

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

GUILHERME SOARES LIMA

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA OPERAÇÃO DE UM SECADOR SOLAR PASSIVO
DISTRIBUÍDO PARA SECAGEM DE HORTALIÇAS

BELO HORIZONTE

2019

GUILHERME SOARES LIMA

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA OPERAÇÃO DE UM SECADOR SOLAR PASSIVO
DISTRIBUÍDO PARA SECAGEM DE HORTALIÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Corpo docente do Curso de Graduação em
Engenharia de Materiais do Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais como
Requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Materiais

Orientador: André Guimarães Ferreira

BELO HORIZONTE

2019

GUILHERME SOARES LIMA

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA OPERAÇÃO DE UM SECADOR SOLAR PASSIVO
DISTRIBUÍDO PARA SECAGEM DE HORTALIÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Corpo docente do Curso de Graduação em
Engenharia de Materiais do Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais como
Requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Materiais

Aprovado em 03/12/2019.

Banca examinadora

Prof. André Guimarães Ferreira - Orientador

Prof. Euclides Gonçalves Martins Filho

Prof. Tiago de Freitas Paulino

AGRADECIMENTOS

Agradeço a deus, pelos encontros e desencontros proporcionados em minha vida.

Agradeço ao Prof. Dr. André Guimarães Ferreira, pela paciência, boa vontade e apoio durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço a minha família, a minha mãe, irmã e irmão, por fazerem parte da minha vida.

Agradeço ao CEFET-MG pela educação que recebi nesses anos nos quais ele foi a minha segunda casa.

Agradeço aos funcionários que contribuíram para este trabalho, principalmente o técnico Rogério Mourouço Coutinho.

O segredo do sucesso é a constância no objetivo.

(Benjamin Disraeli)

RESUMO

A secagem de hortaliças é importante, porque proporciona maior tempo de conservação dos produtos e redução de massa, facilitando o seu transporte. Devido a essas características, a secagem em secadores pode ser considerada como uma solução as deficiências apresentadas na secagem natural. Além do índice de umidade desejada ser alcançado em menor tempo. Este trabalho tem o objetivo de analisar a eficiência de um secador solar passivo distribuído para secagem de hortaliças. O secador em questão apresenta duas estruturas principais: a câmara de secagem e o coletor solar, que são estruturas separadas. O coletor solar apresenta uma abertura, na qual o ar entra no secador, é aquecido pela irradiação solar que incide sobre uma cobertura de vidro e retira a umidade do produto a ser secado. Para que esse escoamento de ar circule é necessário que ao ser instalado o secador apresente, aproximadamente, 20° de inclinação, pois caso seja fixado horizontalmente, o ar ficará estacionado no meio do secador. A câmara de secagem, ou chaminé, é a estrutura onde o produto a ser secado se encontra, na bandeja de secagem, e é por onde o ar deixa o secador. Sendo responsável pela circulação do escoamento do ar, por convecção natural, uma vez que, o ar quente dentro da chaminé gera empuxo, o qual, move esse mesmo ar quente para fora da câmara de secagem. O procedimento experimental constituiu basicamente no levantamento dos dados, a partir da secagem da hortaliça, e construção de gráficos para uma melhor análise das condições de secagem. Foram medidas no secador as temperaturas de entrada e saída do ar, as umidades de entrada e saída do ar, velocidade de entrada do ar, irradiação solar e a variação da massa do manjericão, no secador, na secagem ao sol e a umidade inicial, através do ensaio em uma estufa. Em seguida calculou-se da eficiência de secagem, encontrado o valor de 1,9 %, e a eficiência térmica média, encontrando o valor de 5,8 %. O teor de umidade do manjericão variou mais no período matutino, pois no início da secagem, a velocidade de secagem é maior, independentemente das condições. Apesar do valor da umidade final do manjericão na secagem natural ser inferior, a secagem no secador não degrada a clorofila, mantendo a qualidade do produto desidratado.

Palavras-chave: Secador solar. Eficiência de secagem. Análise energética.

ABSTRACT

Drying vegetables is important because it provides longer shelf life and reduced mass, facilitating their transport. Due to these characteristics, drying in dryers can be considered as a solution to the deficiencies presented in natural drying. In addition the desired moisture content can be reached in a shorter time. This work aims to analyze the efficiency of a distributed passive solar dryer for vegetable drying. The dryer in question has two main structures: the drying chamber and the solar collector, which are separate structures. The solar collector has an opening, in which air enters the dryer, is heated by solar radiation that hits a glass cover and removes moisture from the product to be dried. For this air flow to circulate, it is necessary that when the dryer is installed, it has approximately 20 ° of inclination, because if it is fixed horizontally, air will be parked in the middle of the dryer. The drying chamber, or chimney, is the structure where the product to be dried is in the drying tray, and is where the air leaves the dryer. Being responsible for the circulation of air flow by natural convection, since the hot air inside the chimney generates thrust, which moves that same hot air out of the drying chamber. The experimental procedure basically consisted in the data collection, from the drying of the vegetables, and the construction of graphs for a better analysis of the drying conditions. The air inlet and outlet temperatures, air inlet and outlet humidity, air inlet velocity, solar irradiation and the variation of basil mass in the dryer in the sun drying and initial humidity were measured in the dryer. through the test in a greenhouse. Then it was calculated the drying efficiency, found the value of 1.9 %, and the average thermal efficiency, finding the value of 5.8 %. The moisture content of basil varied more in the morning, because at the beginning of drying, the drying rate is higher, regardless of the conditions. Although the final moisture value of basil in natural drying is lower, drying in the dryer does not degrade chlorophyll, so basil loses less properties.

Keywords: Solar Dryer. Drying efficiency. Energy analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Secador solar passivo distribuído.....	12
Figura 2 - Tipos de secadores.....	23
Figura 3 – Secador solar ativo.....	25
Figura 4 - Secador solar passivo.....	26
Figura 5 - Secador solar tipo cabine.....	27
Figura 6 - Secador integrado do tipo estufa.....	28
Figura 7 - Secador distribuído para secagem de banana verde.....	29
Figura 8 –Secador solar passivo misto.....	30
Figura 9 – Secador solar passvo distribuído.....	30
Figura 10 – Secador solar passivo distribuído.....	31
Figura 11 – Estrutur de madeira.....	32
Figura 12 – Cobertura de vidro.....	32
Figura 13 – Câmara de secagem.....	33
Figura 14 - Bandeja de secagem.....	34
Figura 15 – Estufa de secagem e esterilização nova técnica.....	35
Figura 16 – Balança digital toledo.....	35
Figura 17 – Termo-higroanemômetro e termo-higronômetro.....	36
Figura 18 – Piranômetro e multímetro digital.....	37
Figura 19 – Manjerição seco, secador e ao sol.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação da irradiação solar.	43
Gráfico 2 – Temperatura de entrada e saída.	44
Gráfico 3 – Umidade do ar na entrada e na saída.	46
Gráfico 4 – Vazão mássica.	47
Gráfico 5 – Teor de umidade.	50
Gráfico 6 – Eficiência térmica.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de secadores.....	17
Tabela 2 – Massa do manjerição.	38
Tabela 3 – Temperatura de entrada e saıda	43
Tabela 4 – Umidade do ar na entrada e saıda.	45
Tabela 5 – Teor de umidade do manjerição na entrada e na saıda.	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Justificativa e relevância	10
1.2. Objeto de estudo	11
1.3. Objetivos.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. Princípios físicos da secagem.....	13
2.2. Secadores	15
2.2.1. <i>Secadores artificiais</i>	15
2.2.2. Secadores solares	19
2.3. Características do manjeriço.....	20
3. REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1. Secadores solares	21
3.1.1. <i>Secadores ativos e passivos</i>	23
3.1.2. <i>Secadores integrados (direto) x distribuído (indireto) x mistos</i>	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1. O secador	30
4.2. Sistemas de medição	33
4.2.1. <i>Ensaio de secagem das amostras</i>	36
4.2.2. <i>Ensaio de umidade inicial</i>	37
4.3. Planejamento experimental do ensaio de secagem	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
5.1. Condições ambientais.....	41

5.2. Caracterização do escoamento no secador	46
5.3. Determinação de umidade inicial e curva de secagem	47
5.4. Eficiência térmica e de secagem do secador	50
6. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

A secagem é a mais antiga e importante técnica para preservação de alimentos e para reduzir o alto índice de perdas entre o processo de colheita e comercialização. Além disso, alimentos secos reduzem a massa (consequentemente custos de transporte) e aumentam o tempo de vida de prateleira para o consumo (por reduzir possibilidade de ação de micro-organismos).

A crise energética global e a procura de alimentos secos de qualidade continuam a incentivar o investimento em técnicas inovadoras na secagem de alimentos com a finalidade de aumentar a eficiência dos processos, diminuir as perdas pós-colheita e melhorar a qualidade dos produtos (KUMAR *et al.*, 2014).

Neste trabalho foi realizado estudo experimental de um secador solar para avaliar como as condições de escoamento influenciam na secagem de manjeriço. Utilizou-se apenas energia solar como fonte energética para operação do secador.

A energia solar, quando comparada a outras fontes energéticas, apresenta inúmeras vantagens como, por exemplo, elevado nível de irradiação, energia renovável, não emite gases de efeito estufa. Fator importante, pois o Brasil recentemente participa do acordo de Paris e assumiu o compromisso de redução de suas emissões (NASCIMENTO, 2017).

A crise energética global e a procura de alimentos secos de qualidade continuam a incentivar o investimento em técnicas inovadoras na secagem de alimentos com a finalidade de aumentar a eficiência dos processos, diminuir as perdas pós colheita e melhorar a qualidade dos produtos (KUMAR, 2014).

1.1. Justificativa e relevância

O uso da radiação solar para a secagem é considerada uma das formas mais antigas de aplicação da energia solar. A secagem era utilizada desde tempos remotos da humanidade, para a conservação de alimentos, bem como para a secagem de tecidos, materiais de construção, entre outros (OLIVEIRA, 2014).

A secagem de plantas e frutas é uma operação importante para inibir o crescimento de micro-organismos e também várias reações químicas, permitindo melhor conservação destes produtos na temperatura ambiente, minimizando a suscetibilidade à deterioração (OLIVEIRA, 2014). A secagem natural, em que o produto é disposto sem proteção em trechos ou suportes, é a de menor custo. Entretanto, gera menor controle da umidade e maior

tempo de secagem, tornando outros processos de secagem mais interessantes, como o solar e o artificial. O secador artificial necessita de uma fonte de energia como, por exemplo, energia elétrica, que nem sempre está disponível no local da secagem. Já o secador solar utiliza energia renovável, abundante em grande parte do território brasileiro, a baixo custo. O desconhecimento de processos mais eficientes por parte do agente que necessita secar algum produto é o principal motivo para que a utilização da secagem natural seja tão corriqueira. Uma das desvantagens do secador artificial é a possibilidade de tornar o produto final mais caro, com grande qualidade, mas com maior custo de produção, podendo torná-lo comercialmente pouco competitivo.

Outra vantagem do secador solar é que ele permite a retirada de umidade do produto sem que o produto perca qualidade.

Em países em desenvolvimento mais de 40% das perdas de alimentos ocorrem nas etapas de pós-colheita e processamento. Nestes países, medidas de controle devem ser adotadas da perspectiva do produtor, por meio de técnicas pós-colheita adequadas, neste contexto a secagem solar se mostra uma alternativa interessante para a redução de tais perdas.

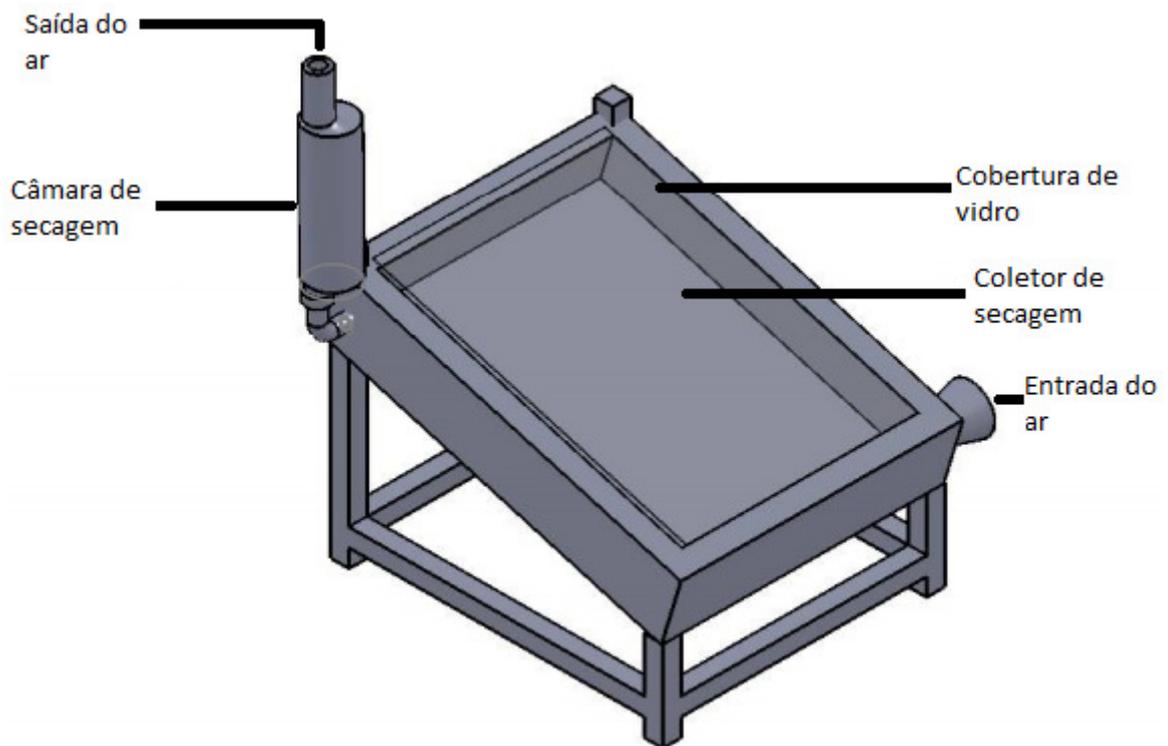
1.2. Objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho é desenvolver um secador solar passivo distribuído para a secagem da hortaliça manjeriço, no qual apresenta as seguintes estruturas: Coletor de secagem, Câmara de secagem e bandeja de secagem, ilustrado na figura 1. O Coletor de secagem foi construído em madeira Saligna, com as seguintes dimensões: 800 X 620 X 150 mm. Revestida externa e internamente com finas chapas de aço galvanizado de 0,3 mm de espessura. Internamente possui revestimento de lã de vidro, o qual minimiza perdas térmicas. O secador foi pintado na cor preto fosco assim como todas as suas superfícies que recebem radiação solar direta.

Instalou-se um vidro na superfície do coletor de secagem com três milímetros de espessura e uma área 700 mm X 520 mm, onde incide diretamente a radiação solar e aquece o escoamento do ar.

Por outro lado a Câmara de secagem foi construída em PVC, no formato circular, onde realiza sucção do escoamento de ar, efeito chaminé. Dentro dessa câmara existe ainda outra estrutura, na qual serve de suporte para o material que será secado, chamada bandeja de secagem, como pode ser visto na figura 14.

Figura 1 – Secador solar passivo distribuído.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

1.3. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um estudo experimental da operação de um secador solar passivo distribuído para a secagem de hortaliças. Os objetivos específicos são:

- Definição de materiais e construção da câmara de secagem do secador solar passivo distribuído;
- Definição de materiais e construção da chaminé do secador solar passivo distribuído;
- Definição de materiais e construção do coletor solar do secador solar passivo distribuído;
- Avaliar as curvas de secagem da hortaliça na secagem pelo secador passivo distribuído e pela secagem natural, diretamente pelo sol;
- Determinar a eficiência térmica e de secagem do secador passivo distribuído na secagem da hortaliça.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Princípios físicos da secagem

Na secagem ocorre redução da água através da vaporização com o objetivo de potencializar a conservação de um produto, pois assim ocorrerá a redução de microorganismos presentes responsáveis pela degradação. A secagem segundo Oliveira (2014) é uma operação intensiva de energia que envolve simultaneamente transferência de massa e de calor.

O ar quente é o fluido mais usado para secagem de alimentos em secador solar. O mesmo conduz calor ao alimento, provocando vaporização da água, sendo também o veículo de transporte do vapor úmido do alimento (VASCONCELOS, 2017).

A secagem envolve dois fenômenos fundamentais e simultâneos, onde o calor é transferido do fluido de secagem para o sólido, evaporando o líquido contido na superfície do material e a massa é transferida em fase líquida ou vapor no interior do material, ocorrendo à transferência do vapor da superfície para a vizinhança do sólido (FERREIRA, 2003). Transferência de calor depende de condições externas como temperatura, umidade do ar, fluxo e direção de ar, área de exposição do sólido e pressão. Já a transferência de massa é função da natureza física do sólido, sua temperatura e conteúdo de umidade (OLIVEIRA, 2014).

Quando ocorre o contato entre o meio secante e a amostra a temperatura tende a um regime permanente, entretanto, a velocidade de secagem e a temperatura da amostra podem variar até a ocorrência desse regime.

Segundo Oliveira (2014) a taxa de secagem tende a se aproximar de zero em certo teor de umidade de equilíbrio, que é o menor teor de umidade atingível durante o processo de secagem, nas condições em que o sólido está submetido.

A secagem solar é um método limpo e de baixo custo, que utiliza fonte de energia renovável e abundante (OLIVEIRA, 2014) e tem sido bastante utilizada em secagens que necessitam de baixa e moderada temperatura. A sua eficiência depende principalmente do produto a ser secado e da tecnologia aplicado no processo.

A velocidade de secagem está diretamente relacionada com a forma como a água se encontra no produto e é determinada pela temperatura e teor de umidade do produto, bem

como pela temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de escoamento (BELESSIOTIS; DELYANNIS, 2011).

Inicialmente quando o escoamento do ar entra em contato com a superfície do produto a ser secado, a velocidade de secagem é crescente. Segundo Oliveira (2014) A temperatura do sólido é menor que a temperatura ambiente. O calor transferido do ar para o sólido é maior do que o calor retirado do sólido para evaporar água. O produto se encontra em um estado de saturação de água, o que favorece a retirada de água de sua superfície. Tal etapa não estará presente em todos os produtos, devido aos diferentes estados de umidade inicial que podem se encontrar.

Em seguida, se inicia um período de secagem constante. A velocidade de secagem independe do teor de umidade do produto. A temperatura do sólido se iguala a temperatura ambiente. Este período é distinguido pela velocidade de secagem ser inalterada com a diminuição do teor de umidade (OLIVEIRA, 2014). Ocorre predominantemente transferência de calor por convecção.

Quando a saturação de água no produto é eliminada, a velocidade de secagem deixa de ser constante e se torna inferior aquela apresentada anteriormente, o sólido atinge o teor de umidade crítico. Segundo Belessiotis e Delyannis (2011) parte do escoamento do ar é transferida para o interior do produto, contribuindo com o processo de transferência de massa, ou seja, migração de umidade do interior do produto para a sua superfície. A propagação de umidade é controlada pelo movimento do líquido interno, enquanto a superfície sólida, inicialmente saturada de vapor d'água, reduz continuamente seu teor de umidade (SILVA, 2018). Com a elevação a temperatura da superfície, a velocidade de secagem é reduzida. Esse processo contribui para uma diminuição no volume do produto, diminuição do diâmetro dos poros e diminuição do diâmetro dos capilares, ocasionando formação de ligações pontes líquida entre a água e a as partículas sólidas do produto. Segundo Silva (2018) Nessas ligações pontes líquida, a água escoam pelas paredes dos capilares e migra com consecutivas condensações e evaporações promovendo a redução da pressão parcial do vapor e a continuada contração do produto, até que se alcance o equilíbrio da umidade entre o produto e o escoamento. Conseqüentemente esse processo leva a uma estagnação da secagem.

2.2. Secadores

Dentre os métodos de secagem mais utilizados podemos citar: secagem natural, secagem por secador solar e secagem por secador artificial (NEPOMUCENO, 2019). A principal diferença entre eles está no modo de aquecimento do ar de secagem. Na secagem natural, o produto fica exposto à ação do vento e da radiação solar sem nenhum dispositivo, com pouco controle das variáveis. No caso do secador solar, a secagem se dá através da radiação solar que além de aquecer o ar, evapora a umidade presente no produto. Por outro lado a secagem artificial pode ocorrer por fontes de energia como: queima de combustíveis fósseis, energia elétrica, entre outros (OLIVEIRA, 2014).

A secagem natural é o método mais antigo, dentre esses, envolvendo baixo investimento, porém o produto pode secar demais ou ficar exposto a chuvas. Dentre os métodos é o menos eficaz.

O secador solar é uma alternativa sustentável e limpa levando em consideração outros métodos, além de possibilitar maior controle da secagem, em relação a secagem natural, proteção do produto a ser secado e baixo custo. Entretanto envolve maior tempo de secagem e dependência de chuvas e dias nublados, pois nesse processo é fundamental baixa umidade do ar e boa insolação.

O secador artificial tem maior eficiência em relação ao tempo de secagem e ao controle da umidade, quando comparado com os outros métodos. Entretanto envolve maior custo.

2.2.1. *Secadores artificiais*

Segundo Maciel (2017) o ar conduz calor para o produto evaporando a água do mesmo e transportando o vapor úmido para longe do alimento. As condições de secagem neste tipo de secador são controladas artificialmente, sendo esse um dos motivos para a secagem ser mais rápida e eficiente.

Basicamente os secadores artificiais são divididos em dois grupos: secadores adiabáticos (o calor é conduzido por meio do ar quente) e secadores por superfície sólida (a transferência ocorre pela superfície da amostra). Na tabela 1 estão os principais tipos desses secadores.

Tabela 1 - Tipos de secadores.

Secagem	Tipo	Funcionamento
Adiabáticos	Cabine	Um escoamento forçado de ar atravessa um sistema de aquecimento e entra numa câmara onde estão bandejas com o material a ser seco. Vantagens: Fácil manutenção e operação, flexível e bom preço. Desvantagens: alto consumo energético, baixa capacidade de carga, pode ocasionar uma secagem não uniforme.
	Túnel	Túneis de comprimento variável recebem nos seus interiores transportadores ou vagonetes que entram por uma das extremidades e saem pela outra. O meio de secagem é o ar quente. A corrente de ar pode ser forçada ou natural.
	Atomizador	A secagem por atomização ou spray drying é um processo que consiste basicamente na pulverização de um líquido ou pastanum compartimento que recebe fluxo de ar quente. Vantagens: Baixo tempo de secagem, amplo campo de aplicação. Desvantagens: Grandes dimensões, operação mais difícil, alto custo.
	Leito fluidizado	Sistema contínuo de secagem onde o produto é disposto numa esteira perfurada e recebe o ar quente pela parte inferior. O nome fluidizado é devido à semelhança com líquido em ebulição.
	Fornos secadores	Construção em geral de dois pisos na parte superior é colocada o produto a desidratar e o ar quente obtido na inferior passa pelo produto por convecção natural ou forçada. Vantagens: Fácil construção e operação, adaptável a qualquer produto. Desvantagens: Tempo de secagem longo, alto consumo energético.

Superfície Sólida	Tambor (rolo secador)	Os tambores rotativos são aquecidos internamente através do vapor. Usados na produção de produtos especiais principalmente produtos com alto teor de amido. Antigo processo de fabricação do leite em pó.
	Secadores a vácuo	Sistema indireto de aquecimento através de superfícies sólidas. São de difícil manejo e possuem alto custo. Vantagens: Obtenção de produtos de alta qualidade mantendo suas características. Desvantagens: Difícil operação e alto custo.
	Liofilização (criosecagem)	Processo especial de secagem através de congelamento e sob vácuo com condições de pressão e temperatura controladas. É realizado um processo de sublimação em água previamente congelada surgindo assim pequenos “túneis”, ou capilares vazios possibilitando que o produto seja seco mantendo seu formato original. Vantagens: manutenção das propriedades químicas e organolépticas, possibilidade de elaborar produtos Premium com formatos variados e vida útil longa. Desvantagem: alto custo.

Fonte: MACIEL, 2017.

2.2.2. Secadores solares

Os principais parâmetros para classificar e avaliar os secadores solares são apresentados a seguir, conforme Ferreira (2004) e Leon *et al.* 2002:

Características físicas do secador:

- Tipo;
- Tamanho, formato e peso do dispositivo;
- Capacidade;
- Número de bandejas;
- Facilidade de colocação e remoção do produto do interior do dispositivo;
- Área de coleta de energia solar;
- Capacidade de secagem;

Rendimento térmico do secador:

- Tempo de secagem;
- Vazão de escoamento do ar de secagem;
- Taxa de produto seco por período de tempo;
- Temperatura do ar de secagem e temperatura ambiente;
- Umidade relativa do ar;
- Eficiência térmica do secador;
- Máxima temperatura admitida para o produto;
- Umidade inicial e final do produto;

Características do produto seco:

- Umidade final do produto;
- Formato do produto seco;
- Qualidades sensoriais (cor, aroma, sabor e textura);
- Capacidade de reabsorção de umidade;

Custos:

- Custo de construção do secador;
- Custo de operação do secador;
- Payback do investimento;

Uma das maneiras de classificar o secador solar é em relação ao escoamento do ar, que irá retirar a umidade do material a ser seco, em seu interior. Podendo ser passivo, onde o escoamento do ar ocorre por convecção natural, ativo de maneira forçada, com uso de

ventiladores e exaustores, e híbrido. A principal diferença entre o secador passivo e o ativo está na fonte de energia. Enquanto o secador passivo não consome energia elétrica, o secador ativo consome, e, dessa forma, não pode ser instalado em locais isolados. Por outro lado a secagem do ativo é mais rápida e não fica tão dependente das condições climáticas. Segundo Maciel (2017) secadores híbridos é uma combinação dos secadores solares com uma fonte de energia complementar como biomassa, elétrica ou combustíveis fósseis. Essa segunda fonte de energia atua como um sistema de backup nos horários de baixa insolação ou sozinho nos períodos noturnos. Secadores híbridos são interessantes pelo fato da secagem solar ser intermitente sendo essa a grande desvantagem dos secadores solares (FERREIRA, 2004). Segundo Oliveira (2014) a classificação dos secadores pode ser feita também quanto à estrutura do secador e a exposição do produto à radiação e à estrutura do dispositivo. Em secadores integrados o produto a ser secado recebe radiação de forma direta. Além disso, a câmara de secagem e a placa absorvedora, utilizada para aquecer o ar, estão localizadas na mesma estrutura, ou seja, são instaladas em uma única câmara. Em secadores solares distribuídos o produto não recebe incidência de radiação solar, sendo a câmara de secagem escurecida, a fim de evitar a entrada de irradiação solar na mesma e, conseqüente, reação do produto com o sol (SILVA, 2018). A estrutura da câmara de secagem é independente composta por uma placa absorvedora e uma bandeja de secagem. Finalmente, em secadores solares mistos, o produto recebe incidência de radiação solar, sendo a sua câmara de secagem uma estrutura independente da superfície absorvedora, com uma cobertura translúcida. Segundo Ferreira (2004) a incidência de radiação solar direta proporciona vantagens sensoriais ao produto seco para a maioria das frutas, fazendo com que o uso dos secadores integrados e mistos sejam mais interessantes. Outra diferença em relação ao secador distribuído é que o secador misto recebe incidência da radiação solar na câmara de secagem e na superfície absorvedora.

2.3. Características do manjericão

Segundo Rodrigues *et al.* (2005) o manjericão é uma espécie da família Lamiaceae mais intensamente cultivada no Brasil. A sua implantação no país se intensificou após a chegada de imigrantes italianos, sendo que para este público a planta faz parte de uma tradição culinária muito forte (REIS *et al.*, 2007).

Segundo Echer *et al* (2011) a espécie caracteriza-se por apresentar ciclo anual ou perene, dependendo do local onde é cultivado ou de acordo com as características agronômicas observadas. O manjericão se desenvolve bem em climas subtropicais, temperados, quentes e úmidos e o seu cultivo pode ser durante o ano todo. A planta tolera baixas temperaturas, porém seu desenvolvimento nessas condições é mais lento (ECHER *et al.*, 2011). Geadas podem causar danos irreparáveis no desenvolvimento da planta.

O manjericão é considerado uma planta medicinal. Essas plantas apresentam princípios ativos úteis à saúde humana podendo ter elevada produção e serem empacotadas. A medicina alternativa utiliza as folhas e flores do manjericão para obtenção de chás por suas propriedades tônicas e digestivas, além de auxiliar no tratamento de problemas respiratórios e reumáticos (ECHER *et al.*, 2011). Algumas outras aplicações do manjericão podem ser encontradas em tempero para alimentos, óleo, bebidas, cosméticos, dentre outros.

A produção brasileira de manjericão é praticada principalmente por pequenos produtores e é voltada para comercialização de folhas verdes aromáticas (MAY *et al.*, 1998).

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Secadores solares

O principal objetivo dessa revisão de literatura foi realizar um levantamento sobre os principais tipos de secadores solares, além de abordar as diferenças, vantagens e desvantagens entre eles, como pode ser visto na figura 2.

O processo de secagem pode ocorrer basicamente de duas formas: secagem natural, também chamada de secagem ao sol, e secagem em secador. Segundo Silva (2018) o uso do secador nem sempre é utilizado por produtores rurais, pois a secagem com secador é mais cara do que a secagem natural. Entretanto apresenta inúmeras vantagens como, por exemplo, degrada menos a clorofila, protege o produto de intempéries, a secagem ocorre mais rápida, o produto não absorve umidade em períodos úmidos, apresenta secagem completa, dentre outros (FERREIRA *et al.*, 2014).

A maioria dos secadores tem o mesmo princípio de secagem: o ar é aquecido, circula no produto, em seguida retira a umidade deste produto.

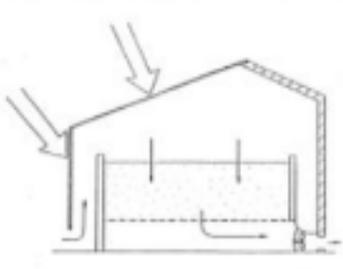
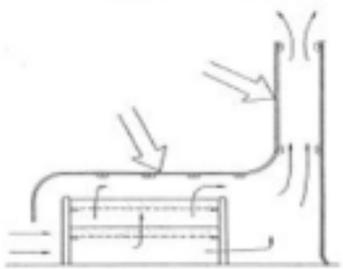
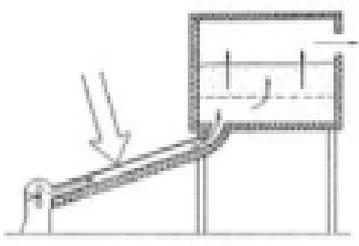
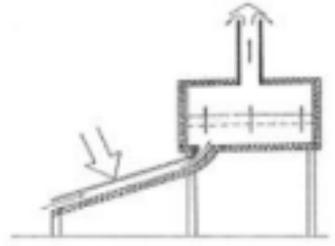
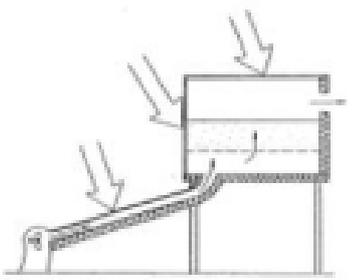
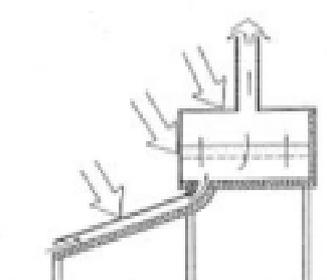
Dentre as classificações dos secadores solares duas são mais recorrentes. Uma delas está relacionada com o escoamento do ar, ativo e passivo (MEKHILEF *et al.*, 2011). Enquanto que a outra leva em consideração a estrutura do secador e a maneira de exposição do produto à radiação, integrado, distribuído e misto (EKECHUKWU *et al.*, 1999), como pode ser visto na figura 3.1. Os fatores que interferem no processo (umidade do produto) e a necessidade do controle da temperatura do ar de secagem vão ser fundamentais na escolha do tipo de secador.

No secador solar passivo, o escoamento do ar ocorre de forma natural, ou seja, apenas pela diferença de pressão, e de temperatura, e pelo empuxo, causado pela diferença da densidade do ar (KAPADIYA *et al.*, 2014). Por outro lado, no secador solar ativo o escoamento do ar é forçado com o auxílio de algum equipamento como, por exemplo, ventiladores e exaustores. Normalmente esses secadores funcionam à base de algum tipo de energia o que encarece o preço da secagem, dentre eles: energia elétrica, combustível fóssil ou energia fotovoltaica (BELESSIOTIS e DELYANNIS, 2011), e são chamados de secadores artificiais.

Segundo Ferreira *et al.* (2014) apesar dos secadores artificiais apresentarem bom desempenho é necessário buscar sistemas, nos quais, utilizem tecnologias de energia

sustentável e renovável, ou seja, é preciso levar em consideração os impactos ambientais que o uso dos combustíveis pode causar. Dessa forma, o secador solar a base de energia solar se apresenta como uma alternativa interessante.

Figura 2 - Tipos de secadores.

TIPO	ATIVO	PASSIVO
INTEGRADO (DIRETO)		
DISTRIBUÍDO (INDIRETO)		
MISTO (COMBINADO)		

⇒ RADIAÇÃO SOLAR

→ ESCOAMENTO DE AR

Fonte: Adaptado de EKECHUKWU e NORTON, 1999.

3.1.1. *Secadores ativos e passivos*

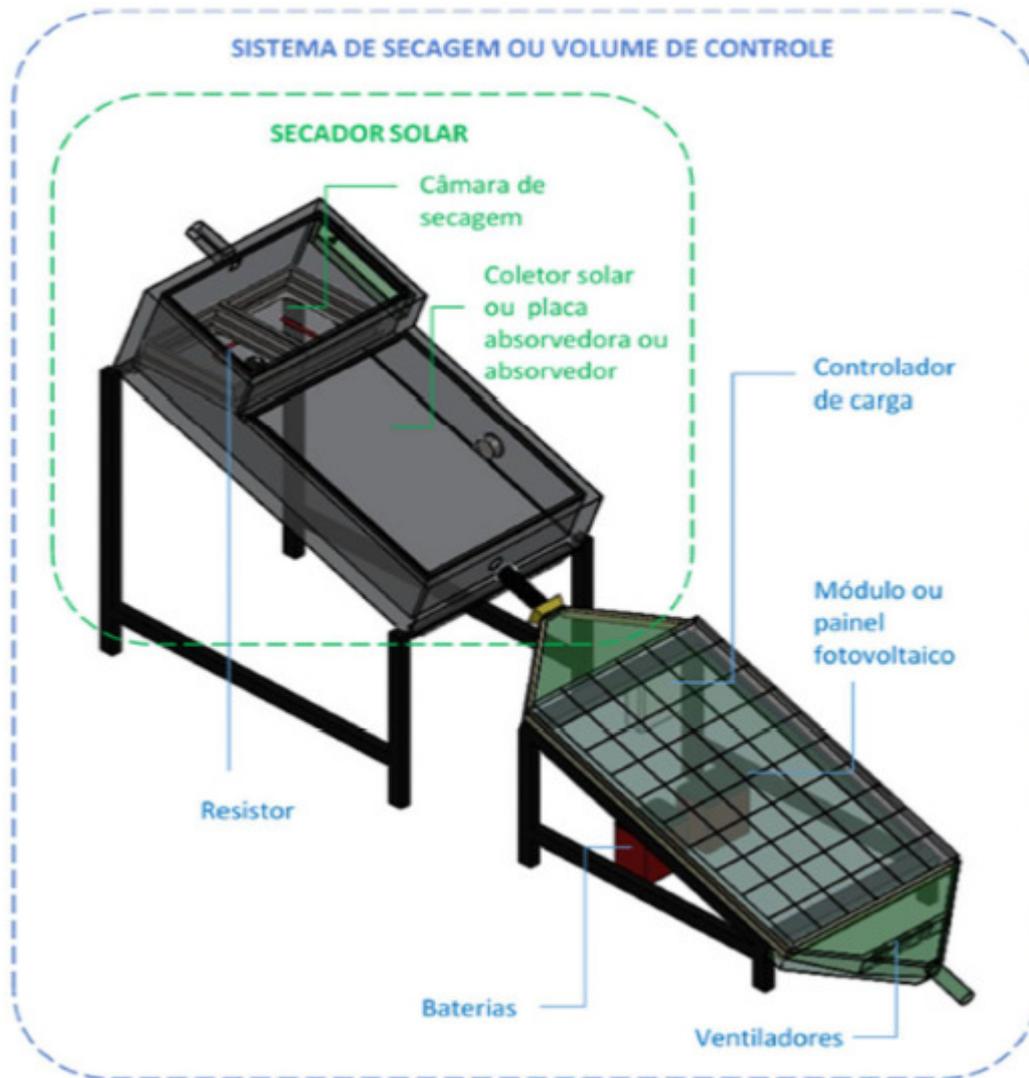
Nos secadores ativos e passivos ocorre escoamento do ar por convecção de duas formas: forçada (ativo) e natural (passivo).

Nos secadores ativos a convecção ocorre de maneira forçada, ou seja, por um ventilador, compressor ou exaustor, necessitando, assim, de uma fonte de energia elétrica. A secagem no secador ativo ocorre de forma mais homogênea e rápida. A figura 3 apresenta um secador solar ativo, que aquece o ar através de um resistor ligado em um painel fotovoltaico. Segundo Silva (2018) o escoamento do ar entra pelos dutos devido ação de ventiladores, em seguida esse escoamento é aquecido, pois o duto no qual ele está inserido se encontra em baixo do painel fotovoltaico, que dissipa calor devido ao seu aquecimento. A energia gerada pelo painel alimenta o ventilador e o carregador de baterias, responsável por armazenar energia utilizada para acionar o resistor nos horários de pouca incidência solar. Quando o escoamento de ar entra no coletor solar do secador, a sua temperatura é aquecida, devido a radiação incidente na cobertura de vidro. Ao deixar o coletor solar e entrar na câmara de secagem, o escoamento de ar entra em contato com o resistor elétrico, responsável por manter a temperatura interna do secador superior àquela registrado em seu exterior, tem a sua temperatura novamente aquecida, e retira a umidade presente no produto a ser secado, milho no caso. O escoamento de ar, com maior teor de umidade, deixa o secador através de um tubo circular presente na saída da câmara de secagem. Segundo Silva (2018) apesar da baixa umidade final do milho registrada, o equipamento tem capacidade de reduzir ainda mais esses teores. O aumento da temperatura pelo resistor potencializa a capacidade de retirada do teor de umidade do produto. O uso do painel fotovoltaico é interessante, porque até mesmo o calor dissipado pode ser utilizado no processo de secagem. A eficiência da secagem foi maior em produtos com maior massa, ou teor de umidade.

Por outro lado, no secador passivo a fonte de energia do processo se dá através da convecção natural do ar. Um dos problemas desse secador é a estagnação do fluxo de ar em períodos de baixa radiação solar gerando assim menor volume de produto seco durante o ano. Na figura 4 é apresentado um secador solar passivo, no qual, segundo Oliveira (2014) a radiação incidente atravessa a cobertura de vidro atingindo o interior do secador (pintado em preto fosco para aumentar a absorção dessa radiação). Essa radiação aquece o escoamento de ar que entra pelo coletor solar. O escoamento de ar atinge a câmara de secagem, e devido a sua elevada temperatura, remove a umidade presente no produto, em seguida sai do secador.

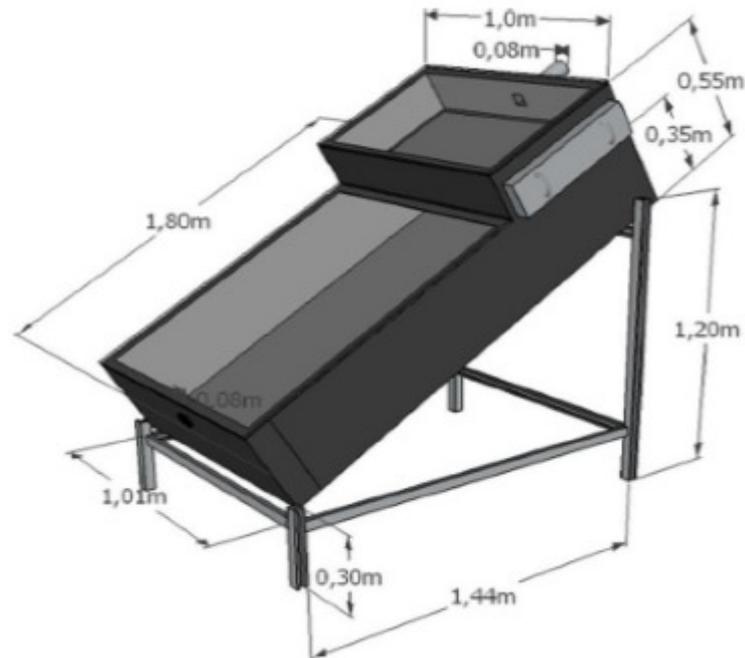
Neste trabalho Oliveira (2014), onde foi realizado a secagem de banana, o secador apresentou melhor eficiência com valores menores de vazão mássica do ar secante e maior carregamento.

Figura 3 - Secador solar ativo.



Fonte: SILVA, 2018.

Figura 4 - Secador solar passivo.



Fonte: GOBBI, 2014.

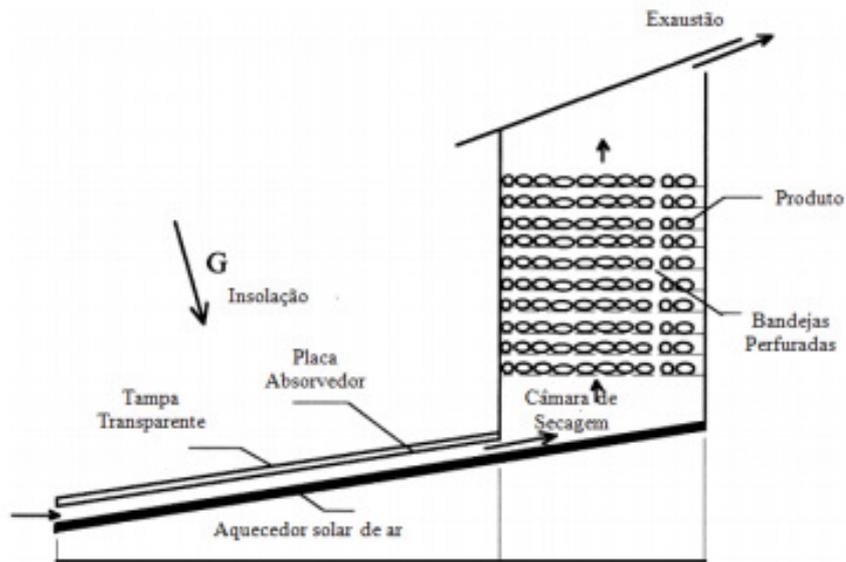
3.1.2 Secadores integrados (direto) x distribuído (indireto) x mistos

O secador integrado é mais barato e de operação mais simples que o distribuído para a mesma capacidade (EKECHUKWU e NORTON, 1999). O produto fica exposto diretamente à radiação solar e o fluxo de ar ocorre através de convecção natural, dessa forma ocorre absorção de parte da radiação pelo produto a ser secado. Esse processo é mais indicado para frutas.

Basicamente existem dois tipos de secadores passivos integrados: do tipo cabine e do tipo estufa.

No secador solar tipo cabine, a radiação solar visível atravessa a cobertura translúcida e incide dentro da câmara de secagem, como pode ser visualizado na figura 5. Parte da radiação é absorvida pelo produto, parte pelas superfícies absorvedoras da câmara e parte é refletida por essas mesmas superfícies. Essa absorção da radiação ocasiona aumento na temperatura interna, assim a superfícies do produto e as paredes internas da câmara, começam a emitir radiação infravermelha, logo, a energia térmica fica retida no interior da câmara aumentando a temperatura do ar e a secagem do produto. Segundo Sharma *et al.* (2009), a cobertura translúcida também impede a perda de calor pela convecção direta entre o ar ambiente e o produto no interior da câmara.

Figura 5 – Secador solar do tipo cabine.



Fonte: JANNOT e COULIBAY (1998).

No secador solar tipo estufa, ilustrado na figura 6, o princípio da radiação e absorção solar é muito parecido com aquele apresentado pelo tipo cabine, porém, segundo Ferreira *et al.* (2008) a radiação solar transmitida através da cobertura translúcida é absorvida pelo solo e conseqüentemente aquece o ar interno, gerando um escoamento em convecção natural que passa através do produto úmido. Sendo possível inserir uma chaminé na extremidade de saída da estufa para liberar o ar úmido.

Secadores solares passivos do tipo estufa com chaminé são adequados para a secagem de produtos em larga escala, apresentam escoamento em convecção natural de grande vazão e apresentam baixo custo de construção e operação (FERREIRA, 2004).

Em ambos os secadores a câmara de secagem e a placa absorvedora, utilizadas para aquecer o ar, estão localizadas na mesma estrutura.

Segundo Vasconcelos (2017) apesar de os produtos estarem protegidos das poeiras e insetos, verifica-se uma perda de qualidade de alguns produtos vegetais, consequência da exposição direta aos raios solares e da degradação da clorofila, assim essa forma de secagem não é indicada para ervas e hortaliças.

Figura 6 – Secador integrado do tipo estufa.



Fonte: RINGEISENET *et al.*, 2014.

No secador solar distribuído se encontram basicamente duas estruturas básicas: a placa absorvedora e a câmara de secagem, como pode ser visto na figura 7. Na placa absorvedora ocorrem captação e conversão de energia, sendo essa estrutura uma caixa com isolamento térmico, cobertura translúcida e revestimento interno na cor preta. Aqui a câmara de secagem é escurecida, a fim de evitar reação do produto com o sol. A câmara de secagem também apresenta isolamento térmico, sendo uma caixa opaca onde se encontram suporte para as bandejas de secagem. No fundo da câmara se encontra a saída para o ar úmido.

Segundo Gava (1998) em produtos como ervas e hortaliças, a radiação solar acarreta uma degradação da clorofila tornando o produto escuro além de ocasionar uma redução do teor de vitaminas das mesmas, assim sendo o uso de secadores distribuídos mais adequado.

A placa absorve a energia solar incidente e aquece o fluxo de ar que passa sobre ela. O ar aquecido é encaminhado para a câmara de secagem, onde o produto úmido está acondicionado sobre bandejas. Ao passar pelo produto o ar é aquecido e retira umidade do

mesmo (SHARMA *et al.*, 2009). A chaminé tem a função de aumentar o fluxo de ar no secador, através da sucção do ar úmido.

É preciso atentar para o ângulo de inclinação do coletor solar, pois ele influencia diretamente na convecção do ar dentro do secador.

Segundo Ekechukwu e Norton (1999) as principais desvantagens do secador solar distribuído são: flutuações na temperatura da câmara de secagem, os resultados são inconstantes, estrutura mais complexa, resultando maior investimento e custos com manutenção.

Figura 7 - Secador distribuído para secagem de banana verde.



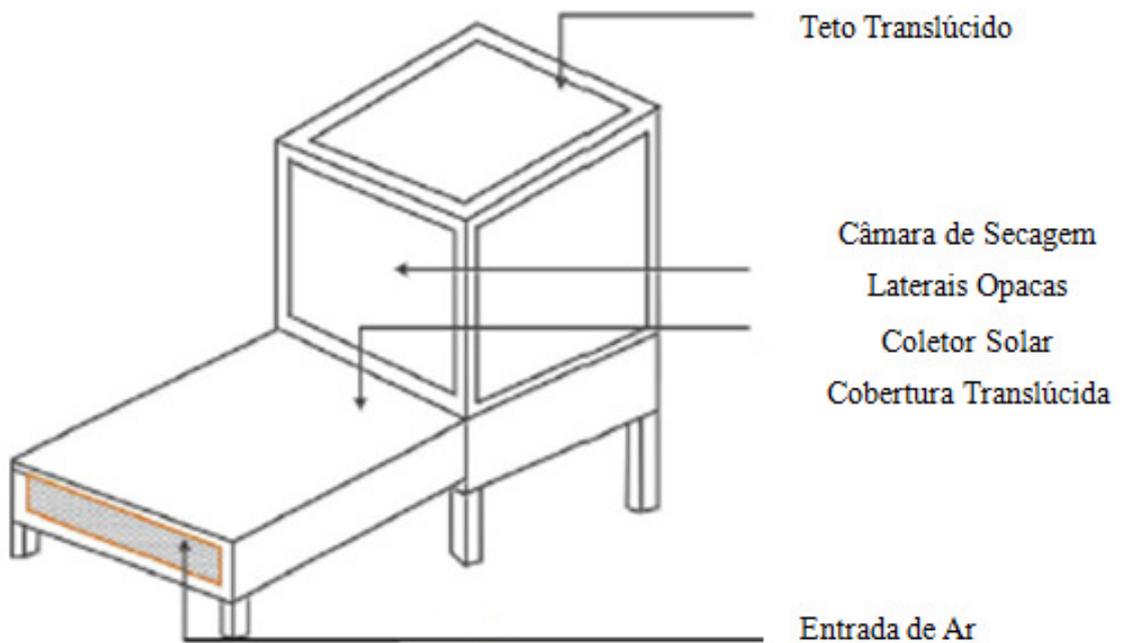
Legenda: Visão frontal (A) e lateral (3) do secador solar com telha de fibrocimento e telha de alumínio ondulada como superfície absorvedora.

Fonte: SILVA, 2010.

O secador misto é uma combinação do secador integrado com o distribuído. Ele tenta resolver os inconvenientes gerados por ambos, a umidade do produto sofre ação tanto da exposição à luz solar, quanto pelo ar aquecido fornecido pelo coletor para realizar a secagem. Contudo o seu custo é mais elevado. Os secadores solares misto normalmente são de dois tipos: secadores solares passivos mistos e secadores solares passivos distribuídos. No primeiro caso apresenta duas câmaras (absorvedora e de secagem) ocorre irradiação solar em ambas, sendo suas paredes transparentes, como visto na figura 8. Já no outro tipo, a câmara de secagem possui cobertura revestida com material opaco, ilustrado na figura 9. Em ambos a energia solar é utilizada apenas para pré aquecer o ar quando passa pela câmara de secagem.

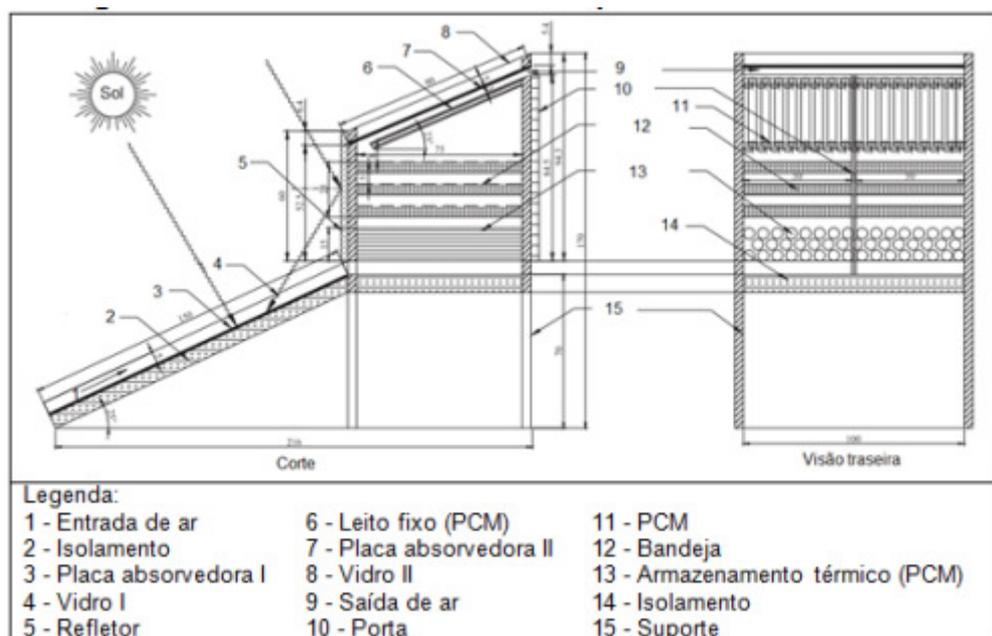
O uso de ventiladores elétricos tem a função de aumentar a circulação de ar dentro do secador. Há ainda uma fonte de energia suplementar para manter a temperatura constante no secador. Assim como o secador integrado, o misto também é indicado para secagem de frutas.

Figura 8 – Secador solar passivo misto.



Fonte: Adaptado de MUSTAYEN *et al.*, 2014.

Figura 9 - Secador solar passivo distribuído.



Fonte: Adaptada de JAIN e TEWARI (2015).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. O secador

O secador solar, ilustrado na figura 10, foi construído no laboratório de caldeiraria (L.150) do Departamento de Engenharia de Materiais do CEFET-MG, *campus* I. A estrutura do coletor solar foi projetada em caibros comerciais, Saligna, madeira de baixa densidade, que minimiza perdas térmicas, por ser isolante térmico. Revestimento interno e externo feito por chapas finas de aço galvanizado, de espessura de aproximadamente 0,3 mm, como pode ser visualizado na figura 11. As chapas garantem proteção à estrutura de madeira em relação às intempéries e também à própria umidade oriunda do processo de secagem. O espaço vazio entre as chapas metálicas internas e externas do secador foi completamente preenchido com lã de vidro, tendo a função de atuar como um isolante térmico do secador.

Figura 10 – Secador solar passivo distribuído.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Para garantir maior absorção da radiação solar, maximizar sua eficiência, aumentar a temperatura do fluxo de ar de secagem e reduzir a degradação da clorofila da hortaliça o secador será pintado com tinta preto fosco em todas as suas superfícies metálicas, interna e externamente, que recebem radiação solar direta. A cobertura do secador é feita com um vidro de espessura de 3 mm e área de coleta da radiação solar é de 700 mm X 520 mm e espessura

de 1 mm, como ilustrado na figura 12. A radiação solar recebida aquece o escoamento de ar que entra no secador.

Figura 11 - Estrutura de madeira.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A câmara de secagem, figura 13, foi construída em PVC com cerca de 2000 mm de comprimento e diâmetro variável entre 150 mm, no início da saída, e 50 mm, no final da saída (essa diferença de diâmetro auxilia na sucção do ar), no formato circular, também pintada de preto externamente, com uma bandeja telada no meio da porta de acesso, como pode ser visualizado na figura 14.

A câmara de secagem funciona como uma chaminé, realizando a tiragem do ar, através da sucção do mesmo, que circula dentro do secador.

O suporte para o material que será secado é a bandeja de secagem, que se encontra no interior da câmara da secagem.

Figura 12 – Cobertura de vidro.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Figura 13 – Câmara de secagem.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Figura 14 – Bandeja de secagem.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Em relação ao funcionamento desse secador, parte da radiação solar atravessa a cobertura de vidro e é absorvida pela placa absorvedora, pintada em preto fosco. A placa aquecida, transfere calor por convecção para dentro do coletor. Este ar quente tem sua densidade reduzida e, por convecção natural (principalmente pela tiragem da chaminé), escoar ascendentemente. O ar quente passa pelo produto na câmara de secagem, reduzindo seu teor de umidade. O ar a temperatura ambiente entra pela abertura do secador, garantindo o seu funcionamento contínuo.

4.2. Sistemas de medição

A medição da umidade inicial foi realizada em uma estufa de secagem e esterilização com controle de temperatura microprocessador, display digital, 200 W de potência de aquecimento, modelo NT522 Nova Técnica, ilustrado na figura 15.

Figura 15 - Estufa de secagem e esterilização nova técnica.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Uma balança digital, Toledo modelo 9094 C; incerteza de medição de ± 1 g, foi utilizada para avaliar a massa das amostras de hortaliças, antes e durante o processo de secagem em estufa, em secador solar e na secagem natural, figura 16;

Figura 16 – Balança digital toledo.



Fonte: MACIEL, 2017.

Para medição de velocidade, temperatura e umidade relativa do escoamento do ar na entrada, utilizou-se um Termo-higro-anemômetro Icel, modelo AN-4870, ilustrado na figura 17; faixa de medição da velocidade do ar de 0,1 m/s a 35 m/s e incerteza de medição de 3% do valor lido; faixa de medição de temperatura de -20°C a 70°C com incerteza de medição de $0,6^{\circ}\text{C}$; e faixa de medição de umidade relativa de 0% a 100%, com incerteza de medição de 3% para faixa de medição de 10% a 90% e de 5% para as demais faixas de medição;

Figura 17 – Termo-higroanemômetro e termo-higronômetro.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Na saída do secador para medição das temperaturas e umidades do escoamento de ar foi utilizado um Termo-higronômetro. Marca Akso, modelo AK174, ilustrado na figura 17. Com faixa de medição de temperatura de -30°C a 85°C e incerteza de $0,5^{\circ}\text{C}$, e faixa de medição de umidade relativa de 0% a 100%, com incerteza de 3 %;

Através do Piranômetro Kipp&Zonem, foi medida a irradiação solar incidente sobre o secador, como ilustrado na figura 18, modelo CMP21, incerteza de medição $<1\%$ para temperaturas entre -20°C e 50° . O equipamento suporta incidência de radiação solar de até $4000\text{W}/\text{m}^2$. O seu posicionamento foi ajustado para seguir a inclinação do secador, com tolerância de aproximadamente 1. Foi necessário o acoplamento de um multímetro digital, marca Exbom, modelo MD-180L para aferir os resultados de irradiação.

Figura 18 – Piranômetro e multímetro digital.



Fonte: NEPOMUCENO, 2019.

4.2.1. *Ensaio de secagem das amostras*

Para a obtenção das curvas de secagem, as amostras foram distribuídas uniformemente entre bandejas, com aproximadamente 100 gramas, para o secador e secagem ao sol, respectivamente. As amostras foram identificadas e pesadas separadamente com auxílio de uma balança digital, imediatamente antes de serem colocadas no secador. A bandeja contendo a amostra de referência teve sua massa avaliada periodicamente (mx) a cada 15 minutos, cada pesagem de amostra de referência foi realizada e, logo em seguida, a bandeja de referência era retornada para a câmara de secagem. A pesagem manual da amostra de referência se fez necessária para traçar a curva de secagem, devido o secador solar não dispor de uma célula de carga. O ensaio de secagem foi realizado no mês de outubro, com o secador carregado, durante 6 horas (09h 00 às 15h 00), este intervalo de tempo foi adotado com intuito de se aproveitar toda disponibilidade de radiação solar. Ao final de cada ensaio, a umidade final de todas as amostras foi avaliada, com o objetivo de se estabelecer uma avaliação estatística da homogeneidade da secagem, no interior da câmara de secagem. Durante os ensaios, além da variação da massa da amostra de referência, foram medidas a umidade relativa e temperatura do ar, na entrada e na saída do secador (utilizando-se um Termo-higrômetro na saída e Termo-higroanemômetro na entrada), a velocidade do ar na entrada do secador (utilizando um Termo-higroanemômetro) e a radiação solar global no plano do secador (utilizando-se um Piranômetro). As medições dos parâmetros de análise

foram realizadas também em intervalos de 15 minutos, durante todo o processo de secagem. A partir dos resultados obtidos nos ensaios foi possível realizar correlações entre os parâmetros do processo de secagem, além de obter a umidade relativa e teor de umidade em base seca em função do teor de umidade de base úmida.

4.2.2. *Ensaio de umidade inicial*

O teor de umidade inicial das amostras de hortaliça foi avaliado utilizando-se a estufa da figura 15, a uma temperatura de (105 ± 2) °C durante 24 h.

$$m_{\text{manjeri\c{c}o}} = m_{\text{bandeja_cheia}} - m_{\text{bandeja_vazia}} \quad (1)$$

Segundo a norma NBR: 9939(1987) a umidade inicial pode ser calculada a partir da equação (2)

$$U_{i(B.U)} = \frac{mi - mf}{mi} \quad (2)$$

Onde $U_{i(B.U)}$ representa o teor de umidade inicial em base úmida, mi a massa inicial da amostra e mf a massa final da amostra seca.

Inicialmente retirou-se uma amostra do manjeri\c{c}o, j\c{a} selecionadas. Mediu-se a massa da bandeja vazia, a massa apenas da amostra de manjeri\c{c}o e a massa do manjeri\c{c}o dentro da bandeja, anotado o valor da massa inicial (mi). Em seguida, inseriu-se a amostra na estufa, ajustou a temperatura para 105°C e o tempo de secagem para 24 horas.

Ap\c{o}s o per\c{i}odo de secagem, retirou-se a amostra da estufa, pesando e registrando a massa final (mf) do manjeri\c{c}o.

O cont\c{e}udo de umidade afeta as propriedades f\c{i}sicas de uma subst\c{a}ncia, como o peso, a densidade, a viscosidade, o \c{i}ndice refrat\c{a}rio, a condutividade el\c{e}trica dentre outras. O teor de umidade pode ser expressa em base \c{u}mida (U_{bu}) ou base seca (U_{bs}), conforme as Eq.(3) e (4), respectivamente;

$$U_{bu} = \frac{m_{\text{\c{a}gua}}}{m_{\text{seca}} + m_{\text{\c{a}gua}}} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

$$U_{bs} = \frac{m_{\text{\c{a}gua}}}{m_{\text{seca}}} \quad (4)$$

A Eq.(3) pode ser reescrita conforme a Eq.(5), a partir das seguintes considera\c{c}\c{o}es:

A massa de água ($m_{\text{água}}$) é o resultado da diferença entre a massa do produto no início (m_i) e no final (m_f) do processo de aquecimento. A soma das massas seca (m_{seca}) e de água ($m_{\text{água}}$) equivale à massa do produto no início da secagem (m_i).

$$U_{bu} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 (\%) \quad (5)$$

4.3. Planejamento experimental do ensaio de secagem

Os testes se iniciaram na estufa, a fim de se obter a umidade inicial, às 7h da manhã no dia 03/10/19 (quinta-feira) com duração de 24 h. Três bandejas foram medidas (uma para estufa, outra para o secador e outra para a secagem natural) vazias, cheias (com manjeriçã) e só o manjeriçã.

Em relação ao ensaio no secador, foi posicionado o Piranômetro, feito as ligações elétricas e fixado o Termo-higro-anemômetros na entrada e o Termo-higronômetro na saída, afim de se obter a temperatura de entrada e saída, velocidade do ar na entrada e umidade do ar na entrada e saída do secador. O ensaio no secador iniciou-se às 9h da manhã, ao inserir uma bandeja com manjeriçã no secador e outra bandeja para a secagem natural, ao sol, como ilustra a tabela 2.

As variações das massas, nos dois ensaios, foram registradas a cada 15 minutos, até as 15 h, a fim de construir uma curva de secagem, minimizando a possibilidade de erros.

Tabela 2 – Massa do manjeriçã.

Massa	Bandeja Vazia (g)	Bandeja Cheia (g)	Manjeriçã (g)
Secador	603	710	107
Natural	552	664	112

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Os teores de umidades instantâneas para o ensaio ao sol e no secador foram calculados através da seguinte equação:

$$U_{X(B,U)} = 100\% - \left[\frac{m_i}{m_x} (100\% - U_{i(B,U)}) \right] \quad (6)$$

Onde;

$U_{X(B,U)}$ representa o teor de umidade instantânea em base úmida;

m_i é a massa inicial;

m_x representa a massa instantânea em um determinado tempo;

$U_{i(BU)}$ é o teor de umidade inicial do produto na base úmida;

A vazão mássica foi calculada a cada instante através da equação:

$$\dot{m} = \rho V \pi \frac{\phi^2}{4} \quad (7)$$

Onde;

$\phi = 0,072m$ e a densidade do ar é calculada por:

$$\rho = \frac{P}{287\bar{T}} \quad (8)$$

Patm em Belo Horizonte é aproximadamente 91500 Pa;

$$\bar{T} = \frac{T_i + T_o}{2} \quad (9) \text{ a cada instante;}$$

V é a velocidade do ar na entrada do secador;

Em seguida calculou-se a eficiência térmica pela equação:

$$\eta_s = \frac{\int \dot{m}(h_o - h_i) dt}{\int G.A dt} \quad (10)$$

Onde \dot{m} é a vazão mássica do ar secante, A é a área da abertura do vidro sobre o secador, h é a entalpia e G é a irradiação solar.

Por fim a eficiência de secagem ao final do ensaio foi calculada pela equação:

$$\eta_s = \frac{m_{\text{evap}} \cdot h_{lv}}{\int G \cdot A dt} \quad (11)$$

Onde;

m_{evap} é a massa total de água evaporada no secador ($m_i - m_f$);

h_{lv} é o calor latente de vaporização da água (2382700 J/kg).

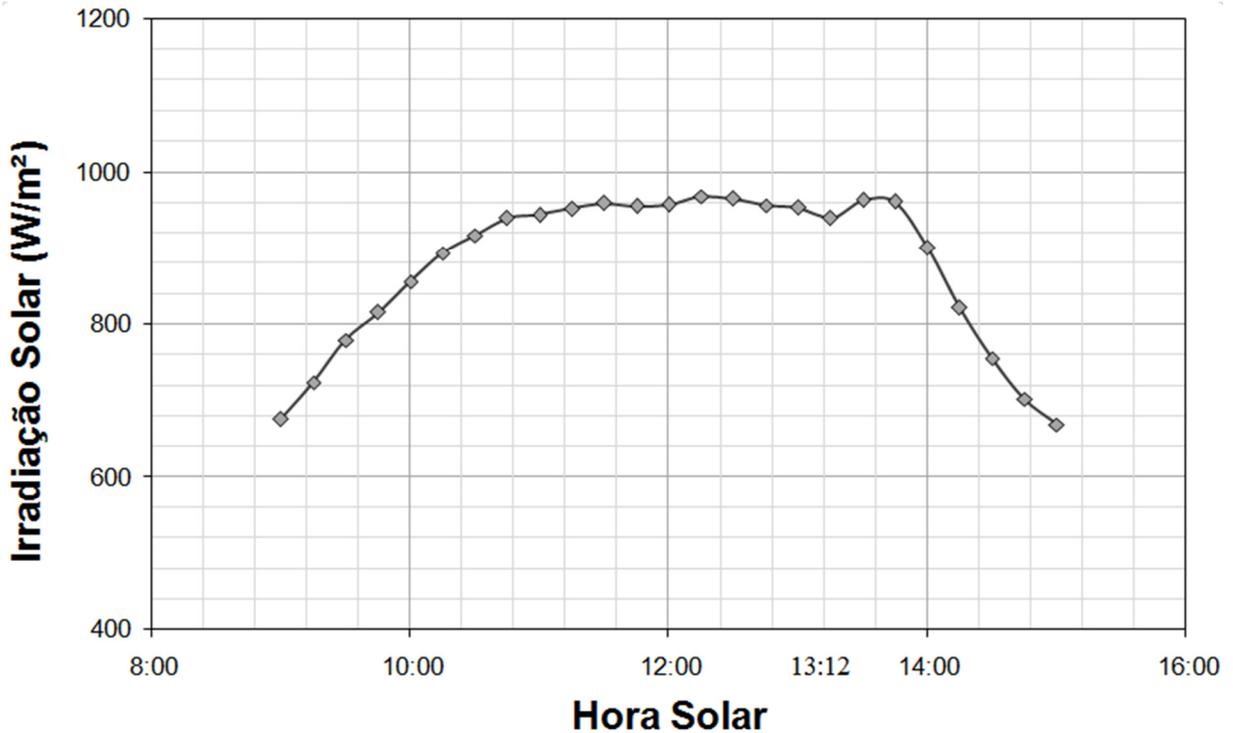
Ao todo foram realizadas 25 medições, em um único ensaio, no secador com manjerição. Segundo Reis (2016) setembro e outubro são os meses que historicamente apresentam poucas chuvas e aumento da insolação em Minas Gerais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Condições ambientais

O ensaio foi realizado no dia 03/10/2019, no período de 9 h as 15 h. Foram medidos os seguintes parâmetros: radiação global no plano do coletor (G), temperatura ambiente (T_{amb}), temperatura do ar secante ($T_{saída}$), umidade relativa ambiente (UR_{amb}), umidade relativa do ar secante ($UR_{saída}$), velocidade de escoamento do ar secante (V_s). E calculados os seguintes parâmetros: teor da umidade inicial do manjeriço em base úmida $U_{i(B.U)}$, teor de umidade instantânea (U_x), massa inicial do manjeriço (m_i), massa final do manjeriço (m_f) e massa de água removida (m_{H_2O}). Posteriormente analisaram-se dados importantes para o estudo, como por exemplo, curva de secagem, temperatura máxima do ar de escoamento, comparação do tempo de secagem no secador e na secagem natural e eficiência de secagem. Dentre os principais parâmetros analisados podemos citar a irradiação solar, que demonstra no gráfico 1 o comportamento senoidal do sol ao longo do dia, possibilitando verificar a grande variação da irradiação em curto espaço de tempo. A irradiação média encontrada foi de $876,8 \text{ W/m}^2$ aproximadamente no horário de 10h às 10h 30min. Por outro lado, a irradiação máxima foi de 968 W/m^2 aproximadamente no horário das 12h 30min.

Gráfico 1 – Variação da irradiação solar.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

No dia do ensaio a atmosfera apresentou baixa nebulosidade e elevada irradiação solar, proporcionando assim condições ideais para a aquisição de dados.

Conforme o esperado, a irradiação permaneceu crescente no período matutino, até por volta do meio-dia, período de maior irradiação solar. No período vespertino, a irradiação se comportou de forma decrescente. Em alguns momentos do ensaio a presença de nuvens prejudicou a aquisição exata de dados, fatos que podem ser verificados no Gráfico 1 às 12 h, aproximadamente 12h 24min. e no intervalo entre 13h12min às 14h. Porém essa nebulosidade foi apenas parcial.

As temperaturas médias e máximas na entrada e na saída podem ser verificadas na tabela 3.

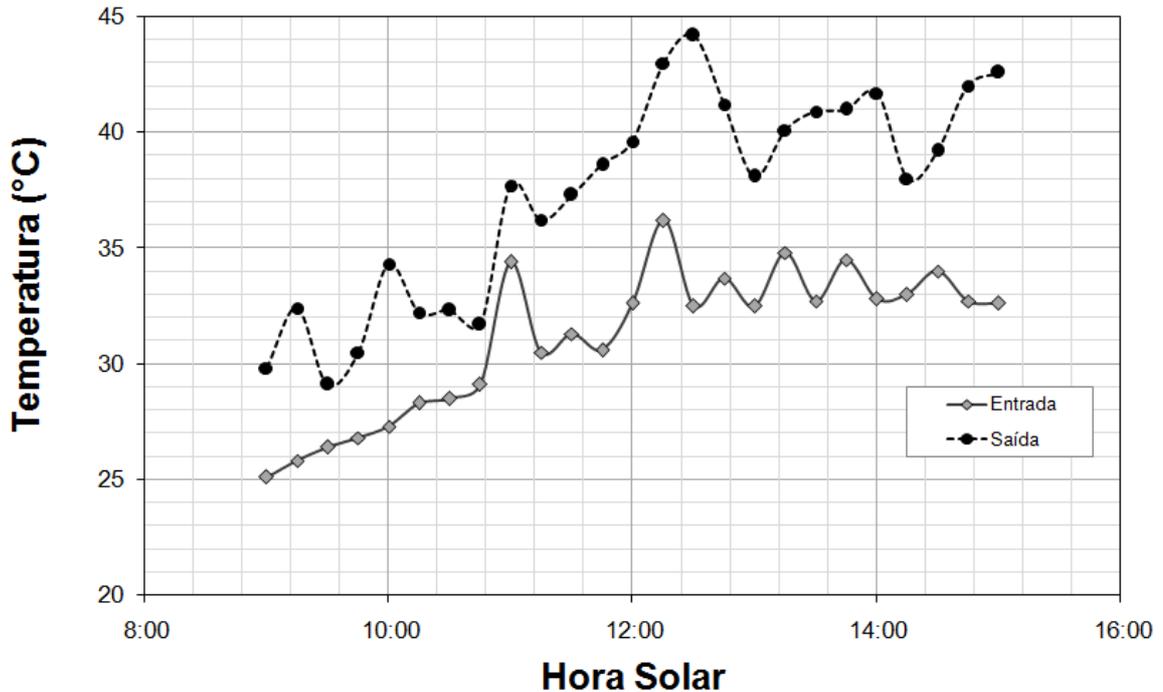
Tabela 3 – Temperaturas de entrada e saída.

	Temperatura de entrada T_i (°C)	Temperatura de saída T_o (°C)
Média	31,1	37,3
Máxima	36,2	44,2

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A temperatura é um parâmetro que está diretamente relacionada com a irradiação solar, que pode ser verificado ao comparar os gráficos 1 e 2, onde a temperatura é crescente até 12 h.

Gráfico 2 – Temperatura de entrada e saída.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A irradiação influencia principalmente na temperatura de saída, pois ela é a principal responsável por manter as condições térmicas encontradas dentro do equipamento, na qual modifica as condições do escoamento do ar que entra no secador, elevando a temperatura do ar. As maiores temperaturas de entrada e saída ocorreram por volta de 12h 20min e ficaram em torno de 36,2°C, como pode ser verificado na tabela 1.

Ao comparar as temperaturas de entrada e saída verifica-se que a temperatura de saída é predominantemente maior do que na entrada, comprovando a capacidade do secador em aumentar a temperatura do ar. Fenômeno esse influenciado pela diferença de temperatura, na qual o ar quente dentro da chaminé gera empuxo que empurra o ar quente para fora da câmara de secagem, pois o ar quente tem menor densidade. Outro parâmetro responsável pela elevação da temperatura de saída é a irradiação térmica, pois ela mantém as condições térmicas encontradas dentro do equipamento, na qual modifica as condições do escoamento do ar que entra no secador, elevando a temperatura do ar. Outro fator de influencia no gráfico da temperatura de entrada foi o sensor Termo-higro-anemômetro, que quando exposto ao sol apresentava valores de leituras aleatórios.

A tabela 4 e o gráfico 3 apresentam valores percentuais de umidade relativa do ar de entrada e saída. Devido à baixa de nebulosidade no dia do experimento, pode-se dizer que houve pouca interferência nos resultados.

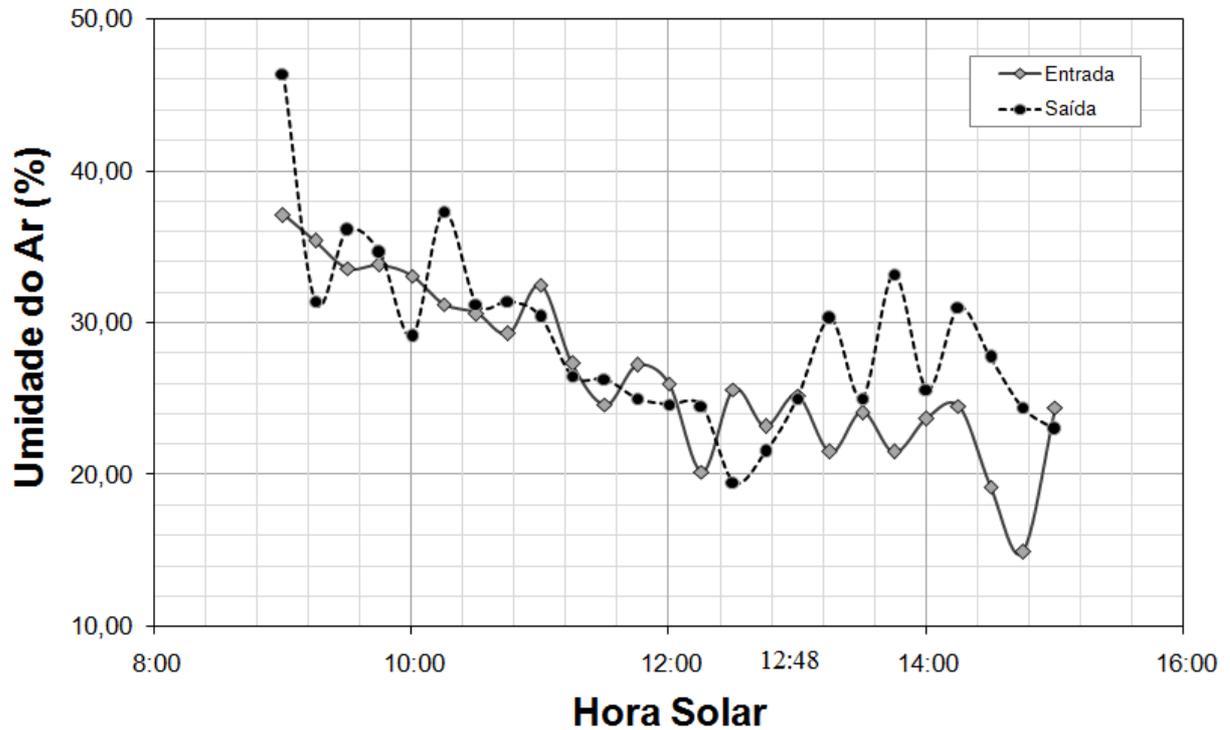
Tabela 4 – Umidade do ar na entrada e na saída.

	Umidade na entrada ϕ_i (%)	Umidade na saída ϕ_o (%)
Média	26,8	28,8
Máxima	37,1	46,4

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Ao analisar o gráfico 3, pode-se verificar que por volta de 12h 15min houve decréscimo tanto na umidade de entrada quanto na umidade de saída, fenômeno influenciado pela maior intensidade de irradiação solar no período matutino. Outro fator que influencia no decréscimo do teor de umidade do ar, na saída, é a retirada de umidade do produto, pois quanto mais umidade é retirada, menos umidade resta para ser retirada, conseqüentemente, os valores de umidade do ar na saída tendem a decrescer. Por volta das 12h 48min a umidade de saída apresentar valores crescentes, devido à inércia térmica presente dentro do secador, no qual potencializa a secagem do produto. Ao comparar os gráficos 2, temperatura, e 3, umidade do ar, é possível perceber que a temperatura e a umidade relativa do ar são grandeza inversamente proporcionais, ou seja, o aumento da temperatura reduz o teor de umidade do ar, as ligações que formam as moléculas de água se separam, deixando de ser vapor d'água. A variação das umidades de entrada e saída do ar foi parecida, e podem ser verificados que as maiores umidades do ar ocorrem no mesmo instante entre 8h 48 min. a 9h 12 min.. Além disso, as umidades médias foram próximas, 26,79 % na entrada e 28,84 % na saída.

Gráfico 3 – Umidade do ar na entrada e na saída.

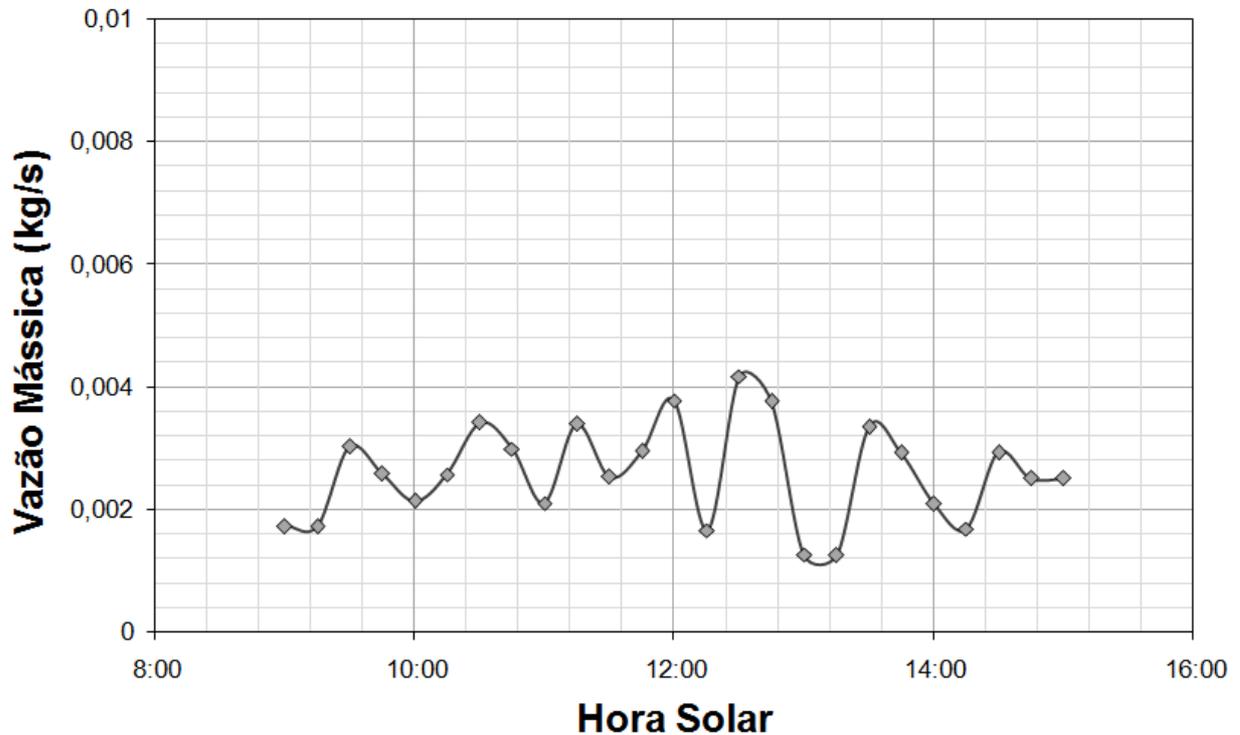


Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Dentre os principais parâmetros que contribuíram para os valores de umidade do ar na saída, podemos citar: o aumento da temperatura do ar ambiente, aumento da temperatura do escoamento de ar no interior do secador e a redução da umidade de ar do produto a ser secado, manjeriço.

A oscilação da vazão mássica referente ao gráfico 4 tem influencia da variação térmica, responsável por alterações nas propriedades do ar como viscosidade e densidade, que afeta na perda de carga do produto a ser secado e no empuxo do ar quente, devido a inclinação do secador. Vazão mássica média foi de 0,0026 kg/s e a máxima 0,0042 kg/s. A vazão do ar é forçada pela velocidade do escoamento do ar na entrada do secador escoamento.

Gráfico 4 – Vazão mássica.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

5.2. Caracterização do escoamento no secador

O ar quando entra no secador, por um cone, é aquecido por convecção ao passar sobre a placa absorvedora. Esse aquecimento acontece devido à irradiação solar incidente sobre o vidro presente na superfície do secador.

O ar entra a câmara de secagem, chaminé, onde se encontram a bandeja, a qual contém as amostras de manjeriço. Para esse ar sair do secador ele sofre influência de três parâmetros importantes: diferença de Pressão (contribui menos para essa saída), diferença de temperatura e inclinação do secador. Em relação à pressão, na entrada do secador há maior pressão (ponto mais baixo), e na saída menor pressão (ponto mais alto). Entretanto, para a pressão ter influência relevante na condução do ar até a saída é necessário que a altura, entre a entrada e saída, seja maior do que o apresentado pelo secador. Por outro lado, a temperatura tem maior influência nos resultados desse experimento, pois o ar quente dentro da câmara de secagem e a altura da chaminé, câmara de secagem, são suficientes para gerar empuxo, que empurra o ar para fora do secador. Quanto maior a temperatura, menor a densidade do ar. Uma coluna de temperatura maior ocasiona uma coluna de densidade menor. Dessa forma a saída do ar será controlada. A inclinação, em torno de 20° , interfere em dois parâmetros: saída

do ar e irradiação solar. Na saída do ar a importância da inclinação se deve ao fato de que o ar tende a se estacionar no meio da placa coletora, dessa forma prejudica na eficiência do escoamento do ar. Daí a importância da inclinação. Em relação à irradiação solar, essa inclinação se deve a latitude na qual o secador se encontra 20° ao norte, assim com essa inclinação é possível potencializar a absorção de irradiação solar do secador, ou seja, o secador absorve maior irradiação solar durante o ano. Quando o ar entra em contato com o manjeriço, parte do ar úmido, presente nas amostras, é retirada e sai do equipamento através da chaminé, localizado na saída da câmara de secagem.

Observou-se no ensaio que o ar ao atravessar o interior do equipamento sofreu aumento em sua temperatura. Assim o equipamento executa de maneira satisfatória o aquecimento do ar. Temperaturas mais elevadas para o ar contribuem para uma secagem de melhor qualidade em um intervalo de tempo menor (OLIVEIRA, 2014).

Segundo Oliveira (2014) o secador apresenta melhor desempenho com vazão mássica mínima do ar secante.

Essa troca de calor depende principalmente do potencial técnico do equipamento, ou seja, da sua eficiência. A eficiência térmica é um parâmetro fundamental a ser analisado durante a secagem, que consiste basicamente na transferência de calor para o ar, durante o processo de aquecimento da placa absorvedora por radiação solar.

5.3. Determinação de umidade inicial e curva de secagem

As curvas de secagem são dadas em função do teor de umidade do manjeriço na secagem natural e na secagem ao sol, em cada instante.

No gráfico 5 é possível analisar a variação do teor de umidade em função do tempo. Esse parâmetro é fundamental, pois permite uma comparação direta entre os teores de umidade do secador solar com os da secagem natural. Verifica-se que a umidade final do manjeriço na secagem natural foi inferior a umidade final do manjeriço na secagem no secador solar, situação que pode acontecer quando o manjeriço começa a ficar seco, como pode ser visto na tabela 5. Esse parâmetro é influenciado principalmente pela velocidade de secagem. Um dos motivos da umidade final do manjeriço na secagem natural ser inferior é a forma como o manjeriço foi distribuído nas bandejas. Na secagem ao sol o manjeriço foi disposto na bandeja de forma mais distribuída, enquanto que no secador solar a sua disposição na bandeja se deu de forma mais concentrada, na forma de moio. Contudo, a secagem no

secador é mais interessante, porque ela degrada menos a clorofila, como ilustrado na figura 19.

Figura 19 – Manjerição seco, secador e ao sol.



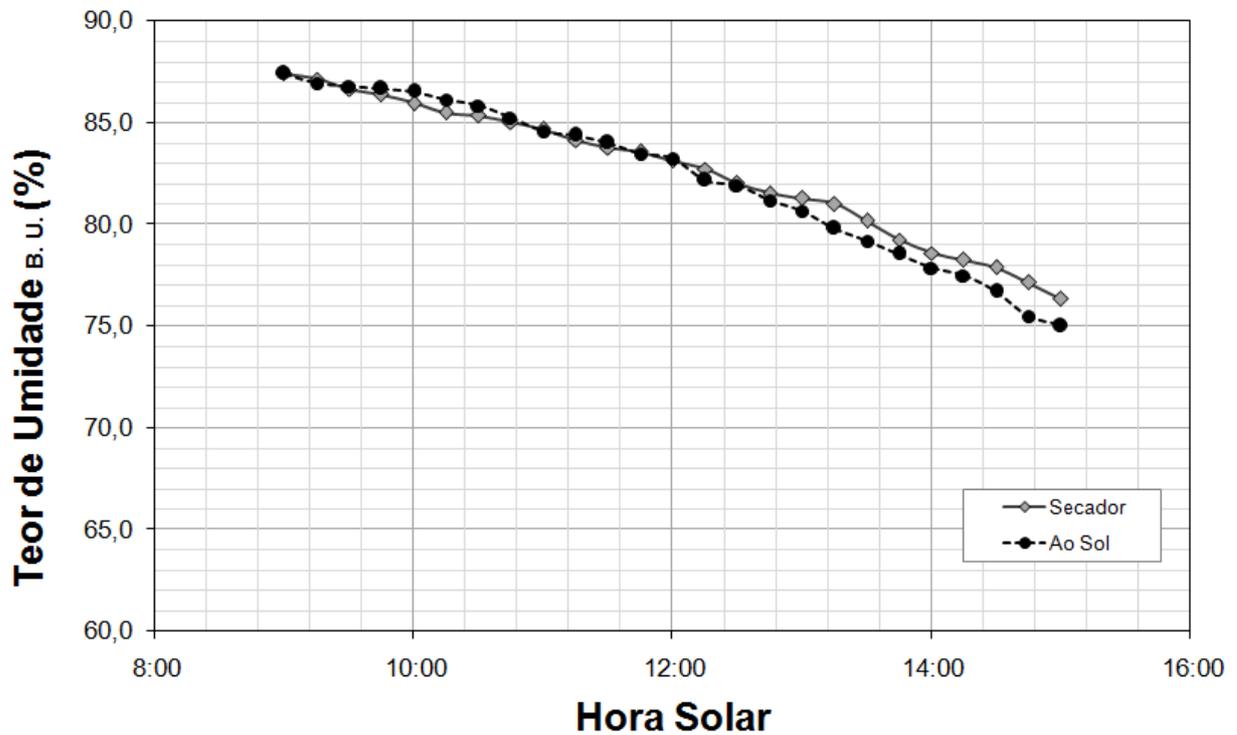
Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Tabela 5 – Teor de umidade do manjerição na entrada e na saída.

	Teor de Umidade no secador solar	Teor de Umidade ao sol
Teor médio	82,6 %	82,3 %
Teor mínimo	76,3 %	75,0 %

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Gráfico 5 – Teor de umidade.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Ao comparar os gráficos 3 (Teor de Umidade do ar) com o gráfico 5 (Teor de Umidade) é possível verificar que o teor de umidade do produto variou mais no período matutino, o que reflete no teor de umidade do ar na saída do secador, houve maior decréscimo na umidade como pode ser verificado no gráfico 3. Ou seja, a umidade retirada do produto se somou a umidade do ar dentro do secador.

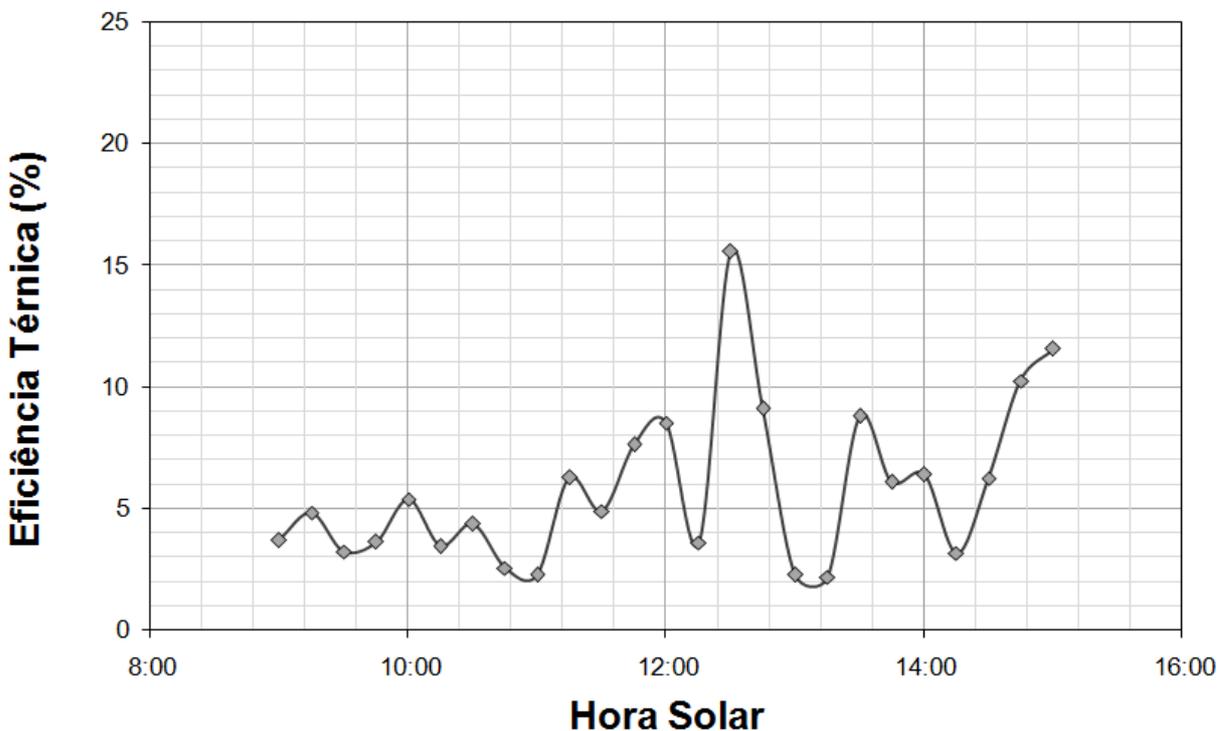
Por outro lado, como já era esperado, no período vespertino a variação do teor de umidade do manjeriço foi menor, conseqüentemente, a variação da umidade do ar na saída do secador também foi menor. Apesar das diferentes variações de teor umidade no manjeriço durante o experimento o teor de umidade sempre diminuiu.

Outra observação possível de ser feita acontece ao comparar os gráficos 2 (Temperatura de Entrada e Saída) e 5 (Teor de Umidade), uma vez que, o aumento da temperatura reduz o teor de umidade do manjeriço, pois são grandezas inversas.

5.4. Eficiência térmica e de secagem do secador

A eficiência térmica do secador é apresentada no gráfico 6. Pode-se verificar que o secador necessitou de grande parte do período matutino para se aquecer através da incidência de irradiação solar, aquecendo assim o ar secante. No período vespertino, mesmo com baixa irradiação solar, o aquecimento do ar secante permanece presente no secador com baixa taxa de resfriamento, isso acontece porque a estrutura do secador já se encontra aquecida e se resfria lentamente. Pode-se verificar outra influência da irradiação solar na eficiência térmica ao analisar os horários de nebulosidade descritos no gráfico 1 (variação da irradiação solar), pois eles coincidem com a queda na eficiência térmica (12h, aproximadamente 12h 24min. e 14h) O valor médio de eficiência térmica foi de 5,8 % e o máximo de 15,5 %.

Gráfico 6 – Eficiência térmica.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Ao analisar os gráficos 4 (vazão mássica) e 6 (eficiência térmica) é possível verificar uma relação entre a variação da eficiência térmica e a variação da vazão mássica, são parâmetros diretamente proporcionais. Contudo, o aumento da vazão mássica do ar, reduza a

temperatura e aumenta à umidade relativa do ar, conseqüentemente, ocorrerá redução na velocidade de secagem. Por isso é preciso realizar outros ensaios de secagem para poder concluir que maiores valores de eficiência térmica ocorrem na presença de maior vazão mássica.

A eficiência de secagem também foi calculada a partir da massa de água evaporada do manjeriço e da energia solar disponível durante a secagem. Durante o ensaio foi observado 1,9 % de eficiência da secagem do secador.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi comparada a variação do teor de umidade na secagem em um secador solar passivo distribuído com a secagem ao sol, natural, além de comparar as curvas de secagem de ambos. Em ambas as secagens, no período matutino ocorreu maior redução do teor de umidade do manjeriço, em função da maior irradiação solar nesse período, irradiação essa, que influencia na temperatura, umidade do ar, teor de umidade do manjeriço, eficiência de secagem e degradação do manjeriço. Entretanto, o teor de umidade final do manjeriço na secagem ao sol foi um pouco menor quando comparada à secagem no secador solar, 57 gramas e 55 gramas no secador solar e ao sol, respectivamente. Tal fenômeno já havia sido previsto, pois na secagem pelo secador quando o produto começa a ficar seco, o seu teor de umidade tende a ter menor variação. No cálculo da eficiência térmica média chegou-se no valor de 5,8% e na eficiência de secagem 1,9%. Apesar dos valores de eficiências calculadas serem baixos, é possível melhorá-los através do uso de chicanas. Outro fator que pode ter influenciado no maior teor de umidade final do manjeriço no secador, é a forma na qual o manjeriço estava disposto. No secador ele estava disposto de forma mais aglomerada, o que dificulta o processo de secagem. Por outro lado, na secagem ao sol ele estava disposto de forma mais dispersa, ou seja, mais espalhado pela bandeja. De toda forma a secagem no secador é considerada mais viável, devido principalmente à baixa degradação da clorofila.

Outra questão que pode ser explorada é a maior redução no teor de umidade final do manjeriço, através da adição chicanas, as quais podem aproveitar melhor o escoamento de ar dentro do secador, elevando a temperatura do ar secante.

As análises e ensaios realizados permitiram alcançar satisfatoriamente os objetivos da dissertação do trabalho de conclusão de curso, demonstrando que a secagem no secador solar apresenta maior conservação do produto, boa eficiência de secagem, pois, mesmo com o teor de umidade final do produto no secador ser um pouco maior em relação a secagem ao sol, essa diferença é quase desprezível. Além disso, o secador solar é viável economicamente, devido a abundância e gratuidade da energia solar, apresentam fácil manutenção e operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELESSIOTIS, Vassilis; DELYANNIS, Euridice-Emma. Solar drying. *Solar Energy*, v. 85, p. 1665-1691, 2011. Disponível em: http://ac.els-cdn.com/S0038092X09002333/1-s2.0-S0038092X09002333-main.pdf?_tid=68af0054-8e7c-11e6-8a49-00000aacb35f&acdnat=1476057746_f09a34cd06b83c79c8716817b780d537. Acesso em 08 set. 2019.

ECHER, M. M. Características produtivas do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do espaçamento entre plantas e entre linhas. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, Botucatu, v.12, especial, p.582-586, 2011.

EKECHUKWU, O. V.; NORTON, B. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, v. 40, n. 6, p. 615-655, 1999.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/>. Acesso em: 18 agosto 2019.

FERREIRA, M. M. P. Desenvolvimento, caracterização e secagem de sementes com cobertura artificial. Tese de Doutorado, São Carlos, SP, 235 p, 2003.

FERREIRA, A. G; MAIA, C. B; CORTEZ, R. M; VALLE, R. M. **Technical feasibility assessment of a solar chimney for food drying**, *Sol. Energy* 82 (3) (2008), p 198 a 205.

FERREIRA, A. G. **Avaliação da Viabilidade Técnica de Chaminés Solares para a Secagem de Alimentos**. 2004. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FERREIRA, A. G.; GONÇALVES, L. M.; MAIA, C. B. **Solar drying of a solid waste from steel wire industry**. *APPLIED THERMAL ENGINEERING*, n.7, p 103-104, fev. 2014.

GAVA, Altanir Jaime. Princípios de tecnologia de alimentos. NBL Editora, 1998 p.183-195.

GOBBI, Joyce Mattedi. Estudo da influência da vazão e da temperatura do ar na secagem de bananas em secador elétrico de cabine. Dissertação de mestrado, CEFET- MG, 2014.

JAIN, D.; TEWARI, P. Performance of indirect through pass natural convective solar crop dryer with phase change thermal energy storage. **Renewable Energy**, v.80, p.244-250, ago. 2015.

JANNOT, YVES; COULIBALY, YEZOUMA. **The "evaporative capacity" as a performance index for a solar-drier air-heater**. Solar Energy, v. 63, p. 387-391, dec. 1998.

KAPADIYA, S.; DESAI, M. A. Solar drying of natural and food products: a review. International Journal of Agriculture and Food Science Technology, v. 5, n. 6, p 565-576, set. 2014.

KUMAR, Chandan; KARIM, M. A.; JOARDDER, Mohammad UH. Intermittent drying of food products: A critical review. Journal of Food Engineering, v. 121, p. 48-57, 2014.

LEON, KUMAS e BHATTACHARYA, 2002.

MACIEL, Paulo Fernando Figueiredo. **Análise energética e exergética da secagem de cacau em secador elétrico e em secador solar**. 2017. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia da Energia) - Centro Federal De Educação Tecnológica, Belo Horizonte, MG, 2017.

MAY, A.; TANAKA, M.A.S.; SILVA, E.H.F.M.; PINHEIRO, M.Q. Ocorrência de cercosporiose em *Ocimum basilicum* L. Centro de horticultura – Plantas Aromáticas e Medicinais. 2008. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/Aromaticas.htm>>. Acesso em 29 abr. 2011.

MINAMI, K.; CARDOSO, A.I.I.; COSTA, F.; DUARTE, F.R. Efeito do espaçamento sobre a produção em rabanete. *Bragantia*, v.57, p.169-173, 1998.

MEKHILEF, S.; SAUDUR, R.; SAFARI, A. A review on solar energy use in industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n.14, p. 1777-1790, out. 2019.

MUSTAYEN, A. G. M. B.; MEKHILEF, S.; SAIDUR, R. Performance study of different solar dryers: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 463-470, 2014.

Nascimento, R. L. (2017). **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: SITUAÇÃO E PERSPECTIVA**. Brasília: Consultoria legislativa.

OLIVEIRA, Alexandre Melo de. **Estudo experimental da secagem de banana utilizando secador solar**. 2014. 27f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia da Energia) - Centro Federal De Educação Tecnológica, Belo Horizonte, MG, 2014.

REIS, A.; MIRANDA, B.E.C.; BOITEUX, L.S.; HENZ G.P. Murcha do manjeriço (*Ocimum basilicum*) no Brasil: agente causal, círculo de plantas hospedeiras e transmissão via semente. **Summa Phytopathologica**, v.33, n.2, p.137-141, 2007.

RINGEISEN, B; BARRETT, D. M; STROEVE, P. Concentrated solar drying of tomatoes. **Energy for Sustainable Development**.

VASCONCELOS, Ana Carolina. **Análise da eficiência energética e exergética em secadores solar e elétrico na secagem de café**. 2017. 22 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia da Energia) - Centro Federal De Educação Tecnológica, Belo Horizonte, MG, 2017.

REIS, Rui Bran Januário dos et al. Radiação solar global em Minas Gerais calculada a partir de dados de satélites. In: REIS, Rui Bran Januário dos; TIBA, Chigueru (Org). Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. Belo Horizonte: CEMIG, 2016. Cap3, p. 57-81. V.2. Disponível em http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/Inovação/Alternativas_Energeticas/Documents/atlas_solarimerico.pdf. Acesso em 01 agosto 2019.

SHARMA, Atul; CHEN, C. R.; LAN, Nguyen Vu. Solar-energy drying systems: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 13, n. 6, p. 1185-1210, 2009.

SILVA, Gisele Mol da. **Análise experimental de um secador solar com sistema fotovoltaico para secagem de milho.** 2018. 39 f. Tese de doutorado, Centro Federal De Educação Tecnológica, Belo Horizonte, MG, 2018.

NEPOMUCENO, Mateus santos. **Análise Teórico-Experimental de secagem utilizando secador solar com diferentes formatos de placa absorvedora.** 2019. 61f. Tese de mestrado, Centro Federal De Educação Tecnológica, Belo Horizonte, MG, 2019.

SILVA, I. G. D. DESIDRATAÇÃO DE BANANA EM SECADOR SOLAR: VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA. **Universidade Federal do Acre**, Dissertação de mestrado, 2010.

SILVA, J. De S.; AFONSO, A. D. L; LACERDA FILHO. AF de. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. **Viçosa Aprenda Fácil**, 2000.

SILVA, L. C. da. Secagem de grãos. Boletim Técnico: AG: 04/05. Departamento de Engenharia Rural, UFES. 2005.