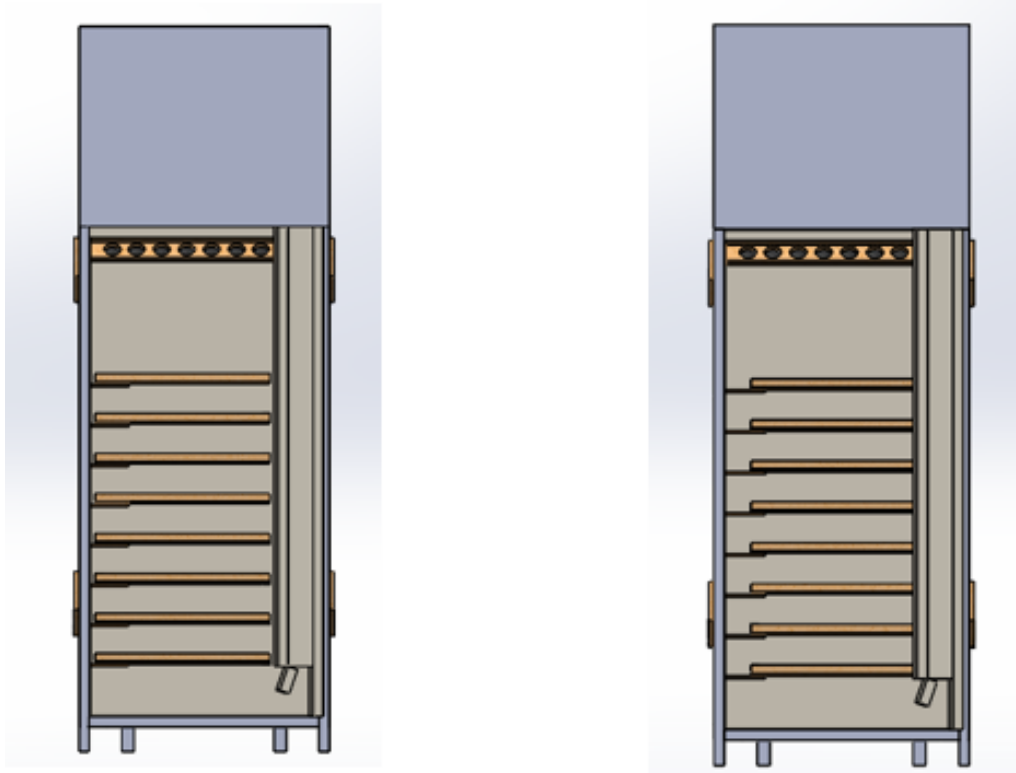


Figura 30 - Esquerda - colocação das bandejas; Direita- encaixe certo das bandejas nas prateleiras

Para colocar a bandeja dentro da câmara com a porta aberta a  $90^\circ$  é preciso colocá-la a pelo menos 20 mm da parede esquerda, e depois, já dentro da câmara, ajustá-la igualmente dos lados.

A distância das bandejas com a parede frontal e a porta da câmara somam um total de 170 mm, podendo ser distribuído de acordo com a profundidade que é colocada a bandeja nas prateleiras, já distância entre as laterais com as bandejas não é muito relevante pois existem as prateleiras que bloqueiam a passagem de ar pelas laterais.

Sobre a modularidade do protótipo, basta apenas aparafusá-los nas cantoneiras dos pés e chaminé. A abertura das portas precisa ser de  $90^\circ$  para não atrapalhar na abertura da porta ao lado.

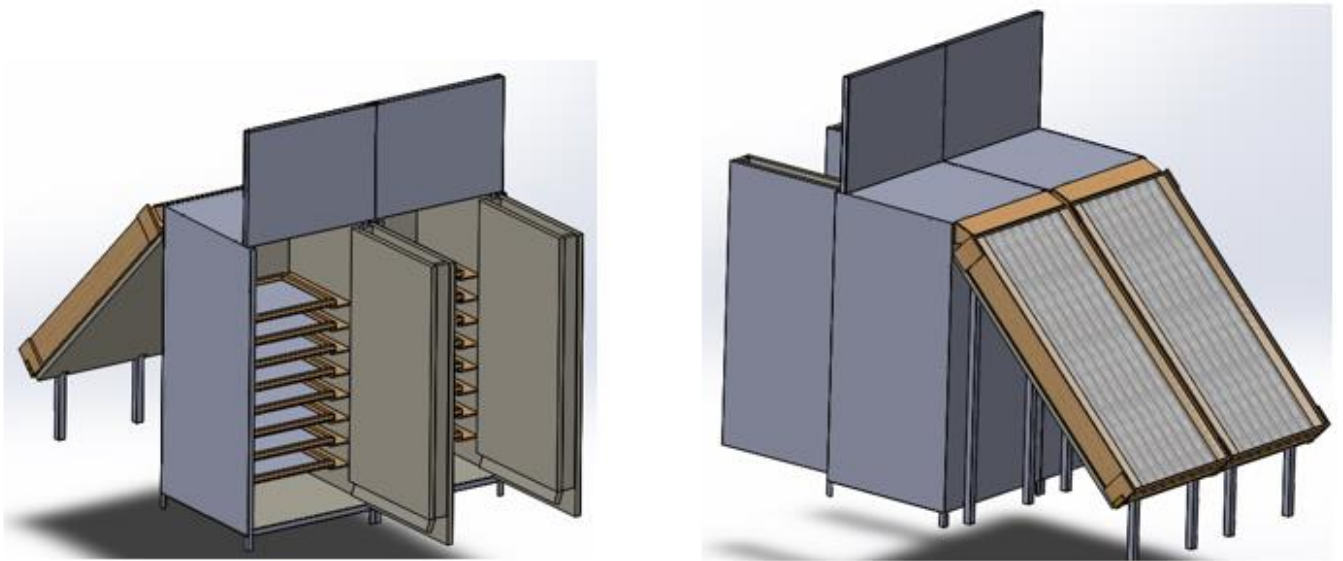


Figura 31 - Demonstração da modularidade do protótipo

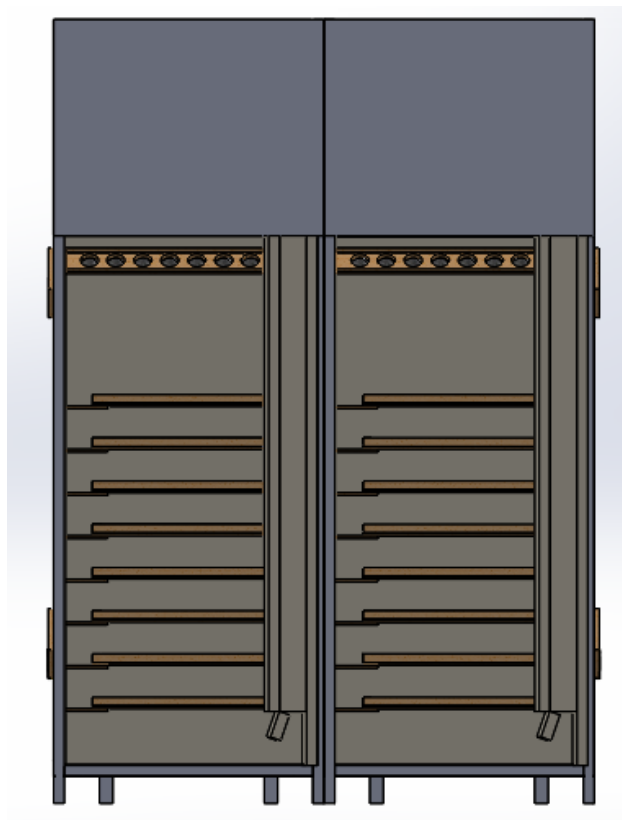


Figura 32- Vista de trás com as portas abertas

### 4.3 Lista de peças

Lista de peças com suas dimensões específicas e quantidade necessária:

#### Câmara de secagem:

Tabela 19 - Lista de peças da câmara de secagem

<b>n° item</b>	<b>Peça</b>	<b>Material</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Quantidade</b>
1	Cantoneira	Aço 275	40x40x2300	4
2	Cantoneira	Aço 275	40x40x1000	3
3	Cantoneira	Aço 275	40x40x920	4
4	Cantoneira	Aço 275	40x40x800	2
5	Chapa	aço galvanizado	2000x1000x0,5	2
6	Chapa	aço galvanizado	1873x1000x0,5	1
7	Chapa	aço galvanizado	1000x1000x0,5	1
8	Chapa	aço galvanizado	1000x910x0,5	1
9	Chapa	aço galvanizado	1000x800x0,5	2
10	Chapa	aço galvanizado	1960x920x0,5	1
11	Roofmate	Roofmate	992x992x40	1
12	Roofmate	Roofmate	1715x992x40	1
13	Roofmate	Roofmate	1912x952x40	2
14	Roofmate	Roofmate	992x816x40	1
15	Roofmate	Roofmate	1960x920x40	1
16	Roofmate	Roofmate	1760x900x40	1
17	Roofmate	Roofmate	1760x100x40	2
18	Roofmate	Roofmate	840x100x40	1
19	Prateleira	MDF	700x200x10	16
20	Dobradiça porta	aço zincado	85x40	3
21	Dobradiça entrada de ar	aço zincado	90x50	4
22	Rebite	aço	Ø3x10	56
23	Parafuso	aço	Ø4x20	48

**Coletor solar:**

Tabela 20 - Lista de peças coletor solar

<b>n° item</b>	<b>Peça</b>	<b>Material</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Quantidade</b>
1	Cantoneira	Aço 275	40x40x660	2
2	Varão de seção quadrada	Aço 275	50x50x1890	2
3	Varão de seção quadrada	Aço 275	50x50x495,8	2
4	Acrílico	Acrílico	1000x2000x2,5	1
5	Chapa ondulada	Aço galvanizado	950x2000x0,5	2
6	Placa	MDF	335x150x16	4
7	Placa entrada de ar	MDF	154x1000x16	2
8	Prateleira garrafa	MDF	100X950X16	7
9	Apoio acrílico	MDF	2000x100x10	2
10	Lateral	MDF	2000x320x10	2
11	Base	MDF	2000x1000x16	1
12	Apoio prateleira	MDF	32x32x20 corte 45°	28
13	Entrada ar	MDF	920x380x10	1
14	Entrada ar	MDF	280X280X10	2
15	Entrada ar	MDF	920X150X10	1
16	Parafuso	aço	Ø4x12	40
17	Parafuso	aço	Ø4x16	40

#### 4.4 Orçamento final

Orçamento final detalhado do protótipo final:

Tabela 21 - Orçamento final do protótipo

<b>Nº item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Total (€)</b>
1	Chapa galvanizada	75,00
2	Chapa ondulada galvanizada	30,00
3	Cantoneira aço	42,00
4	Varão de secção quadrada	17,00
5	Roofmate	65,36
6	Acrílico	39,90
7	Placa madeira MDF	27,99
8	Placa madeira MDF	35,98
9	Dobradiça porta	6,57
10	Dobradiça entrada de ar	6,58
11	Esquadro	10,76
12	Rebite	2,69
13	Lixa	2,32
14	Disco de desbaste	5,19
15	Disco de corte	4,95
16	Broca	2,19
17	Parafuso	2,98
18	Parafuso	2,98
19	Parafuso	4,47
20	Pino travamento porta	2,39
21	Puxador	2,99
22	Cola	11,58
23	Cola madeira	7,98
24	Ripa madeira	35,90
25	Ripa madeira	24,90
26	Verniz	15,98
27	Pincel	1,49
28	Caneta permanente	1,50
29	Tela	9,95
30	Vedante alta temperatura silicone	7,59
31	Diluyente	9,23
32	Tinta	41,33
	<b>Total</b>	<b>557,72</b>

## 4.5 Sequência de montagem

### 4.5.1 Câmara de secagem

A primeira etapa será a construção da câmara de secagem.

Primeiramente algumas cantoneiras serão preparadas com cortes no ângulo de 45° na sua extremidade para a solda das juntas, apenas as localizadas na parte de cima precisam desse corte, as de baixo serão soldadas diretamente. Então, foram enumeradas cada peça e denominadas cada junta para melhor visualização da sequência de soldadura.

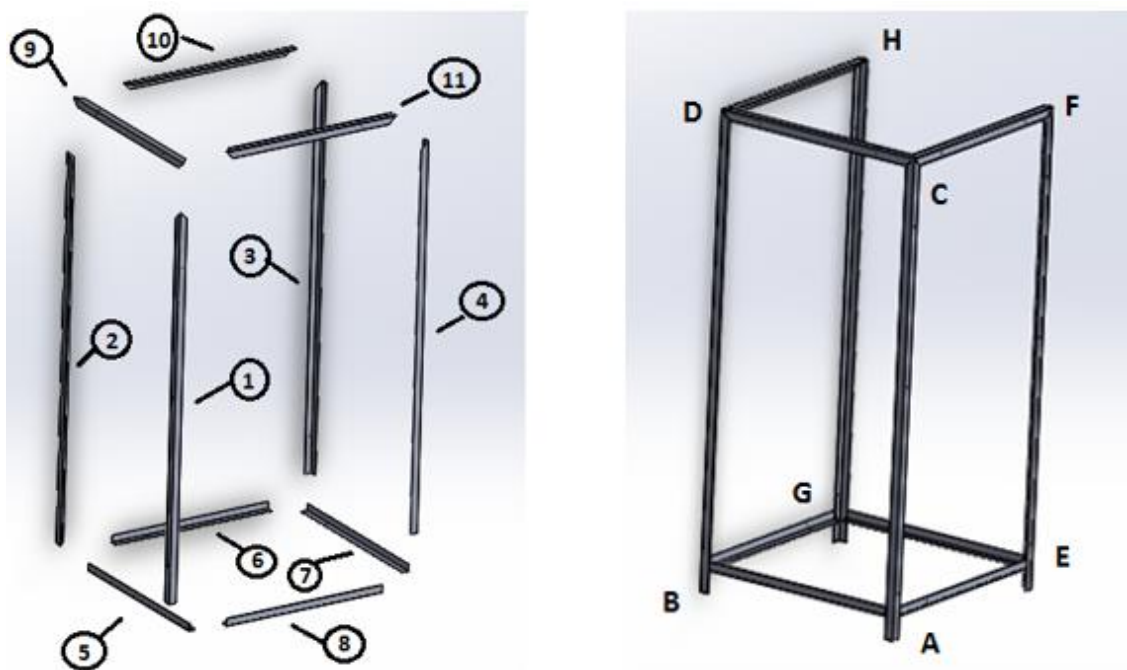


Figura 33 - Esquerda - numeração das cantoneiras; Direita - denominação das juntas

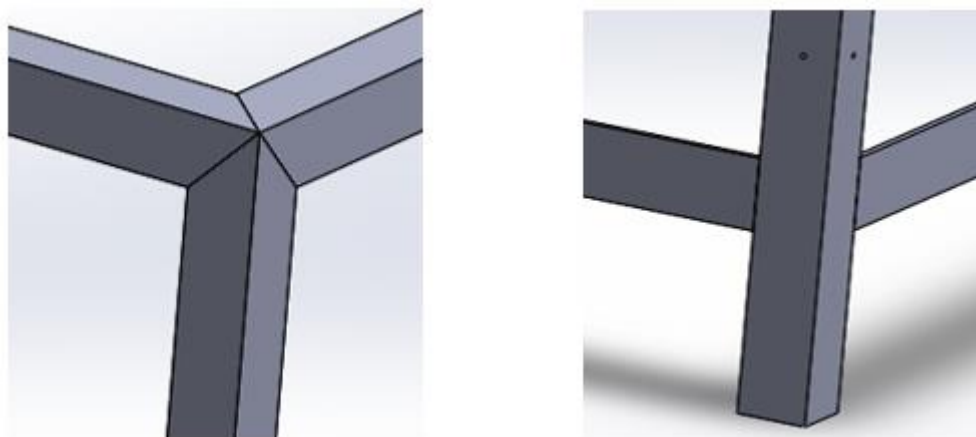


Figura 34 - Representação das juntas superior e inferior

Então, uma tabela de sequência de soldadura foi realizada:

Tabela 22 - Sequência de soldadura

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Junta</b>
I	Pingagem e soldadura da peça 1 à peça 5	A
II	Pingagem e soldadura da peça 2 à peça 5	B
III	Pingagem e soldadura da peça 1 à peça 9	C
IV	Pingagem e soldadura da peça 2 à peça 9	D
V	Pingagem e soldadura da peça 8 à peça 1	A
VI	Pingagem e soldadura da peça 11 às peças 1 e 9	C
VII	Pingagem e soldadura da peça 4 à peça 8	E
VIII	Pingagem e soldadura da peça 4 à peça 11	F
IX	Pingagem e soldadura da peça 6 à peça 2	B
X	Pingagem e soldadura da peça 10 às peças 9 e 2	D
XI	Pingagem e soldadura da peça 3 à peça 6	G
XII	Pingagem e soldadura da peça 3 à peça 10	H
XIII	Pingagem e soldadura da peça 7 à peça 4	E
XIV	Pingagem e soldadura da peça 7 à peça 3	G

Assim, a estrutura final da câmara de secagem será:



Figura 35- Estrutura final soldada

Após a soldadura de todas as peças, a chaminé será adicionada à estrutura. Mais uma cantoneira será soldada na parte de cima e também uma ripa de madeira será colada a essa cantoneira. Não foi utilizada outra cantoneira por questões de economia de material.



Figura 36 – Esquerda -estrutura com chaminé; Direita- detalhe da chaminé

Então, as chapas de aço galvanizado serão furadas e fixadas com rebites nas cantoneiras, apenas as chapas das laterais e base serão fixadas nessa etapa.

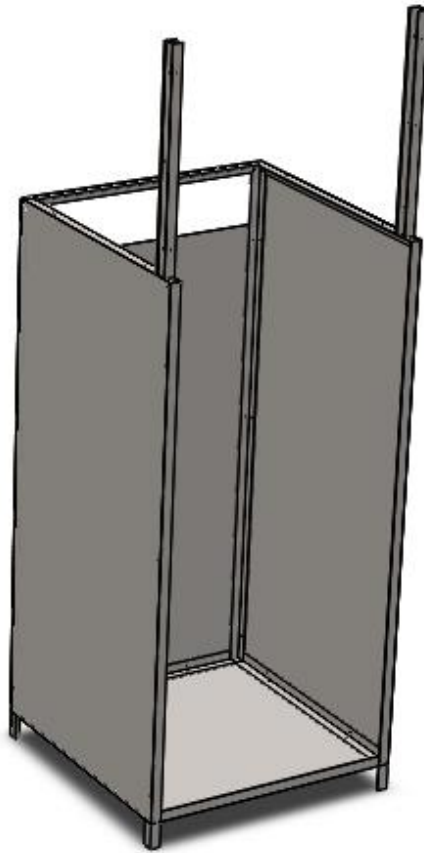


Figura 37 - Estrutura rebitada com as chapas

As prateleiras de madeira serão coladas nas chapas galvanizadas com cola, em ambos os lados. Essas prateleiras são feitas com as placas de madeira MDF, cortadas nos tamanhos adequados.

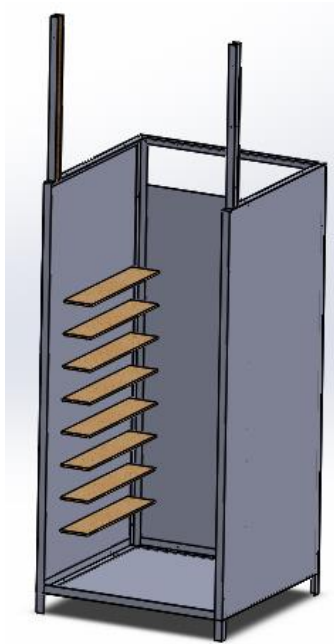


Figura 38 - Estrutura com prateleiras

Então, as placas de roofmate serão coladas nas chapas de aço galvanizado, após serem cortadas nos tamanhos adequados. Na figura 40, é mostrado o detalhe de corte dos roofmates laterais para fazer o encaixe com as prateleiras.



Figura 39 - Esquerda- estrutura com roofmate; Direita- Detalhe de cortes no roofmate

Após isso, o roofmate do teto e a chapa do teto são colados e então a chapa é rebitada. As chapas da chaminé também serão rebitadas.

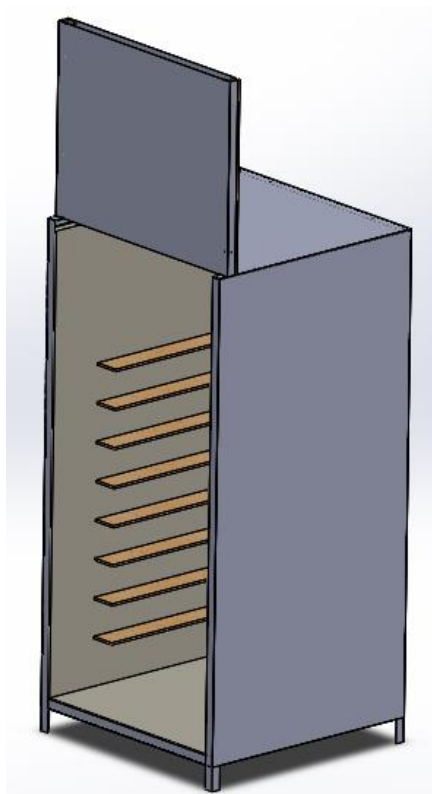


Figura 40 - Estrutura com teto e chaminé finalizados

Então, por fim, a porta da câmara é fixada através de três dobradiças parafusadas com a cantoneira. O túnel de ar é construído a partir de roofmate, uma placa colada diretamente á porta de aço, então dois pedaços finos e compridos de roofmate são colados para a lateral do túnel e a frente do túnel é colada nesses pedaços formando o túnel. Um último pedaço de roofmate é colado com dobradiças na parte de baixo para fazer o controle da entrada de ar através de sensores.

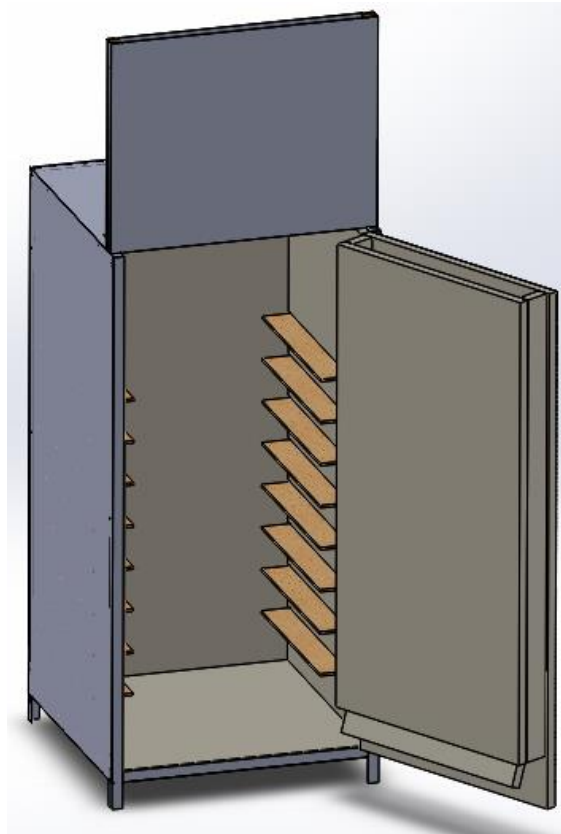


Figura 41 - Estrutura com túnel de vento e porta

Para a finalização, a câmara será pintada de preto fosco em toda sua extremidade para melhor absorção do calor.

#### **4.5.2 Coletor solar**

Para a construção do coletor solar, primeiramente a chapa base será cortada no tamanho adequado, então as prateleiras serão fixadas através de apoios triangulares parafusados ambos na base e na prateleira para garantir a segurança das garrafas de água que serão apoiadas nas prateleiras.

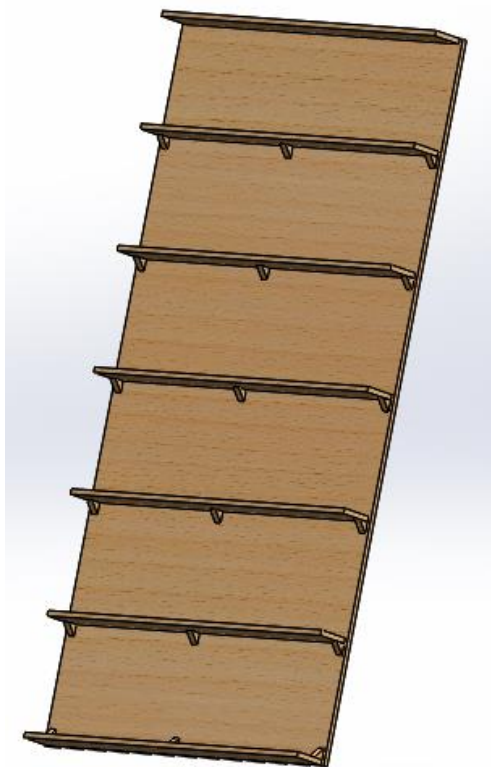


Figura 42- Estrutura com prateleiras

Então, quatro placas de madeira serão aparafusadas e coladas junto aos cantos e duas placas furadas para entrada de ar serão aparafusadas nesses apoios para o apoio das placas onduladas que serão aplicadas a seguir. Com a ajuda de esquadros apenas nos cantos inferiores, para maior segurança devido ao peso elevado a ser suportado.

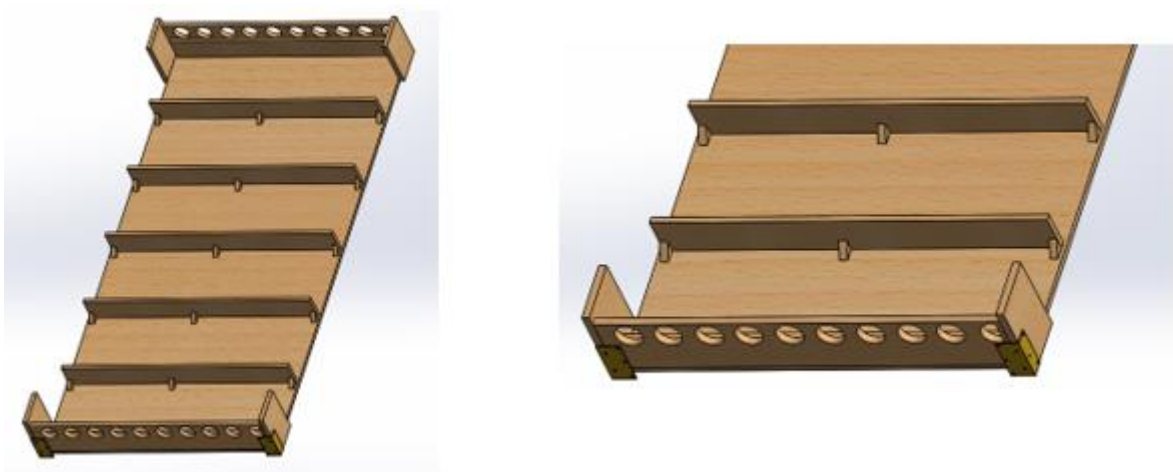


Figura 43 - Esquerda- Estrutura com apoios; Direita- Detalhe estrutura com apoios

Então, as laterais são encaixadas entre os cantos e as prateleiras, que foram fixadas com uma pequena folga para o encaixe das laterais, as quais são móveis para fácil colocação das garrafas dentro do coletor.

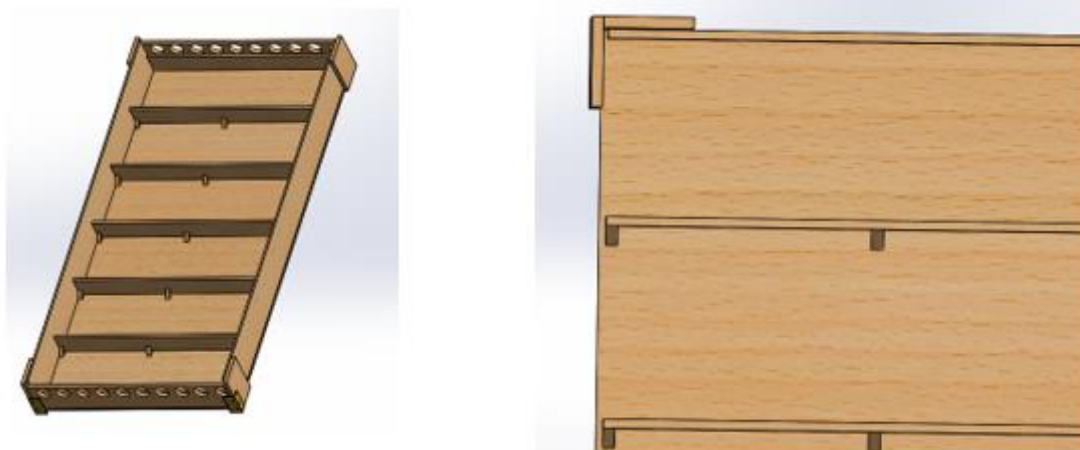


Figura 44 - Esquerda- estrutura com laterais; Direita- detalhe espaçamento para encaixe lateral

As chapas onduladas são furadas e parafusadas umas com as outras formando uma espécie de conjunto de tubos para a passagem do ar, e apoiadas nos cantos inferiores. Estas serão pintadas de preto para melhor absorção do calor. Para a entrada de ar ser somente entre os tubos formados pelas placas, silicone de alta temperatura será aplicado para a vedação desses canais.

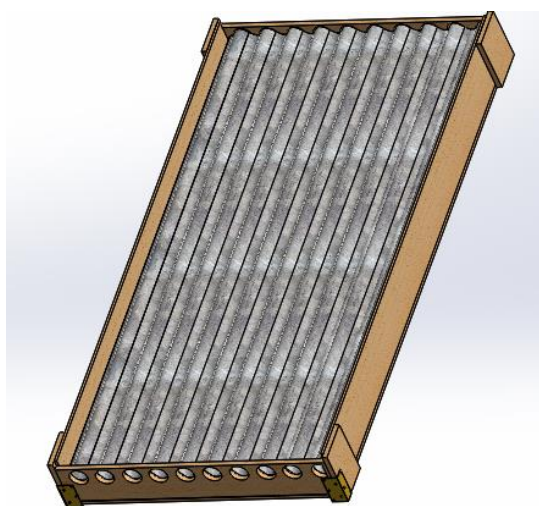


Figura 45 - Estrutura com chapas onduladas

Duas placas de MDF são parafusadas nas laterais móveis através dos mesmos apoios triangulares utilizados para fixação das prateleiras das garrafas, para o apoio do acrílico, o qual será parafusado nessas placas de apoio em cada canto do coletor.



Figura 46 - Esquerda- estrutura com apoio de acrílico; Direita- detalhe dos fixadores dos apoios

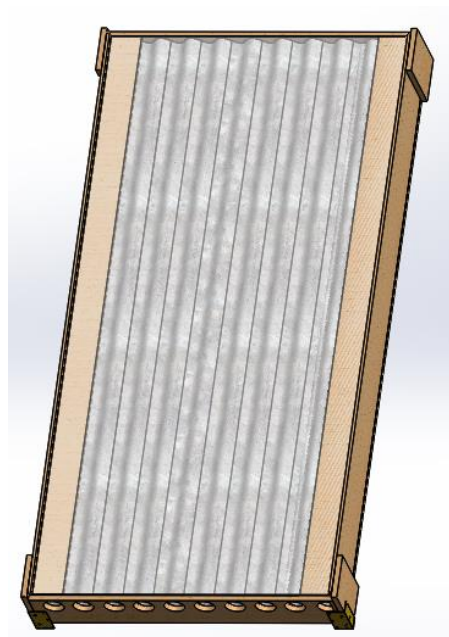


Figura 47 - Estrutura com acrílico

O roofmate então é colado na base do coletor após serem feitos os cortes necessários para o encaixe dos apoios.

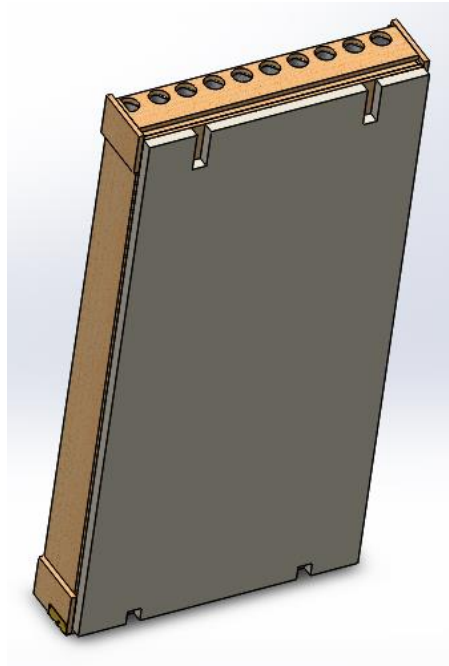


Figura 48 - Estrutura com roofmate

Então, duas cantoneiras são soldadas a dois varões de seção quadrada para formar os pés de apoio do coletor. E depois parafusadas às partes inferior e superior do coletor. O varão da parte superior será cortado a  $45^\circ$  para formar o ângulo de inclinação do coletor, assim como o inferior, porém com cortes diferentes, mostrados na figura 52.

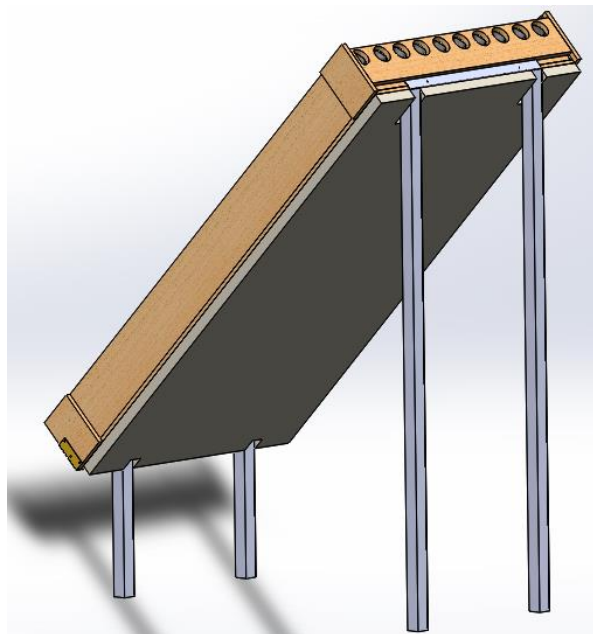


Figura 49 - Estrutura com os pés de apoio



Figura 50 - Detalhe solda de apoio superior e inferior



Figura 51 - Detalhe do corte do varão superior e inferior

Por fim, para a montagem final e encaixe do coletor na câmara, quatro placas de MDF são cortadas nos tamanhos adequados e coladas no coletor para a construção da passagem de ar entre o coletor e a câmara. A parte de cima é fixada com dobradiças para o controle da entrada de ar através de sensores e motores. E então é encaixada com a entrada de ar da câmara.

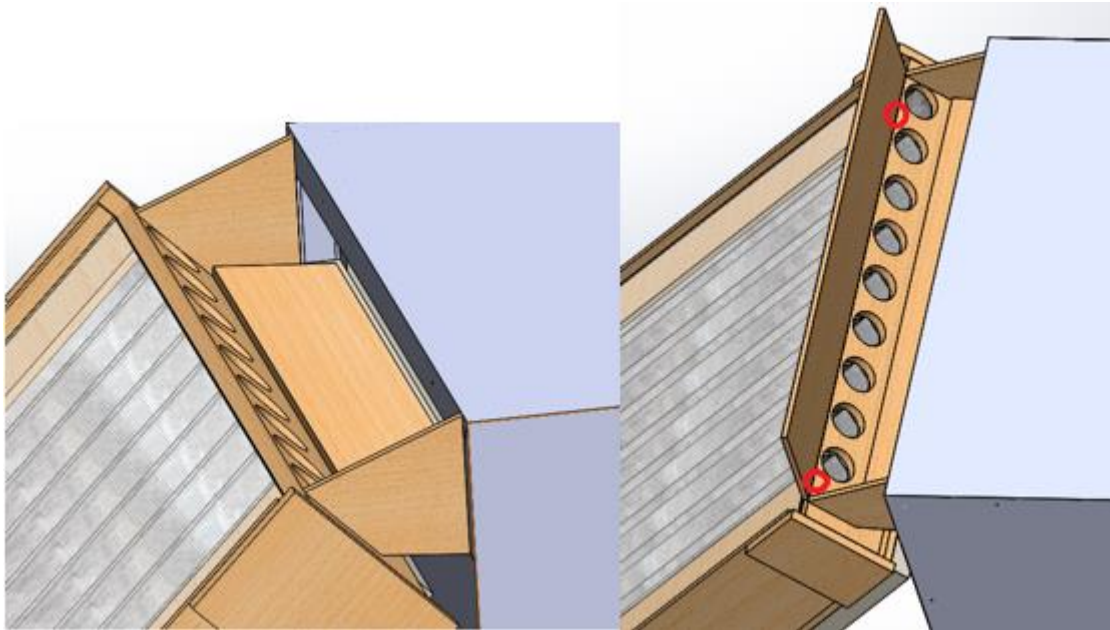


Figura 52 - Montagem entrada de ar

Nas figura 53 pode-se observar a montagem da entrada de ar, e na imagem à direita nos círculos vermelhos está sinalizado onde serão colocadas as dobradiças para controlar a entrada de ar.

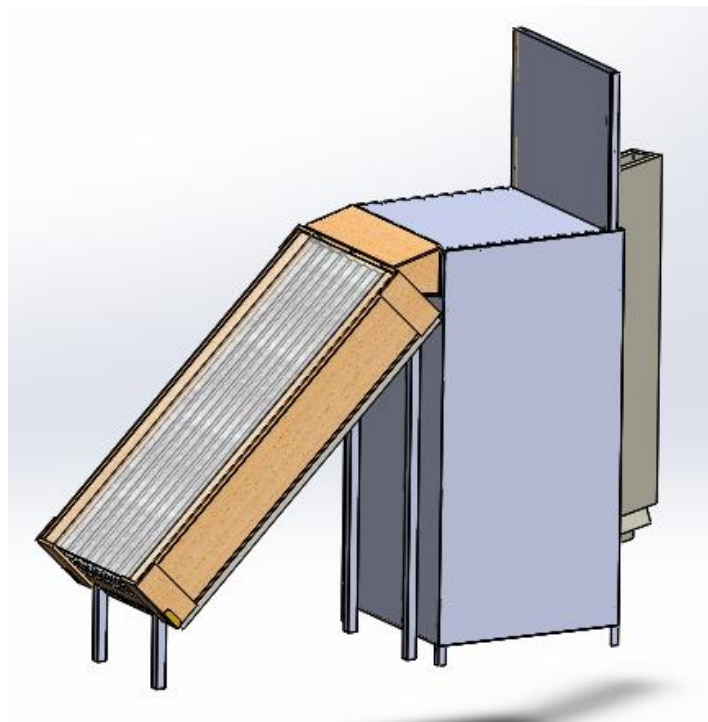


Figura 53 - Modelo final do secador

## 4.6 Aplicação

As imagens do secador foram renderizadas e colocadas em campos de plantação através de programas de edição de imagem para simular a aplicação e manuseio do equipamento.



Figura 54 – Aplicação do secador no campo



Figura 55 - Exemplo de manuseio: abertura de porta e colocação das bandejas

## **4.7 Modelo Business Canvas**

Os diferentes vetores do negócio serão indicados conforme o modelo Business Canvas. Este modelo de negócio foi feito para a realização de um relatório para o concurso cultural realizado pela CAP – Cultive teu futuro, que o projeto está em fase de análise nesse momento.

### **Segmento dos clientes**

O projeto foi desenvolvido para pequenos agricultores que necessitam aumentar sua produção de frutos secos sem aumentar custos energéticos à sua produção. O foco de clientes é o pequeno agricultor que não possui um grande mercado nem uma grande colheita, muito menos um processo industrial de plantio.

### **Proposta de valor**

A máquina desenvolvida será parte importante do processo de cultivo de figos do pequeno agricultor, visto que ele conseguirá agregar valor ao seu produto e ainda otimizar a colheita sem perder frutos que não estão aptos a serem comercializados ainda frescos. O foco é fazer com que o agricultor consiga concorrer com grandes empresas de frutos secos, tanto em qualidade do produto tanto quanto em quantidade, visto que o processo de secagem pela máquina é mais rápido e eficiente se comparado aos métodos convencionais de secagem ao sol.

### **Canais**

Para a divulgação da máquina serão utilizados principalmente canais online, revendedores de produtos agrícolas e feiras agrícolas de inovação. A demonstração física do produto irá ajudar a lhe dar credibilidade para que o cliente se atente à compra-lo. Os meios de divulgação do produto e como entregamos sua imagem ao público é parte essencial do projeto. Deste modo, será efetuado um plano de marketing, colocando o produto à mostra em feiras agrícolas e também em sites de compras do ramo.

### **Relacionamento com clientes**

A relação criada com o cliente é importante pois ele é a chave do sucesso do produto, pois é quem vai adquiri-lo e utiliza-lo. Então é preciso sempre entender suas necessidades para atendê-los com a maior qualidade e satisfação possível. Um canal de atendimento online com dúvidas frequentes e também com telefones para contato serão disponibilizados. Será oferecida garantia ao consumidor para demonstrar credibilidade do produto e passar confiança na hora da compra, será de dois anos e a possibilidade de troca de peças com defeito de fábrica ou mau funcionamento do equipamento.

Também teremos um manual de utilização do produto e sempre estaremos dispostos a tirar dúvidas e discussões com os clientes.

### **Fluxo de receita**

O cliente poderá comprar a máquina pelo valor de 1000€, tendo dois anos de garantia. Estima-se que o custo de produção em larga escala não ultrapasse os 100€, sendo que o cliente conseguirá desidratar 25 quilos de frutos por vez.

### **Recursos chave**

A construção da máquina utilizará, além dos materiais utilizados, algumas ferramentas e materiais consumíveis, como discos de corte e gás de solda. O espaço a ser montado pode ser pequeno pois a máquina não será muito grande, como aluguer de pavilhões em áreas industriais da cidade.

### **Atividades chave**

A máquina será vendida pronta e montada ao cliente junto com um manual e vídeos de funcionamento para estes terem acesso e ajuda-los no manuseio do produto.

Ações de marketing na internet e participação em feiras agrícolas para sua divulgação serão feitas.

### **Parcerias chave**

Nossos parceiros são o Instituto Politécnico de Bragança (IPB) e uma empresa agropecuária que já se encontra na equipe do projeto.

O IPB irá fornecer os laboratórios e equipamentos para a construção do protótipo e um espaço para primeiros testes. E também oferece o apoio de corpo docente, como o professor orientador do projeto Luis Frolen Ribeiro.

O apoio da universidade também será com o custeio dos materiais para a construção do protótipo.

### **Estrutura de custos**

Os custos totais foram calculados a partir de orçamento realizado na cidade, resultando em aproximadamente 600 euros de fabricação do protótipo. Com a produção em grande escala estima-se que os custos caiam para 100 euros.

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 Conclusões

Conclui-se que, a partir de todos os cálculos realizados e estudos feitos, o protótipo funcionará de maneira adequada e apresentará uma secagem efetiva dos figos, visto que os cálculos apresentados mostram que o coletor solar consegue, em um curto intervalo de tempo, fornecer o calor necessário pelo alimento a ser secado. Para energia requerida para a secagem foi calculado 48 MJ e o calor útil fornecido pelo coletor é 128 MJ, valores médios. Isso significa que o secador consegue desidratar os figos em 2 dias e ainda um valor de 80 MJ de energia pode ser armazenado pelas garrafas de água, e esse calor pode ser liberado durante a noite, quando não há raios solares para captação de energia.

As ferramentas do *design thinking* também foram importantes para que o projeto fosse executado para que se encaixasse naquilo que o cliente necessita e solicitou, ergonômico, de fácil manuseio e montagem, assim como mostra a sequência de montagem, apresentada no capítulo 4. O orçamento está dentro do esperado, menos de 600 euros, visto que, se a fabricação em grande escala for feita, esse valor cairá mais da metade do preço final, fazendo com que o preço do produto para venda seja um preço justo e acessível para os pequenos agricultores conseguirem investir nessa máquina. A sequência de montagem apresentada será de grande ajuda para a fabricação do protótipo por qualquer pessoa, inclusive que não participou do projeto, facilitando sua construção posterior. Assim como o orçamento será de ajuda para a compra dos materiais.

A partir desse protótipo, um plano de negócio (business canvas) foi realizado para a participação de um concurso cultural de inovação na área de secagem de alimentos, o qual dará continuidade no segundo semestre de 2020. Nesse plano de negócio pôde-se ter uma ideia de como implementar o projeto no mercado e como traçar metas e planos para viabilizar sua comercialização. O preço de 100 euros de orçamento para construção do protótipo em larga escala, canais de atendimento ao cliente, marketing do produto nas mídias digitais e sites do ramo agrícola, aluguer de pavilhões para a fabricação do protótipo, entre outros.

## 5.2. Trabalhos futuros

Para a proposta de trabalhos futuros, a fabricação do protótipo deve ser feita, a partir de todos os passos e informações contidas nesse trabalho. Após a construção, recomenda-se a análise de eficiência através de testes realizados pela máquina, e alguns ajustes facilitarão a posterior troca de materiais ou geometria da chaminé, caso necessário. O feedback com o cliente é de extrema importância para futuras mudanças no projeto, como melhorias na ergonomia do protótipo, usabilidade e satisfação do cliente com o produto final.

Instalação de sensores de temperatura e humidade dentro da câmara e do coletor em pontos estratégicos facilitará o controle da secagem, mantendo-a mais eficiente possível. Também, com esses sensores, deverão ser instalados motores alimentados por pequenos painéis solares para fazer o controle do ar que entra na câmara e que entra no túnel de vento, assim, em dias muito quentes, apenas uma parcela do ar entra na câmara para a não degradação do alimento devido ao superaquecimento do ambiente.

Por fim, a programação de um sistema de aquisição de dados possibilitará o estudo e análise dos dados em tempo real do protótipo, como a curva de temperatura ao longo do dia, e também de humidade. Assim, o controle através de um programa que mostra os gráficos em tempo real permitirá um resultado final de secagem adequado.

O estudo e realização de uma patente estavam nos planos deste projeto, mas a construção não foi feita, inviabilizando a ideia. A patente deste modelo é necessária visto sua construção e disposição dos componentes serem diferentes das já realizadas no mercado. Dois aspetos importantes no projeto que o diferenciam de outros são: as garrafas de água que armazenam calor, proporcionando a secagem até com a ausência de raios solares e o sistema de termossifão que é o princípio de funcionamento desse protótipo, garantindo uma convecção natural mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

- [1] W. N. Mat Desa, M. Mohammad, and A. Fudholi, “Review of drying technology of fig,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 88, no. August 2018, pp. 93–103, 2019, doi: 10.1016/j.tifs.2019.03.018.
- [2] S. M. C. CELESTINO, “Princípios de secagem de alimentos,” *Embrapa Cerrados*, p. 51, 2010.
- [3] I. O. Pacheco-busquets, I. A. Torres-ten, and I. F. Zenón-cobián, “Diseño, construcción y evaluación sin carga de un prototipo de secador solar para el secado de Anamú,” *Tecnol. Química*, vol. 39, no. 1, pp. 148–159, 2019.
- [4] M. G. Green and D. Schwarz, “Solar Drying Technology for Food Preservation,” *Energy*, vol. 49, no. 0, pp. 1–8, 2001.
- [5] N. Kiggundu *et al.*, “Solar fruit drying technologies for smallholder farmers in Uganda, a review of design constraints and solutions,” *Agric. Eng. Int. CIGR J.*, vol. 18, no. 4, pp. 200–210, 2016.
- [6] S. Akamphon, S. Sukkasi, and K. Sedchaicharn, “An integrated heat-transfer-fluid-dynamics-mass-transfer model for evaluating solar-dryer designs,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 42, no. 7, pp. 1–10, 2018, doi: 10.1111/jfpp.13649.
- [7] B. O. Bolaji, “Exergetic Analysis of Solar Energy drying Systems,” *Nat. Resour.*, vol. 02, no. 02, pp. 92–97, 2011, doi: 10.4236/nr.2011.22012.
- [8] S. A. Kalogirou, “Copyright,” *Sol. Energy Eng.*, p. iv, 2009, doi: 10.1016/b978-0-12-374501-9.00014-5.
- [9] E. Ayua, V. Mugalavai, J. Simon, S. Weller, P. Obura, and N. Nyabinda, “Comparison of a mixed modes solar dryer to a direct mode solar dryer for African indigenous vegetable and chili processing,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 41, no. 6, pp. 1–8, 2017, doi: 10.1111/jfpp.13216.
- [10] T. L. Bergman and A. Lavine, “Incropera - Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.” p. 648, 2019.
- [11] K. A. Dornelles, “Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos,” no. April 2004, p. 150, 2004, doi: 10.13140/RG.2.1.1221.2964.
- [12] C. R. H. Marcio Carlos Navroski, Diogo Belmonte Lippert, Lucas Camargo, Mariane de Oliveira Pereira, “Materials Used in Construction and Completion of External,” *Brazilian J. Wood Sci.*, pp. 41–51, 2010, doi: 10.1111/mmi.12743.
- [13] M. Al-Busoul, “Design of Fruits Solar Energy Dryer under Climatic Condition in Jordan,” *J. Power Energy Eng.*, vol. 05, no. 02, pp. 123–137, 2017, doi: 10.4236/jpee.2017.52007.
- [14] R. C. Patil and R. R. Gawande, *Mathematical modeling of solar drying systems*, no.

9789811038327. 2017.

- [15] J. A. Duffie, W. A. Beckman, and J. McGowan, *Solar Engineering of Thermal Processes*, vol. 53, no. 4. 1985.
- [16] M. C. Villalobos *et al.*, “Use of efficient drying methods to improve the safety and quality of dried fig,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 43, no. 1, pp. 1–14, 2019, doi: 10.1111/jfpp.13853.
- [17] A. Umar, A. H. Sasongko, G. Aguzman, and Sugiharto, “Business model canvas as a solution for competing strategy of small business in Indonesia,” *Int. J. Entrep.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–9, 2018.
- [18] H. Essalhi, R. Tadili, and M. N. Bargach, “Comparison of thermal performance between two solar air collectors for an indirect solar dryer,” *J. Phys. Sci.*, vol. 29, no. 3, pp. 55–64, 2018, doi: 10.21315/jps2018.29.3.5.
- [19] A. B. Demirpolat, “Investigation of mass transfer with different models in a solar energy food-drying system,” *Energies*, vol. 12, no. 18, 2019, doi: 10.3390/en12183447.
- [20] M. Liu, S. Wang, and K. Li, “Study of the Solar Energy Drying Device and Its Application in Traditional Chinese Medicine in Drying,” *Int. J. Clin. Med.*, vol. 06, no. 04, pp. 271–280, 2015, doi: 10.4236/ijcm.2015.64034.
- [21] Y. A. Cengel and M. A. Boles, “Termodinámica,” p. 1041, 2012, [Online]. Available: <http://es.slideshare.net/Norpheel/termodinamica-cengel-7th>.
- [22] H. Jack, *Engineering Design, Planning, and Management*. Amsterdam: Elsevier, Academic Press, 2013.

## REFERÊNCIAS WEB

- [1.1] Site do modelo de desidratador solar Chatron  
<https://www.chatron.pt/pt/agricultura/desidratador-solar-2#monobloco> acessado em 04/05/2020
- [1.2] Secador solar híbrido Black Block Base - Pam e alimentos  
[https://fialhostore.com/images/7217/products/655\\_20180117112130\\_pdf\\_products.pdf](https://fialhostore.com/images/7217/products/655_20180117112130_pdf_products.pdf)  
acessado em 04/05/2020
- [1.3] Secador solar master jerky 16  
<https://www.klarstein.pt/Pequenos-Eletrdomesticos/Desidratadores/Master-Jerky-16-Desidratador-Automatico-de-Alimentos-1500W-40-90-C-Temporizador-de-15h-Aco-Inoxidavel-Prateado-16-rateleiras.html> acessado em 04/05/2020
- [1.4] Desidratador PD-40 <http://www.polidryer.com.br/desidratador-pd-40> acessado em 04/05/2020
- [1.5] IPMA – Radiação global  
<https://www.ipma.pt/pt/agrometeorologia/mapas/mensal/index.jsp?page=mrato.xml> acessado em 08/05/2020
- [1.6] Condições metereológicas em Mirandela <https://pt.weatherspark.com/y/32907/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Mirandela-Portugal-durante-o-ano> acessado em 12/05/2020
- [1.7] Produção e comercialização de figos <https://marketingagricola.pt/producao-e-comercializacao-de-figos/> acessado em 17/06/2020