

**UNIOESTE – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL
MESTRADO E DOUTORADO**

LEONARDO BALCEWICZ JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE LIOFILIZADOR PARA
CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

2020

LEONARDO BALCEWICZ JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE LIOFILIZADOR PARA
CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável – Mestrado e Doutorado do Centro de Ciências Agrárias da UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Rural Sustentável.

Linha de pesquisa: Inovações Sociotecnológicas e Ação Extensionista

Orientador: Prof. Dr. Altevir Signor

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

2020



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

LEONARDO BALCEWICZ JUNIOR

DESENVOLVIMENTO DE LIOFILIZADOR PARA A CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

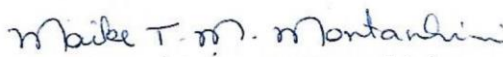
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Rural Sustentável, área de concentração Desenvolvimento Rural Sustentável, linha de pesquisa Inovações Sociotecnológicas e Ação Extensionista, APROVADO pela seguinte banca examinadora:


Orientador - Alteviri Signor

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo


Fábio Bittencourt

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo


Maíke Taís Maziero Montanhini

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marechal Cândido Rondon-PR, 5 de março de 2020

RESUMO

BALCEWICZ JUNIOR, Leonardo. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – 2020. **Desenvolvimento de liofilizador para conservação de alimentos**. Orientador: Dr. Altevir Signor.

O objetivo do presente estudo foi o de desenvolver um equipamento para desidratação de alimentos com a finalidade de adição de valor, proporcionando alternativas de conservação e comercialização entre safras. O liofilizador, em formato de protótipo, foi desenvolvido com mão-de-obra local, estruturado em aço carbono, com compartimentos de desidratação em aço Inox AISI 304 e equipamentos de atuação encontrados no mercado nacional. Entende-se que tal produto se apresenta como uma alternativa viável à produção oriunda das propriedades rurais, pois pode conservar produtos agrícolas por períodos de seis meses até um ano para serem comercializadas em períodos de entre safra. A variação de tempo se deve ao fato de que cada produto tem diferentes condições e características. Os resultados observados com os ensaios realizados em diferentes alimentos testados evidenciaram o funcionamento e eficiência do equipamento desenvolvido.

Palavras-chave: Desidratador de alimentos. Liofilizador. Conservação de Alimentos.

ABSTRACT

BALCEWICZ JUNIOR, Leonardo. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – 2020. **Development of lyophilizer for food preservation.** Advisor: Dr. Altevir Signor.

The purpose of this paper was to develop equipment for dehydrating food in order to add value, providing alternatives for conservation and commercialization between harvests. The lyophilizer, in prototype format, was developed with local labor, carbon steel structure, dehydration compartments in AISI 304 stainless steel and performance equipment found in the national market. We understand that this product is a viable alternative to food production from rural properties, because it can conserve agricultural products for periods of six months to one year to be marketed between harvest periods. The time variation stems from the fact that each product has different conditions and characteristics. The results observed with the tests performed in relation to the different foods tested showed the functioning and efficiency of the equipment developed.

Keywords: Food dehydrator. Freeze dryer. Food Preservation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	11
3	LIOFILIZAÇÃO	11
3.1	ETAPAS DA LIOFILIZAÇÃO	12
3.2	LIOFILIZADOR	13
4	MATERIAIS E MÉTODOS	14
4.1	CÂMARA DE LIOFILIZAÇÃO	14
4.2	CÂMARA DE SEQUESTRO DE UMIDADE	15
4.3	BOMBA DE ALTO VÁCUO	18
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6	ENSAIOS	24
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
	REFERÊNCIAS.....	27
	APÊNDICE A – DIMENSÕES DO LIOFILIZADOR	29

1 INTRODUÇÃO

A agricultura nacional e, principalmente, a regional, destacam-se no aumento da produção e, neste cenário, surgem preocupações de natureza distintas. Dentre elas, sobressaem-se, em primeiro plano, as preocupações com processos de produção e, secundariamente, aquelas voltadas ao desenvolvimento de novos produtos. Tanto uma quanto outra estão intimamente ligadas a questões de desempenho e viabilidade da atividade agrícola e dependem de fatores e agentes que formam um sistema integrado e harmônico que deve caminhar em paralelo com o aperfeiçoamento tecnológico e com as questões de sustentabilidade (BATALHA; SOUZA FILHO, 2005).

Essa harmonia, entretanto, nem sempre é notada em todos os processos produtivos, como se percebe no tocante à conservação e à distribuição de alimentos que, constantemente, vêm passando por problemas estratégicos para atender o crescimento populacional mundial e equilibrar a produção dentro de uma lógica de mercado que nem sempre atende às preocupações ecológicas que se amplificam nos debates contemporâneos. Neste contexto, se, por um lado há uma preocupação e uma busca por encontrar e manter meios de ampliar os cuidados com a composição nutricional do alimento, por outro, é recorrente que o consumidor desconheça o processo de fabricação e conservação, o qual, atualmente, é conhecido como segurança alimentar (LINDON; SILVESTRE 2008).

A segurança alimentar, associada à condição logística, busca a conservação dos alimentos, dentre outros modos, pela refrigeração, por exemplo, procurando manter as características físicas e químicas dos mais diversos tipos de alimentos. Essa prática, por sua vez, está atrelada às condições de embalagens, da forma de acomodação, da temperatura mantida durante o transporte, do tempo/distância e do tempo de conservação antes do consumo. Ou seja, há uma rede de fatores interligados que acabam demandado muito empenho para baratear os custos e manter a qualidade. Não obstante, essa cadeia de fatores incide diretamente em problemas de desperdício de alimentos que, quando associados aos elementos anteriores, terminam por aumentar os preços.

No que tange especificamente ao desperdício, preocupação constante na contemporaneidade, a Agenda 2030, ao apresentar os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), propõe, em seu objetivo 12.3: “até 2030,

reduzir pela metade o desperdício de alimentos *per capita* mundial, em nível de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita” (AGENDA 2030, 2015). Essa meta é significativa se analisada à luz dos problemas sociais e econômicos, haja visto que, segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, cerca de 30% de tudo que é produzido no mundo anualmente é perdido ou desperdiçado, o que totaliza, aproximadamente, 1,3 bilhão de toneladas de alimentos não aproveitados, situação diametralmente oposta aos objetivos da Agenda 2030 e às preocupações em torno da sustentabilidade. Agrava-se o fato quando se considera que essas perdas acontecem nas fases de produção, armazenamento e transporte e correspondem a 54% do total (FAO, 2017).

Embasando seu argumento nessa problemática, Monteiro (2016) ressalta que a condição de redução do desperdício está ligada à busca por melhores resultados e que “as aplicações do frio destinam-se, em mais de 90%, ao setor alimentar, nomeadamente para arrefecimento e conservação de alimentos” (MONTEIRO, 2016). Em face desse dado, também se evidencia o fato de dar maior importância para um outro objetivo da ODS, a saber o objetivo 7.3, que aponta para a necessidade de “até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética” (AGENDA 2030, 2015).

A condição de conservação mais explorada na atualidade, principalmente por causa da praticidade dos processos da “cadeia do frio”, é aquela em que se mantém a temperatura dos alimentos em valores superiores aos de seu ponto de congelamento, prática conhecida como resfriamento a 0° e outras a -18°C. Este resfriamento retarda o crescimento e proliferação de microrganismos, por outro lado, pode prejudicar a atividade metabólica dos tecidos animais e vegetais (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

O congelamento, mesmo em face de aspectos negativos como os elencados anteriormente, já é uma prática cultural de alimentação consolidada. Entretanto, é válido recordar que há também uma outra prática de conservação largamente difundida no modo de vida da humanidade: a desidratação, ou seja, a retirada de água dos alimentos. Dentre alguns exemplos de modos de desidratação dos alimentos, pode-se citar a exposição ao sol, a salga, a defumação, o aquecimento direto por calor, a radiação, realizada por lâmpadas infravermelhas ou radiadores de calor, a osmótica, que consiste na imersão dos alimentos em uma solução

desidratante, a convecção, que nada mais que a passagem de ar quente e a liofilização, que é foco deste trabalho.

A liofilização, assim como a salga e/ou a defumação, é um processo que consiste em remover o teor de água dos alimentos entre 60% e 80% em média para prolongar seu período de conservação útil com uma sensível redução no peso (PEDRO; NUNES, 2011).

Dentro das várias formas de realizar a desidratação, o processo de liofilização vem ao encontro das necessidades de manter a qualidade do produto sem a utilização de refrigeração após o processamento. Isso se deve, dentre outros fatores, ao fato de que a desidratação do produto após o congelamento e a aplicação de vácuo, gera a sublimação, ou seja, a passagem da água do estado sólido para o gasoso, o que colabora para que se mantenham as características nutricionais dos alimentos, como as proteínas e as vitaminas. De acordo com Costa (2007), após o processo de liofilização e a correta embalagem, o alimento permanece seguro e não é mais necessário deixá-lo sob refrigeração.

Essas características contribuem para tornar a liofilização um processo competitivo quando comparado ao processo de conservação sob refrigeração, posto que ambos necessitam de congelamento. Segundo estudos de Fellows (2006), após a desidratação e a correta embalagem, há uma diminuição do risco de falha em algum dos pontos que demandam equipamentos com acionamento elétrico e mecânicos para conservação na cadeia do frio.

Partindo desse contexto e observando a condição dos pequenos e médios produtores rurais, vislumbra-se um cenário de vantagens. No caso dos produtores que processam sua produção em micro cooperativas ou ainda de forma particular, com certificação municipal, observa-se a vantagem de conseguir dar um destino diferenciado ao que produzem, ao invés de se limitarem aos “circuitos curtos de produção”, ou seja, as feiras, os programas de governo, as cestas de produtores rurais e a venda direta (DAROLT, 2012).

O uso adequado da liofilização, dessa forma, resultaria em um novo nicho de possibilidades, pois ao utilizar adequadamente essa tecnologia, os produtores rurais conseguem agregar valor ao seu produto, atingir outros mercados e melhorar seus ganhos, sem necessariamente aumentar a produção.

A conservação do alimento, nesse caso, se tornaria um diferencial e com o destaque de atuar positivamente na aparência do produto, aspecto que interfere no

processo de decisão de compra, levando o consumidor a pagar por um produto melhor. Vale ressaltar que, de acordo com Darolt (2012), essa técnica contribuiria para gerar um produto diferenciado e melhor e, em decorrência, um melhor retorno ao produtor, o que se apresenta como um estímulo à permanência na área rural, evitando, desse modo, o êxodo.

Em paralelo a isso, sobressai-se a questão da Economia Ecológica, que é um ramo relativamente recente do conhecimento, resultante de um cenário de insatisfações de pesquisadores, tanto da economia quanto das ciências naturais. Essa área do conhecimento desponta atrelada à teoria econômica convencional e à busca por propor soluções adequadas para problemas ambientais. Trata-se, portanto, de um enfoque reducionista, principalmente no que diz respeito às descon siderações das leis da termodinâmica no processo econômico e suas implicações para o principal problema da ciência econômica na escassez.

Considerando esse panorama de vantagens e de necessidade de mudanças, este estudo parte da premissa comum de que a complexidade inerente dos problemas ambientais exige uma integração analítica de várias perspectivas (ANDRADE, 2010). E é justamente nesse ponto que a tecnologia da liofilização se mostra como uma interface dos modos de apresentação da sustentabilidade.

A sustentabilidade, de acordo com Sachs (1993) está associada à busca de um “Modelo de Sustentabilidade Possível” ou ainda, um modelo de Ecodesenvolvimento ou de Bioeconomia que se volta ao decrescimento econômico para a sustentabilidade ambiental e para a equidade social. Trata-se de uma área que envolve a bioeconomia, conceito que entende a economia como área que deve acompanhar e atender os níveis de preservação e regeneração da natureza. O ecodesenvolvimento, segundo Sachs (1993), é a combinação de economia com a ecologia, a democracia, a justiça social e a inclusão social.

Esses fatores compõem o conceito de sustentabilidade possível que, na compreensão de Boff (2014), será alcançada quando houver uma sensível diminuição das desigualdades sociais associada à incorporação da cidadania e da participação popular no jogo democrático, além do respeito às diferenças culturais e à introdução de valores éticos de respeito a toda vida. Isso tudo, segundo o autor, requer um cuidado permanente do meio ambiente.

Essa ideia de cuidado com o meio ambiente nem sempre esteve associada ao meio rural que, além disso, sempre foi caracterizado pela noção de

distanciamento, afastamento ou isolamento, seja pelo custo de transação maior em função da distância dos mercados consumidores, seja pelo atraso tecnológico, pela dificuldade de acesso e de contatos entre as pessoas, ou ainda pela distância organizacional, social e cultural.

Esse cenário, marcado pela baixa infraestrutura de serviços públicos, culmina, de maneira geral, em discussões em torno da noção de rural como algo que se alicerça em duas ideias: de um lado, a questão geográfica, de natureza territorial e, de outro, a referência ao distanciamento ou afastamento do urbano, seja por questões econômicas, sociais ou ambientais, positivas ou negativas. É no encaixe dessas condições que se assenta o presente estudo, buscando apresentar possibilidades de reverter essas visões equivocadas e atrasadas inserindo o uso de tecnologias no espaço rural como algo que, simultaneamente, permitirá uma fonte de renda sem desperdícios, isto é, de modo mais sustentável.

2 OBJETIVOS

Para fazer frente a esses questionamentos, tem-se, como objetivo geral, construir um equipamento liofilizador com materiais de baixo custo para uso em pequena escala que possa ser acessível a pequenos agricultores para desidratar alimentos e armazená-los sem refrigeração.

Como objetivos específicos apresentam-se os seguintes:

- Construir o protótipo de um liofilizador para testes práticos;
- Utilizar matéria prima, equipamentos e meios de fácil acesso para confeccionar o liofilizador;
- Realizar ensaios e comprovar a eficiência do equipamento;

3 LIOFILIZAÇÃO

A liofilização pode ser definida como a secagem ou a desidratação de alimentos através de um processo de sublimação ou remoção da água após o congelamento, dispensando assim, a refrigeração para conservação após processo. Para realizar esse processo de extração da água, necessita-se manter o controle de

pressão em uma câmara hermética, de modo que se passe do sólido para o gasoso. A grande maioria dos processos se utiliza de meios de aquecimento do produto para favorecer a sublimação (FELLOWS, 2006).

A principal condição desse processo em relação a outros é o ponto de similaridade com o alimento fresco, pois, após a extração da água no estado sólido, as características nutricionais são mantidas, como as proteínas e vitaminas que são mais sensíveis aos processos de secagem a temperaturas mais altas. (PEDRO; NUNES, 2011)

Para que esse processo seja satisfatório e a água evapore a 0°C, é necessário que a pressão no compartimento esteja a 4,7 mmHg. Por isso, quanto mais baixa a pressão, menor a temperatura de evaporação, que deve chegar a -40°C na pressão de saturação de 0,1mmHg (COSTA, 2007). Para que isso ocorra, é preciso atender a algumas etapas, as quais serão descritas a seguir, além de contar com aparelho liofilizador, também descrito adiante.

3.1 ETAPAS DA LIOFILIZAÇÃO

No processo de desidratação de alimentos pela sublimação é necessário seguir uma sequência de três etapas que, de acordo com Fellows (2006), diminuirão o desenvolvimento de micro-organismos, mantendo as características iniciais do produto. A primeira delas não é realizada em um equipamento de liofilização, mas em um sistema de congelamento rápido, processo geralmente conduzido em uma câmara de congelamento para formação de cristais de gelo no produto, facilitando a desidratação através dos espaços em que a água sublimada deixará no produto. (FELLOWS, 2006).

A segunda etapa consiste na colocação do produto congelado no liofilizador, momento em que terá início a fase conhecida como desidratação primária, na qual se passa a executar o vácuo em todo o sistema para que a água aparente passe pela sublimação. (FELLOWS, 2006).

Na terceira etapa ou desidratação secundária, segundo estudos de Fellows (2006), atinge-se níveis mais altos de vácuo e adição de temperatura para que a água ligada à célula do produto possa se desprender, fazendo com que o conteúdo de água chegue a níveis de 8% a 2%, ideais para a finalidade de conservação do produto desidratado.

3.2 LIOFILIZADOR

O equipamento utilizado para realizar o processo de liofilização, como um todo, preza pela estanqueidade, de modo que o ar atmosférico não interfira nos altos níveis de vácuo necessários para a sublimação da água presente nos produtos. Para que cumpra essa função primordial, o liofilizador, de acordo com Costa (2007), deve ser composto por três elementos essenciais:

1. Compartimento de acomodação do produto a ser liofilizado com condições de aquecimento das superfícies de contato;
2. Câmara de sequestro de umidade através do resfriamento da câmara ou local de passagem do vapor de água que sublimou do produto;
3. Bomba de vácuo.

O compartimento em que se acomoda o produto submetido à desidratação possui um sistema para aquecimento por condução para aumento da temperatura do produto, para favorecer a sublimação. A câmara de sequestro da umidade tem um sistema de refrigeração instalado, que opera com níveis de temperatura abaixo da temperatura do produto com o objetivo de reter ao máximo a umidade da primeira câmara, e uma bomba de auto vácuo com duplo estágio e selo a óleo com alto deslocamento volumétrico, como se nota na (Figura 01).

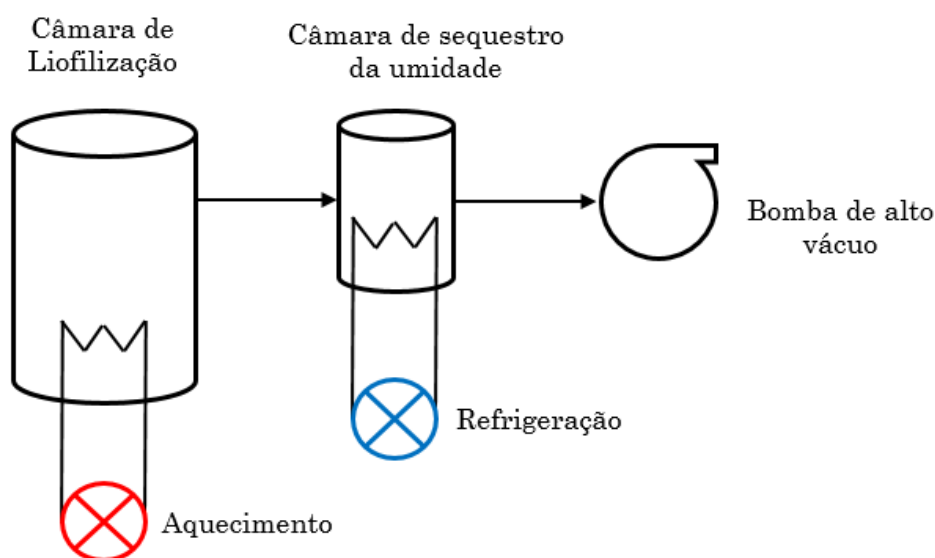


Figura 01 – Características construtivas do liofilizador.

Fonte: Elaborado pelo autor

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CÂMARA DE LIOFILIZAÇÃO

A câmara de liofilização é construída de forma cilíndrica, em Aço Inox AISI 304 com volume interno de $0,065\text{m}^3$ para proporcionar a estanqueidade nos locais em que são inseridos os produtos congelados para serem desidratados. Para acomodar esses produtos, de diferenciados tamanhos, espessuras e características, optou-se por uma prateleira que permitisse alterar o espaçamento entre suas partes, evitando prejudicar o fluxo de vapor de água resultante da sublimação.

Além disso, há uma tampa de vidro que serve para visualizar o processo de desidratação, a qual tem 20mm de espessura e é vedada com borracha atóxica de 10mm. Há um registro na parte central dessa tampa que cumpre a função de realizar a equalização da pressão ambiente após a realização da desidratação ou a inserção de um gás inerte para a realização da operação de quebra de vácuo (Figura 02).

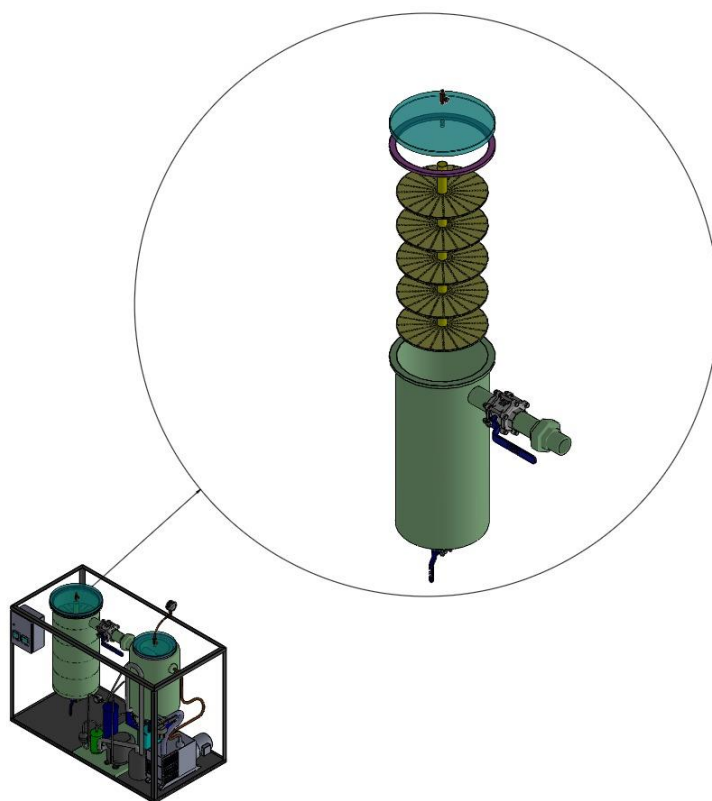


Figura 02: Câmara de liofilização.
Fonte: Elaborado pelo autor

Essa câmara possui um sistema que permite a passagem de energia elétrica e que aciona uma resistência posicionada no tubo central do suporte de

acomodação dos produtos para alterar a temperatura nos momentos necessários e acelerar o processo de desidratação.

As prateleiras são perfuradas para facilitar a passagem dos vapores originários da sublimação, conforme a alteração térmica programada no controlador de temperatura. A temperatura nesse espaço é medida por sensores fixados na prateleira e no tubo que acomoda a resistência.

Para que seja realizada essa interação com o quadro de comando, fez-se necessário desenvolver um plug que mantivesse a estanqueidade do local, além de um suporte com fibra de vidro e cola plástica que permitisse a passagem de energia elétrica e a comunicação com os controladores de temperatura.

A interligação das duas câmaras ocorre por uma tubulação de diâmetro mais elevado, projetada para diminuir a velocidade dos vapores após a sublimação. Assim, quando chegar até a câmara de sequestro de umidade, estará em condições de ser fixado nas superfícies frias para segurança da bomba de vácuo.

O fundo da câmara deve ser construído de forma cônica, para contribuir com a resistência e impedir a implosão quando o local estiver sob ação de vácuo. Dessa forma, é possível facilitar o escoamento de líquidos, favorecendo a higienização do local e evitando possíveis contaminações entre os produtos a serem desidratados.

4.2 CÂMARA DE SEQUESTRO DE UMIDADE

A câmara de sequestro de umidade foi construída de forma cilíndrica em Aço Inox AISI 304 com volume interno de 0,016m³. Há bordas para acomodação da borracha de vedação e o fundo é cônico, contendo um registro de expurgo da água retirada do produto desidratado. A tubulação de interligação entre as câmaras tem um diâmetro maior, cuja função é a de diminuir a velocidade dos vapores que estão migrando para se fixar nas paredes frias do compartimento. Para isso, deve-se instalar uma curva que projete os gases para o fundo, forçando a cristalização da umidade nas superfícies à temperatura do ponto de orvalho (Figura 03).

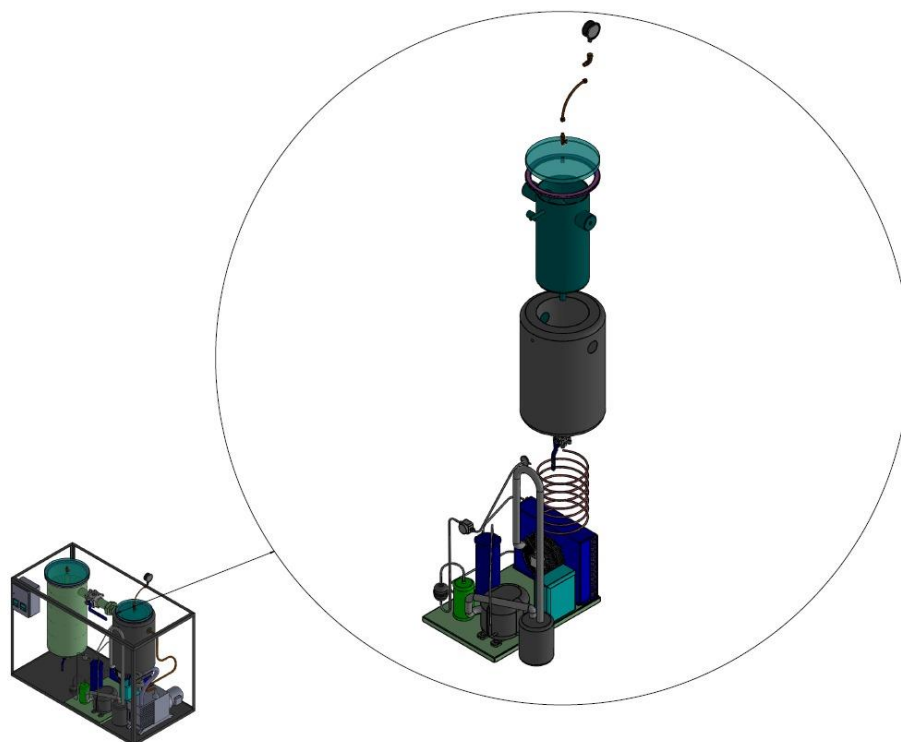


Figura 03: Câmara de sequestro de umidade.

Fonte: Elaborado pelo autor

Para vedação da câmara com o meio externo, deve-se utilizar uma tampa de vidro com 20mm de espessura com borracha atóxica de 10mm, possibilitando a visualização da quantidade de umidade depositada durante o processo. Em paralelo, faz-se necessário posicionar um registro na parte central dessa tampa de vidro, para o caso de ser necessário realizar alguma interferência durante o processo ou avaliar o nível de vácuo, medido com um vacuômetro analógico.

Nas laterais dessa câmara está fixada, através de solda, a tubulação de Aço Inox em que se realiza a transferência de calor, processo que deve chegar à temperatura média interna de -46°C . Essa temperatura é utilizada como parâmetro de segurança, permitindo atingir a temperatura abaixo do ponto de orvalho, necessária para sequestrar a umidade antes de chegar à bomba de vácuo.

Para o sistema de refrigeração, utilizou-se o fluido refrigerante R 410^a, o qual, dentre os disponíveis no mercado, é o mais adequado às condições de temperatura, óleo e sistema de condensação necessárias para garantir a temperatura de ponto de orvalho para umidade desprendida dos alimentos.

Segundo o diagrama de Mollier (Figura 04), quando se mantém o alimento sob condições de regime de $+30^{\circ}\text{C}/-52^{\circ}\text{C}$, é possível manter um superaquecimento

com diferencial total de 10K (Kelvin) e um diferencial de sub-resfriamento de 3K (Kelvin), dando condições de estabilidade térmica para o óleo não superar o limite prudencial de alteração de viscosidade e de segurança do sistema de refrigeração, de modo que não sofra um calço hidráulico.

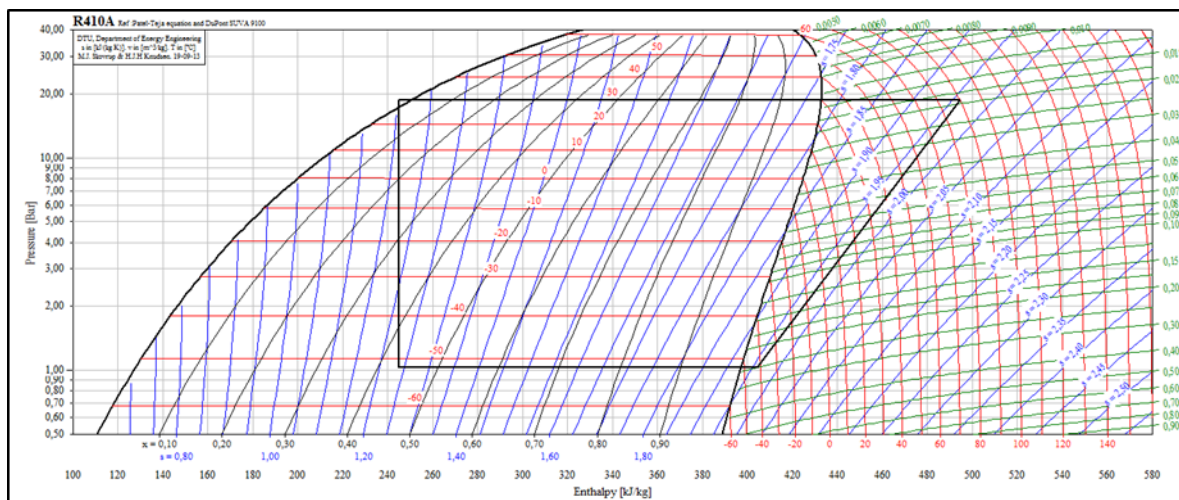


Figura 04 – Diagrama de MOLLIER R410A

Fonte: Elaborado pelo autor, por meio do Software Coolpak

Atualmente, não existe no mercado nacional um equipamento projetado para trabalhar com esse fluido e nas condições de temperatura propostas, o que exigiu a inserção de alguns itens no circuito de refrigeração, a saber: o separador de óleo, o tanque de líquido, a válvula de expansão termostática e o acumulador de sucção para garantir o funcionamento do sistema e proporcionar algumas garantias para esse regime de temperatura. A unidade condensadora proposta para o fluido R 404A, (Figura 05), atende às necessidades básicas para chegar às condições necessárias de deslocamento volumétrico e temperatura.

LBP	Modelo Modelo Model	Ref. Com. Ref. Com. Comm. Ref. [HP]	Capacidade Frigorífica Capacidad Frigorífica Refrigerating Capacity [Kcal/h]						Desloc. Desplaz Displac [cc/rev]	Compressor Compresor Compressor		
			Temperatura de Evaporação Temperatura de Evaporación Evaporating Temperature [°C]							Corrente Corriente Current [A]	Consumo Consumo Input [W]	
			-30	-25	-23,3	-20	-15	-10				127V
R-134a												
POLIOL ESTER ISO 32	TCB 0008	1/4	120	180	200	275	403	530	11,26	4,2	2,0	280
	TCB 0012	1/3	174	281	325	420	517	813	16,65	5,0	2,7	390
R-404A												
POLIOL ESTER ISO 32	TCB 4012	1/3	163	270	299	400	574	755	8,42	5,7	2,4	400
	TCB 4016	1/2	247	359	367	513	689	801	11,26	6,0	3,2	420
	TCB 4020	3/4	300	450	530	600	850	1.100	11,65	5,5	2,4	480
	TEB 4030	3/4	542	728	775	920	1.220	1.502	16,65	-	4,7	810
	TCB 4040	1	612	905	980	1.050	1.400	1.800	20,66	-	5,0	980
	TCB 4046	1.1/4	694	978	1.158	1.288	1.642	2.060	23,20	-	5,2	1.060

Figura 05 – Tabela de aplicação da Unidade de Refrigeração

Fonte: <http://www.elgin.com.br/institucional/Elgin-Refrigeracao-2018.pdf>

4.3 BOMBA DE ALTO VÁCUO

O equipamento que realiza a remoção do oxigênio, da umidade e de outros gases presentes no compartimento que está sob o processo de desidratação é também conhecido como bomba de vácuo de duplo estágio com banho de óleo. Esse tipo de bomba pode ser de um ou dois estágios: bombas com um estágio proporcionam um alto nível de deslocamento volumétrico, mas têm uma baixa eficiência no nível de vácuo final; já as bombas com duplo estágio (Figura 06), conseguem diminuir a exigência do trabalho de uma única câmara, repartindo a exigência dos selos a óleo, reduzindo o vazamento em até 90% e diminuindo proporcionalmente para 10% do tempo para desidratação da bomba de simples estágio (MILLER; MILLER, 2008).

Todo o vapor d'água precisa ser removido para manter a baixa pressão dentro de todo o sistema, que gera a cada grama de gelo, 2m³ de vapor a 67Pa (FELLOWS, 2006). A umidade que, por eventualidade, não ficar contida na câmara de sequestro de umidade, acabará seguindo para o óleo que realiza a vedação do sistema, o que fará com que não se atinja os níveis esperados de vácuo, comprometendo o processo.

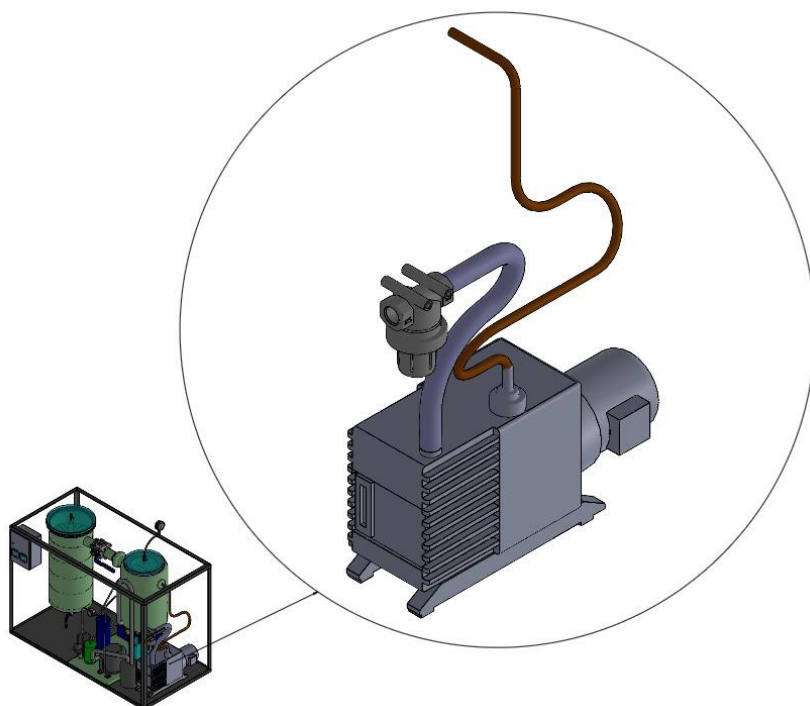


Figura 06: Bomba de duplo estágio.
Fonte: Elaborado pelo autor

O óleo é utilizado nas bombas de vácuo com a finalidade de selar e lubrificar o sistema, fazendo com que funcione de maneira correta e eficiente, sem haver contaminantes que prejudiquem o funcionamento.

A construção da câmara de sequestro de umidade deve reter o máximo de partículas em suspensão e umidade quando estiver em contato com o óleo, pois assim, evita-se a aglutinação e a formação de borra ou limo, situação que poderia comprometer o funcionamento, corroendo e enferrujando o interior da bomba e comprometendo seu nível de vácuo e sua vida útil. (MILLER; MILLER, 2008).

Na Figura 07, apresenta-se a tabela de aplicação da bomba de vácuo com o deslocamento volumétrico de $22,7\text{m}^3/\text{h}$, assim como as demais características funcionais.

Technical Data		TRIVAC D 16 B		TRIVAC D 25 B	
		two-stage		two-stage	
		50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
Nominal pumping speed ¹⁾	m ³ /h (cfm)	18.9 (11.1)	22.7 (13.4)	29.5 (17.4)	35.4 (20.9)
Pumping speed ¹⁾	m ³ /h (cfm)	16.5 (9.7)	19.8 (11.7)	25.7 (15.1)	30.8 (18.2)
Ultimate partial pressure without gas ballast ¹⁾	mbar (Torr)	10 ⁻⁴ (0.75 x 10 ⁻⁴)	10 ⁻⁴ (0.75 x 10 ⁻⁴)	10 ⁻⁴ (0.75 x 10 ⁻⁴)	10 ⁻⁴ (0.75 x 10 ⁻⁴)
Ultimate total pressure without gas ballast ¹⁾	mbar (Torr)	< 2 x 10 ⁻³ (< 1.5 x 10 ⁻³)	< 2 x 10 ⁻³ (< 1.5 x 10 ⁻³)	< 2 x 10 ⁻³ (< 1.5 x 10 ⁻³)	< 2 x 10 ⁻³ (< 1.5 x 10 ⁻³)
Ultimate total pressure with gas ballast ¹⁾	mbar (Torr)	< 5 x 10 ⁻³ (< 3.8 x 10 ⁻³)	< 5 x 10 ⁻³ (< 3.8 x 10 ⁻³)	< 5 x 10 ⁻³ (< 3.8 x 10 ⁻³)	< 5 x 10 ⁻³ (< 3.8 x 10 ⁻³)
Water vapor tolerance ¹⁾	mbar (Torr)	25.0 (18.8)	25.0 (18.8)	25.0 (18.8)	25.0 (18.8)
Water vapor capacity	g/h (lbs/h)	305 (0.672)	370 (0.816)	480 (1.058)	570 (1.257)
Oil filling, min. / max.	l (qt)	0.5 / 1.0 (0.5 / 1.1)	0.5 / 1.0 (0.5 / 1.1)	0.6 / 1.4 (0.6 / 1.5)	0.6 / 1.4 (0.6 / 1.5)
Noise level ²⁾ to DIN 45 635, without / with gas ballast	dB(A)	54 / 56	54 / 56	54 / 56	54 / 56
Admissible ambient temperature	°C (°F)	+12 to +40 (+54 to +104)	+12 to +40 (+54 to +104)	+12 to +40 (+54 to +104)	+12 to +40 (+54 to +104)
Motor rating ³⁾	W (HP)	550 – 750 (0.75 – 1.0)	550 – 750 (0.75 – 1.0)	750 (1)	750 (1)
Nominal speed	rpm	1500	1800	1500	1800
Type of protection	IP	3)	3)	3)	3)
Weight ³⁾	kg (lbs)	28 (61.7)	28 (61.7)	32.3 (71.2)	32.3 (71.2)
Connections, Intake and Exhaust	DN	25 KF	25 KF	25 KF	25 KF

Figura 07: Tabela de Aplicação da Bomba de Vácuo

Fonte: <https://www.leybold.com/epaper/en/#0>

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do desenvolvimento desse estudo, fez-se necessária a construção de um equipamento de liofilização para realizar a coleta de dados e assim, analisar a redução da atividade de água dos alimentos pelo processo de separação por sublimação. Dentre os recursos disponíveis para o desenvolvimento do equipamento, foram realizados vários testes práticos e aperfeiçoamentos com o intuito de atingir a melhor condição financeira do processo de conservação (Figura 08).

É válido, neste ponto, ressaltar que a realização de uma liofilização requer que se siga alguns passos:

1. Inserir o produto previamente congelado nas prateleiras de desidratação;
2. Colocar as tampas de vidro na câmara de desidratação e de sequestro de umidade;
3. Certificar-se de que todos os cinco registros do sistema estão fechados;

4. Ligar o sistema de refrigeração e aguardar cinco minutos para certificação do seu funcionamento;
5. Ligar bomba de vácuo e verificar a vedação na câmara de sequestro de umidade;
6. Abrir registro de interligação entre a câmara de sequestro de umidade e a câmara de desidratação;
7. Verificar a vedação da câmara de desidratação e acompanhar o nível de vácuo com o vacuômetro;
8. Acompanhar a temperatura na prateleira em que estão acomodados os produtos;
9. Ligar o controlador de temperatura para acionamento da resistência com a temperatura desejada;
10. Após a desidratação concluída, deve-se fechar o registro entre as duas câmaras;
11. Equalizar a pressão interna da câmara de desidratação com o ambiente ou inserir algum gás inerte;
12. Desligar bomba de vácuo;
13. Desligar sistema de refrigeração.

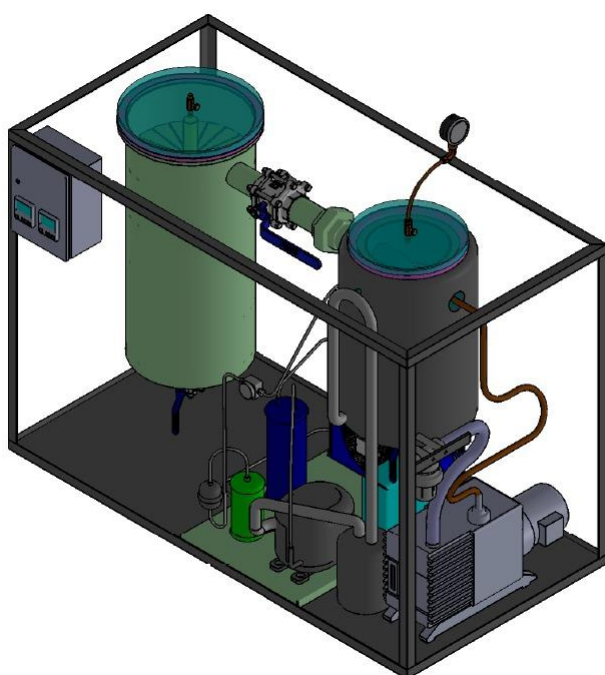


Figura 08: Prospecção do liofilizador.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os produtos, submetidos aos testes foram congelados e devidamente cortados e pesados para que se obtivesse um padrão em todas as amostras. O congelamento inicial dos produtos, todos sem embalagem, foi realizado por aproximadamente 3h em um freezer residencial (-15°C) em seguida, todos os produtos foram depositados diretamente nas prateleiras do liofilizador. Pelo fato de terem sido congelados em uma superfície plana, tiveram um ganho maior no processo de desidratação, pois estavam acomodados de maneira uniforme nas prateleiras, proporcionando uma maior área de contato.

A troca de calor entre as prateleiras aquecidas pela resistência controlada no quadro de comando e o produto sob contato direto favoreceu a redução do tempo de desidratação. Uma ressalva importante reside no fato de que caso o produto ou líquido não tenha sido congelado, ao ser submetido à pressão baixa, sofre grandes deformações, porque a água na forma líquida é expulsa muito rapidamente, projetando pequenos pedaços do produto ou líquido nas paredes e no suporte do liofilizador.

Os produtos congelados em uma superfície desuniforme em relação à superfície de contato, tiveram o tempo de desidratação mais elevado e, em algumas situações, não completaram o processo por completo, devido à indicação de que o processo estaria terminado. O fato é que a superfície de aquecimento, após a condição de elevação da temperatura, favorece a sublimação e, logo após, o produto que não possui mais umidade aparente passa a ser um isolante térmico, dificultando o aquecimento de áreas que estão mais distantes.

O sistema de aquecimento das prateleiras requer uma adição de calor que, no caso em tela, foi realizada por uma resistência elétrica, a qual exige muito cuidado para não queimar. Quando utilizada em ambiente com oxigênio, a convecção dá segurança de dissipação de parte desse calor para o ambiente, enquanto na câmara de liofilização sob vácuo, que é considerado o melhor isolante, o aquecimento é muito mais rápido e vai ao limite da resistência num curto espaço de tempo. Nesse ponto, contudo, deve-se redobrar o cuidado para não romper a resistência por falta de controle de temperatura.

O controle de temperatura é realizado por controladores eletrônicos, que podem ser ajustados conforme a necessidade de cada produto, sempre em contato direto com os locais que melhor demonstram a condição real do produto em processo.

Este controle permite que a resistência seja preservada, o processo tenha uma evolução gradativa e que haja uma forma de visualização de término do processo.

A separação entre câmaras, permitida por um registro esférico, sempre é realizada tanto no início de processo quanto no término: no início, a separação serve para testar se a bomba de vácuo e o sistema de refrigeração estão atendendo à necessidade do processo de desidratação e, ao final, serve para fazer a quebra de vácuo da câmara para abertura do compartimento.

Essa quebra de vácuo é realizada pelo registro que está no centro da tampa de vidro, podendo ser por ar atmosférico ou, seguindo o modo mais recomendado, que é por CO₂ ou Nitrogênio, para dar maior garantia de conservação do produto liofilizado (FELLOWS, 2006).

A utilização de um sistema de refrigeração está atrelada a um compartimento que limita a passagem de umidade para a bomba de alto vácuo, pois isso pode contaminar o óleo com a saturação de umidade que pode ter permanecido durante o processo, impossibilitando o deslocamento dos gases para fora da câmara de desidratação.

A umidade contida no vapor após a sublimação, a qual pode chegar à condição de -40°C sob a pressão de 0,1mmHg (COSTA, 2007), precisa encontrar uma superfície mais fria que o ponto de orvalho para realizar o sequestro dessa umidade antes que contamine o óleo da bomba de duplo estágio.

A seguir, apresentam-se as imagens do protótipo desenvolvido:



Figura 9 – Foto do protótipo de liofilizador desenvolvido na pesquisa
Fonte: o autor.

6 ENSAIOS

Concluída a etapa de montagem do equipamento, foram realizados os primeiros ensaios para comprovar a eficiência do equipamento, demonstrando a operação do liofilizador para carnes, frutas e verduras. Esses produtos *in natura* têm uma grande quantidade de água e, após a liofilização, é preciso ter garantias de que essa quantidade de água não comprometa a estabilidade do produto, acelerando sua decomposição.

Mesmo não tendo um acompanhamento de um profissional da área de alimentos para validar um estudo mais aprofundado acerca das três linhas de produtos submetidos aos testes de avaliação da eficiência do equipamento, após algumas tentativas foi possível perceber que a forma como os produtos foram preparados influenciava diretamente no tempo e na eficiência da desidratação.

Os produtos foram escolhidos pela disponibilidade de aquisição na ocasião em que foram realizados os testes e a preparação das amostras teve o objetivo de facilitar os testes quantitativos e qualitativos. As amostras foram definidas com massa de 50g e foram realizadas medições de quantidade de água/desidratação dos produtos para verificar eficiência do liofilizador.

O experimento foi realizado com todos os produtos de uma só vez, submetidos ao mesmo tempo e à mesma temperatura de superfície, o que pode demonstrar que é possível chegar aos níveis desejados, bastando ajustes de processo. As figuras a seguir apresentam a disposição e as amostras utilizadas para os testes de desenvolvimento do equipamento.



Figura 10 – Foto das amostras liofilizadas
Fonte: O autor

O formato do produto e a área da superfície de contato com as prateleiras durante a liofilização e após a condição de elevação da temperatura favoreceu a sublimação. Logo após, o produto que não possui mais umidade aparente, passa a ser um isolante térmico, dificultando o aquecimento de áreas que estão mais distantes. Os eventos que ocorrem e os problemas relativos às superfícies de contato dos produtos estão descritos no tópico “Operação do Equipamento”.

As massas e tipos dos produtos estão intrinsicamente ligados ao tempo e à temperatura do processo de liofilização. Os testes empíricos realizados com o equipamento no estágio atual e as amostras submetidas as mesmas condições (tempo de 14h e temperatura de 20°C medida na base da bandeja), foram encaminhadas para um laboratório com níveis de precisão adequado para medição dos níveis de água dos produtos *in natura* e após a liofilização. Os resultados são apresentados na Tabela 01, a seguir:

Tabela 01: Porcentagem de água em relação às amostras testadas

Produto	<i>In natura</i>	Liofilizada
Maçã	84,59%	6,83%
Peixe	75,19%	7,19%

Fonte: Dados da pesquisa.

Foi possível verificar que os produtos sofreram desidratação e alguns chegaram aos níveis desejados, isto é, abaixo de 8% (FELLOWS, 2006). Outros perderam consideravelmente o nível de água, mas é necessário que sejam ajustados os processos, incluindo o tempo e a temperatura para que seja concluída a desidratação.

Outro fator que contribuiu para certificação do processo foi a retirada da água que ficou retida na segunda câmara, durante a sublimação; o que proporcionou condições para que a bomba de vácuo não tivesse seu óleo contaminado, prejudicando, dessa maneira, o resultado.

É importante considerar o processo de embalagem de modo a evitar a reabsorção de umidade e comprometer a conservação. Neste momento, não se deu ênfase ao desenvolvimento de um processo de embalagem, mas ao processo de liofilização, foco deste estudo.

Como o equipamento ainda está na fase de protótipo e vários ensaios ainda serão realizados para testes de eficiência, não é possível estabelecer um custo para liofilizar 1kg de produto *in natura*, porém, é seguro afirmar que foram gastas, aproximadamente, 700 horas de trabalho para construção do equipamento e um investimento aproximado de R\$ 35.000,00.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características do equipamento em estudo permitiram obter resultados satisfatórios para a desidratação de alimentos, sem levar em consideração as particularidades de cada produto e dos diferentes processos que poderiam influenciar no resultado.

Neste ponto do processo, é seguro afirmar que foi possível construir um equipamento eficiente para diversos tipos de liofilização de produtos com a finalidade de conservação, mas ainda são necessárias melhorias para atender às especificidades de outros produtos originários da Agricultura Familiar, Sustentável e da Agricultura Orgânica. Independentemente disso, pode-se ressaltar que o equipamento proporciona novas oportunidades de armazenamento, transporte, comercialização e venda na entre safra, sem contar no valor diferenciado com maior valor agregado, que abre caminhos para que os pequenos agricultores tenham outras opções além das cadeias curtas para vender ao consumidor final.

Por fim, cumpre esclarecer que podem ser desenvolvidos outros estudos que possam envolver a liofilização, tanto para destinar os produtos mais apropriados para atingir o consumidor final quanto para identificar outras necessidades de mercado e de processos produtivos que poderiam ser liofilizados por esses equipamentos simplificados e de fácil operacionalização, talvez com algumas mudanças que possam melhorar a eficiência. Ressalta-se, neste ponto, que o pequeno produtor rural precisa de maior aparato tecnológico para garantir sua permanência no campo, diminuindo o êxodo rural e que estudos como o apresentado aqui podem ser caminhos que permitam atingir esse objetivo de forma sustentável e rentável ao pequeno produtor, evitando desperdícios.

REFERÊNCIAS

- AGENDA 2030. **Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/ods>. Acesso em 29/06/2018.
- ANDRADE, Daniel Caixeta. **Modelagem e Valoração de Serviços Ecosistêmicos**: Uma contribuição da Economia Ecológica. 2010. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) - Instituto de Economia - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2010.
- BATALHA, Mário O; SOUZA FILHO, Hildo M. de. **Gestão integrada da agricultura familiar**. São Carlos: Ed UFSCar, 2005. 359p.
- BOFF, Leonardo. **Saber cuidar**: ética do humano - compaixão pela terra. 20. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.
- COSTA, Ennio Cruz da. **Secagem Industrial**. São Paulo: Blucher, 2007.
- DAROLT, Moacir Roberto. **Conexão ecológica**: novas relações entre agricultores e consumidores. Londrina: IAPAR, 2012. 162p.
- . (2014). The state of world fisheries and aquaculture: opportunities and challenges. Roma: FAO
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO apresenta avanços no combate às perdas e ao desperdício de alimentos**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1062706/>. Acesso em: 29/06/2018.
- FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos**: princípios e prática. Tradução de Florencia Cladera Olivera. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- SACHS, Ignacy. **Para Pensar o desenvolvimento sustentável**. IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993. 161p.
- LINDON, Fernando; SILVESTRE, Maria Manuela. **Conservação de Alimentos – Princípios e Metodologias**. Lisboa: Escolar Editora, 2008. 232p.
- MILLER, Rex; MILLER, Mark R. **Refrigeração e ar condicionado**. Tradução: Francesco Scofano Neto, Rodrigo Otávio de Castro Guedes. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 524p.
- ORDÓÑEZ PEREDA, Juan A. **Tecnologia de Alimentos – Componentes e Processos**. Tradução Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p.

PEDRO, Sónia; NUNES, Maria Leonor. **Secagem do Pescado**. In: GONÇALVES, Alex Augusto (ed). Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação. São Paulo: Editora Atheneu, 2011. p. 148-155.

APÊNDICE A – DIMENSÕES DO LIOFILIZADOR

