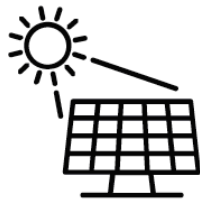




CIEEMAT`17

III Congresso
Ibero-Americano de
Empreendedorismo, Energia,
Ambiente e Tecnologia:
Livro de atas

12 a 14 de julho de 2017



Instituto Politécnico de Bragança

Dimensionamento de uma câmara de liofilização e de uma câmara de secagem por ar seco frio para alimentos

Arnaldo Araújo, Daniel Pereira, Fábio Amaral, Júlia Soares¹, Júlio Alves, Maria Ferrari, Marina Ribeiro, Miguel Correia, Paulo Pinheiro, Rui Félix, Sónia Cova, Vítor Sousa, Luís Frölen Ribeiro,

⁽¹⁾ Juxitah18@hotmail.com

Climatização e Refrigeração / Engenharia de Gestão de Industrial
Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Bragança, Portugal.

Resumo - O mercado de produtos liofilizados tem crescido nos últimos anos. Os principais alimentos produzidos são sólidos, como frutas e refeições prontas. O presente trabalho tem como principal objetivo a conceção e dimensionamento de uma câmara de liofilização industrial, na qual se utilizou o fluido refrigerante R-404A., juntamente com uma câmara de secagem por convecção baseado num sistema mecânico de refrigeração. A câmara de liofilização apresenta uma capacidade de 185 kg, uma potência de 5.42 kW, sendo que a perda de calor por evaporação dos alimentos é cerca de 3613.05 W. O produto alimentar que se destacou neste estudo foi a maçã, pois trata-se de um produto com uma grande produção na Região de Carrazeda de Ansiães, sendo que a câmara dimensionada pode ser adaptada a outros tipos de produtos alimentares, consoante a época de colheita. Para tal, foi necessário um correto dimensionamento dos equipamentos que constituem os circuitos frigoríficos, bem como os componentes elétricos associados a este projeto.

A secagem por ar seco frio é uma técnica de processamento de alimentos que tem o potencial de aumentar significativamente a vida útil de alimentos e para reduzir o desperdício de produtos alimentares dos setores de produção e retalho dos alimentos.

Foi dimensionada uma câmara de secagem por ar seco frio, utilizando-se o mesmo fluido refrigerante e, o mesmo produto da câmara de liofilização. Esta apresenta uma capacidade de 56kg, uma potência máxima de 39kW, um caudal de ar de secagem 1,35 m³/min e, comprimento dos tubos do trocador de calor de 3,74 m.

Palavras-Chave: liofilização, temperatura, pressão, convecção, secagem por ar seco frio.

Abstract - The market for lyophilized products has grown in recent years. The main foods produced are solid, like fruits and ready meals. The present work has as main objective the design of an industrial freeze-drying chamber with a convection drying system. A R-404A refrigerant fluid was the chosen one as the main driver of the mechanical refrigeration system. The freeze-drying chamber presents a capacity of 185 kg of food for a 5.42 kW power. The heat loss by evaporation of the food is about 3.6 kW. This study aimed apples because they are largely produced in Bragança region, mostly in the

municipality of Carrazeda de Ansiães. The drying chamber was also designed to accommodate other types of food products according to the harvest season. Cold Dry Air Drying is a food processing technique that has the potential to significantly increase the shelf life of food and reduce food waste both in the food production and retail sectors. The drying chamber was designed for cold dry air using the same refrigerant and the same product as the freeze-drying chamber. It has a capacity of 56kg, a maximum power of 39kW, a drying air flow rate of 1.35 m³ / min and length of the heat exchanger pipes of 3.74 m.

Keywords – freeze-drying, cold-drying

Introdução

Cada vez mais a população adota uma dieta saudável e torna-se exigente quanto ao valor nutricional e sensorial dos alimentos adquiridos. Estes são os principais motivos pelo aumento da procura de alimentos desidratados, que são uma opção mais saudável e prática para as refeições intermédias. Por outro lado, o consumidor requer produtos alimentícios com uma vida útil maior que a do produto fresco, evitando deste modo, a utilização de uma grande quantidade de aditivos e, que ao mesmo tempo, mantém todas as propriedades nutricionais, odor, cor e sabor [1]. A liofilização é uma tecnologia de secagem que constitui na remoção da água através da sublimação. Ocorre quando o alimento congelado, isto é, quando todo o seu conteúdo de água está na forma de gelo, é submetido a condições de pressões muito baixas. O produto é colocado em câmaras herméticas, o ar de dentro é removido através de bombas de alto vácuo, criando a condição para que ocorra a sublimação da água. A água passa de seu estado sólido para o gasoso a temperaturas muito baixas e sem a presença de oxigénio, fatores muito favoráveis para a preservação das características nutricionais de um alimento. Indicado para produtos que tenham elementos sensíveis ao calor, como proteínas e vitaminas, a liofilização conserva as propriedades nutritivas, pois as membranas das células não se rompem com a perda do vapor de água [2].

O processo de secagem por ar seco frio é definido como a separação total ou parcial de um líquido a partir de um material sólido por aplicação de ar seco e à sua aplicação por

meio da transferência de água a partir da superfície de sólido para o ar seco [3].

I. PRINCÍPIOS DA LIOFILIZAÇÃO

A secagem por liofilização consiste na remoção de um solvente de algum alimento ou produto por sublimação, ou seja, o solvente previamente congelado passa diretamente do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido. Para que isso ocorra, são necessárias condições específicas de pressão e temperatura. No caso da água, a sublimação ocorre em condições de pressão e temperatura abaixo do seu ponto triplo ($T=0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $P=4,58\text{ mmHg}$), uma vez que a sua fase líquida não ocorre nessa região [1,2], Fig. 1.

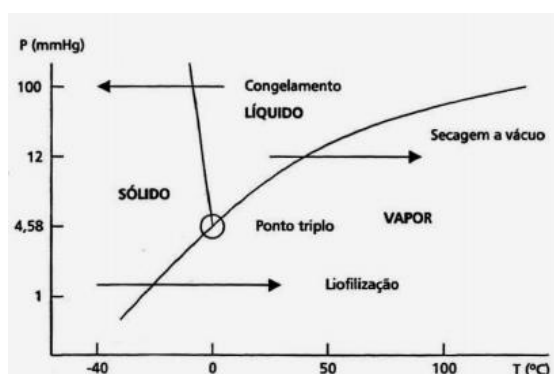


Figura 1 - Diagrama de fases da água e os processos de separação.

Etapas do processo de Liofilização

A liofilização ocorre geralmente em três etapas: congelamento, secagem primária (sublimação) e secagem secundária.

A. Congelamento

A congelamento é a primeira etapa da liofilização e influencia significativamente as etapas subsequentes da secagem. A congelamento ou ultracongelamento total é verificada abaixo do ponto triplo de cada solução, evitando assim a formação de espumas quando da aplicação do vácuo. As amostras são primeiras congeladas rapidamente a temperaturas baixas entre os $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ para que os cristais de gelo sejam de pequenas dimensões, para não provocar rupturas celulares. As dimensões dos cristais estão diretamente relacionadas com a velocidade de congelamento. Se a velocidade for lenta, os cristais são maiores e irregulares. Se a velocidade for maior, há um maior crescimento de núcleos de cristais e tem-se uma rede cristalina mais uniforme, dificultando o fluxo de vapor para fora da matriz.

B. Sublimação ou secagem primária

Após o congelamento do produto, ele é levado à câmara de vácuo mantida em condições de pressão e temperatura do

solvente a ser removido, onde ocorrerá a secagem primária que consiste na etapa de sublimação do solvente congelado. É nesta etapa que 80 a 90% da humidade do produto será removida. Como o calor latente de sublimação é muito alto, devem-se manter as prateleiras suficientemente aquecidas para transferir calor para o produto, mas com temperaturas bem controladas para evitar o dano estrutural do mesmo. O produto deve estar completamente congelado, pois se ainda houver solvente na forma líquida, ocorrerá formação de bolhas durante a secagem primária, comprometendo as características estruturais do produto.

C. Dessorção ou secagem secundária

A última etapa da liofilização é a secagem secundária que é responsável por remover a humidade residual que fica no produto mesmo após a etapa de sublimação durante a secagem primária (por volta de 15%). Essa água residual está fortemente adsorvida ao substrato sólido (proteínas ou outras macromoléculas), sendo também chamada de água ligada. Essa última etapa de secagem é fundamental para que o produto já atividade microbiana (em geral abaixo de 2%). A energia necessária para remover essa humidade residual é maior que na sublimação e, por isso, as prateleiras são mais aquecidas na parte final do processo, sendo essa etapa bastante demorada e responsável por aproximadamente 40 a 50% do tempo total da liofilização. Como a câmara continua sob vácuo, a temperatura final de aquecimento pode ser amena, de forma a não danificar o produto ou alterar suas propriedades sensoriais.

II. METODOLOGIA

Materiais e Métodos

O estudo em questão é focado na secagem de maçãs. Para se alcançarem os cálculos necessários para o dimensionamento da câmara e tabuleiros, foi necessário saber a quantidade de maçãs que cada tabuleiro levava, bem como a área que a maçã cortada em pedaços ocupava. Recorreu-se, desta forma, à pesagem de uma maçã e à colocação dos pedaços cortados num determinado espaço e, efetuaram-se as respectivas medições, como se pode ver nas Figuras 1 e 2.

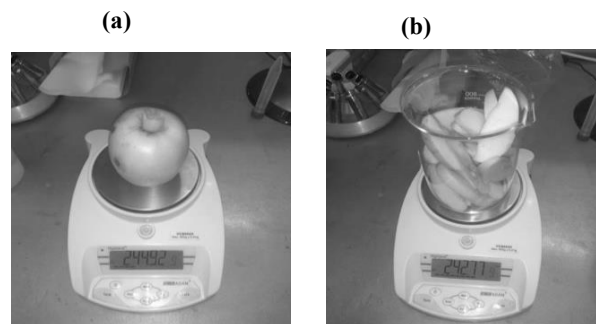


Figura 2 - Pesagem de uma maçã. (a) - Inteira - 244,92 g; (b) - Pedaços - 242,77g.

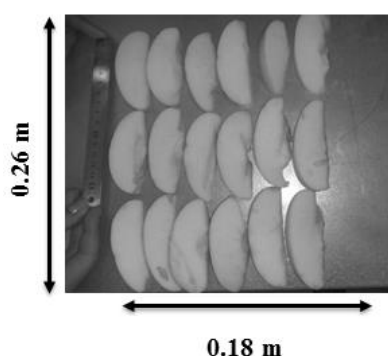


Figura 3 - Área ocupada pela maçã em pedaços ($A=0.0468\text{m}^2 \sim 0.05\text{m}^2$).

Para o desenvolvimento do estudo em questão baseou-se em dados da região de Carrazeda de Ansiães, uma vez que se trata de uma região com uma produção elevada de maçã. Em anos agrícolas razoáveis o potencial produtivo de pomares de “Maçã de Carrazeda” é de cerca de 10 mil toneladas.

Estima-se que em Portugal 87% da colheita seja para consumo do produto no país no seu estado natural e, 3% para exportação, sendo os restantes para a indústria alimentar, entre os quais para sumo de néctar, compotas, uso culinário, entre outros. Dentro destes, 0,1% da produção é encaminhada para o processo de desidratação.

Para a produção em Carrazeda, apostou-se cerca de 75% na desidratação através da liofilização, sendo o resto reencaminhado para a câmara de secagem por convecção [5].

III. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

1. Câmara de Liofilização

Os liofilizadores apresentam cinco componentes básicos: câmara de liofilização, bomba de vácuo, condensador, compressor e serpentinas de refrigeração.

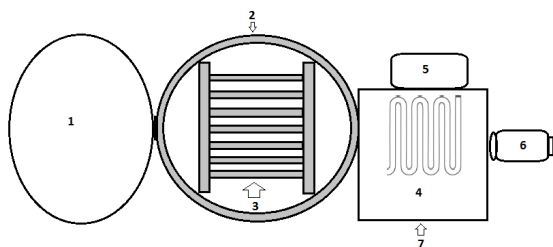


Figura 4 - Esquema representativo do funcionamento de uma câmara de liofilização. 1 - Porta da câmara; 2 - Câmara de liofilização; 3 - tabuleiros; 4 - Serpentina de refrigeração; 5 - Compressor; 6 - Bomba de vácuo; 7 - Condensador.

A Figura 4 mostra o esquema geral de um liofilizador industrial. A câmara de liofilização ou de vácuo (2) é o local onde o produto ou alimento fica contido durante o processo de liofilização. Esta é construída de forma a suportar as pressões negativas de operação e possui uma porta que fecha hermeticamente, através da qual se faz a carga e descarga do equipamento [6].

A câmara de liofilização está diretamente ligada ao condensador (7) que contém serpentinas ou placas por onde circula um fluido que é continuamente resfriado pelo sistema de refrigeração. A sua função é congelar os vapores do solvente removido da amostra pelo processo de sublimação. O condensador opera a temperaturas abaixo de -40°C . A temperatura da superfície do condensador deve ser mantida em valores tais que a pressão de vapor do gelo esteja bem abaixo da pressão total na câmara. Quanto maior for o gradiente de temperatura entre o produto e o condensador, maior será a velocidade de secagem. O condensador, por sua vez, está ligado à bomba de vácuo, que tem a importante função de remover os vapores não condensáveis do liofilizador e garantir uma pressão de operação abaixo do ponto triplo da água ou de outro solvente, a fim de permitir a secagem em baixas temperaturas por meio da sublimação desse mesmo solvente. O calor deve ser fornecido ao material através do aquecimento das placas por um fluido circulante ou por resistência elétrica. A razão de remoção da humidade depende da taxa de fornecimento de calor ao produto. Portanto, depende da condutividade térmica do material bem como da sua espessura.

2. Câmara de secagem por ar seco frio

Neste projeto foi desenvolvida uma câmara de secagem por ar seco frio. Depois do dimensionamento dos diversos componentes a condições extremas e tendo em conta a esterilização da câmara, foi necessário definir o processo.

Inicialmente o compressor introduz ar no sistema à temperatura ambiente, $22,7^{\circ}\text{C}$, utilizando a temperatura de referência para a o caso de estudo em Carrazeda de Ansiães, de acordo com o Despacho 15793F; o ar segue então para as serpentinas de ar frio para arrefecer até 6°C . Ao atingir esta temperatura, inicia-se o processo de secagem, com a abertura de válvulas, permitindo a entrada de ar e a circulação pela câmara de alimentos.

Quando o ar de secagem atinge os 2°C e aproximadamente 75% de humidade relativa, o ar é forçado a sair para a zona de condensação, com o objetivo de o vapor de água presente no ar condensar e ser removido.

De seguida o ar segue para as serpentinas quentes para aquecer a 6°C , reiniciando o processo.

Foi definido a utilização de dois evaporadores como alternativa para melhorar a eficiência de secagem do processo. No final do processo, após a remoção dos alimentos, a câmara poderá ser esterilizada, com recurso ao aquecimento do ar a 60°C .

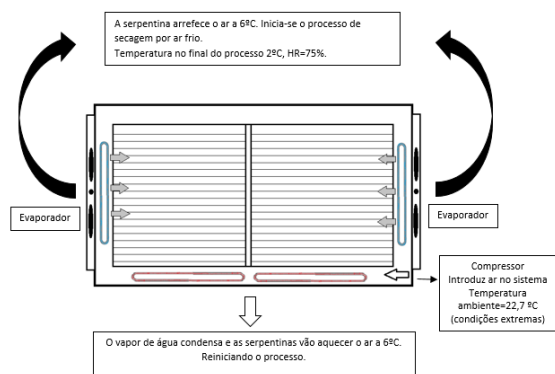


Figure 7 – Esquema de funcionamento da câmara de secagem por ar seco frio.

câmara esta fixa numa estrutura de 0.7m de altura, permitindo uma fácil colocação de todos os tabuleiros, e na parte posterior da câmara serão fixados os restantes componentes.

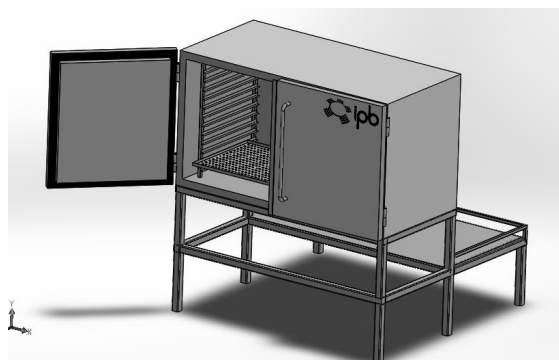


Figure 8 - Esboço da câmara de secagem por ar seco frio.

IV. DESENHO E DIMENSIONAMENTO

1. Câmara de Liofilização

Para o estudo em questão foi projetada uma câmara de liofilização construída em aço inoxidável AISI 304, com dois conjuntos de prateleiras que suportam 23 tabuleiros cada. Como se pode observar pela Figura 1, tem-se um maior comprimento dos suportes onde cabem dois tabuleiros (tabuleiro maior de 0.4x0.6 m e um tabuleiro menor de 0.2x0.4 m) de modo a se obter um maior aproveitamento do espaço envolvente. A câmara tem um comprimento de 2.00046 m, uma largura de 2.208 m e um volume de 0.19 m³.

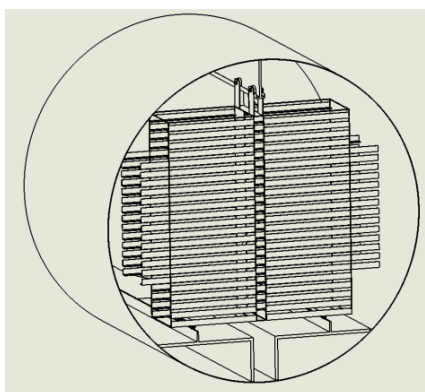


Figure 6 - Desenho da câmara de liofilização.

2. Câmara de secagem por ar seco frio

A câmara de secagem de alimentos por ar seco frio, foi dimensionada através de uma arca horizontal de 419 litros, disponível no mercado. A razão da escolha é devido ao facto de ser o mais rentável à fabricação em massa devido às medidas tabeladas, e também pelo seu isolamento. A forma retangular permite um maior aproveitamento de espaço, sendo possível colocar 26 tabuleiros num volume de 0.77m³. A

V. CÁLCULOS EFETUADOS

1. Câmara de Liofilização

Para calcular a perda de calor por evaporação dos alimentos [4], recorreu-se à seguinte equação (1):

$$Q = m * cp * \Delta t \quad (1)$$

Onde: m é a massa (kg), cp é a massa específica (kcal/kg/°C) e o Δt a diferença de temperatura (°C); dando um valor de 3613.05 W. As perdas de calor por convecção e condução na câmara foram calculadas através das expressões (2) (3) (4),

$$R = \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_e} \quad (2)$$

$$U = 1/R \quad (3)$$

$$Q_2 = U * A * \Delta t \quad (4)$$

Onde o U é o coeficiente de transmissão de calor (W/m².C), A é a área (m²) e, Δt a diferença de temperatura (°C); resultando 314,69 W. A potência da câmara, esta foi obtida com a seguinte equação (5)

$$Q_{total} = 1,2 * (Q_1 + Q_2) \quad (5)$$

Dando 5,42 kW, com um coeficiente de segurança de 20%.

2. Câmara de secagem por ar seco frio

Inicialmente foram definidas as condições extremas de temperatura ambiente e condições de humidade relativa. De seguida através do software *PsyCalc*, foram definidas as entalpias das principais temperaturas necessárias para os cálculos [4], tabela 1.

Temperatura de bolbo seco (°C)	% HR	Habs (gH2O/kg ar seco)	Entalpia (kJ/Kg ar seco)	Observações
22,7	55	10,19	48,73	Ar ambiente
0	100	4,06	10,16	Air desumificado
60	3,06	4,06	71,05	Ar quente
6	3,06	5	19,6	Ar de secagem convencional
2	75	3,51	10,81	Ar depois da secagem

Tabela 1 – Definição das entalpias.

O caudal de ar seco foi calculado, com recurso às seguintes expressões (6), (7), (8), (9),

$$V_{\text{sec}} = \frac{C \cdot Ag}{t} \quad (6)$$

$$\Delta Ha = Ha_{60^{\circ}} - Ha_{22,7^{\circ}} \quad (7)$$

$$V_{\text{sec}} = \Delta Ha \cdot \dot{m}_{as} \quad (8)$$

$$Q_{ah} = \dot{m}_{as} \cdot v_e \quad (9)$$

Sabendo que a quantidade de água presente numa maçã é de 85%, e para a quantidade de maçãs máxima que a câmara pode suportar, retiramos as gramas de água C.Ag, que pode levar, 47515,71g, e o tempo é dado em segundos, sendo que 12h de processo equivale a 43200s.

Depois calculou-se a potência necessária para compressor, através das fórmulas (10) e (11):

$$\Delta h = h_{60^{\circ}} - h_{22,7^{\circ}} \quad (10)$$

$$P = \Delta h \cdot \dot{m}_{as} \quad (11)$$

Sendo que com as mesmas fórmulas foi possível obter a potência do evaporador.

Por último foi calculado o comprimento de tubagem necessário para o tubo intercambiador de calor. Utilizando as equações (12),(13),(14),(15),

$$q = z \cdot A \cdot \Delta T \quad (12)$$

$$A_L = [(l \cdot a) - (\pi \cdot r^2 \cdot N)] \cdot L \cdot n \quad (13)$$

$$A_T = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \quad (14)$$

$$A = A_T + A_L \quad (15)$$

Sendo z , o coeficiente de convecção, 20 W/m².°C (limite inferior no intervalo de convecção forçada), l é o comprimento da lâmina, a é a largura da lâmina, r é o raio da tubagem, N é o número de tubos do evaporador, estando estipulado (parâmetro standard) que por cada metro de tubo tem 17 lâminas, obtendo-se assim o n .

Obtendo no final os seguintes dados, tabela 2.

Problema	Cálculo
Caudal de ar	1,35 m ³ /min
Potência do compressor	35 HP
Comprimento dos tubos do trocador	3,74 m
Potência do sistema de aquecimento	30236,19 W

Tabela 2 – Dados finais dos componentes

VI. LIOFILIZAÇÃO VS DESIDRATAÇÃO POR AR SECO FRIO

As principais características do processo de liofilização são:

- Eficaz para a maioria dos alimentos, mas normalmente utilizada para alimentos de elevado valor;
- Utiliza temperaturas baixas;
- Tempo de secagem varia entre 12 e 24 h;
- A humidade é perdida por sublimação, que acontece no limite da zona dos cristais de gelo;
- As partículas desidratadas são porosas;
- Baixa densidade dos alimentos que foram sujeitos ao processo;
- Odor e cor original;
- Rehidratação rápida, e completa;
- Excelente estabilidade do produto durante o armazenamento;
- Processo não poluidor, água residual baixa (1 a 3%), fácil de armazenar e de transportar;
- 100% natural, pois o processo dispensa o uso de agentes conservadores e outros aditivos;
- Trata-se de um equipamento e de um custo energético muito caro (2 a 3 vezes mais que em outros métodos de secagem).

Quanto ao processo de desidratação por ar seco frio as principais características são:

- Eficaz para alimentos facilmente desidratados, como fruta, sementes e vegetais;
- Temperaturas normalmente utilizadas estão entre os 37°C e 93°C;
- Tempo de secagem normalmente é curto, menor que 12 h;
- A evaporação da água dá-se à superfície do alimento;
- As partículas desidratadas são sólidas;
- Elevada densidade dos alimentos que foram sujeitos ao processo;
- Alteração do odor;
- Alteração da cor, processos de acastanhamento;
- Rehidratação lenta, e normalmente incompleta;
- Alteração do sabor;
- Boa estabilidade durante o armazenamento, tendencialmente os produtos escurecem, e ficam mofados;
- Baixo custo.

VII. VIABILIDADE DO PROJETO

1. Análise e Sensibilidade do Valor Atual Líquido (VAL) do Projeto e Cenários para a câmara de liofilização

A criação da máquina industrial de liofilização tem por fim exportar os seus produtos, tanto no mercado nacional como no internacional e a sua distribuição será feita para diversos estabelecimentos, tais como: hipermercados, lojas de categoria *gourmet* e/ou outro tipo de potenciais consumidores interessados, por exemplo, restaurantes. Assumindo que somos onze sócios com um capital inicial de 50 000€ cada um, com um investimento total de 132 000 € (instalações e equipamentos) e com uma produção de 10 000 Kg de maçãs liofilizadas traduzindo-se em 5 333 *couvettes* de 60 gr a 2,95€ cada. Este estudo foi analisado para um prazo de 10 anos.

Prevê-se:

- Que se irá ter 80% de reembolso no quarto ano;
- Os restantes 20% no quinto ano;
- Alcance de lucro no fim do sétimo ano;
- No décimo ano os equipamentos estão totalmente amortizados;
- Especula-se um acresce de vendas e de produção de 3% ao ano, de forma linear;
- Os *cash-flows*, a partir do quarto ano, demonstram a *performance* positiva do projeto, sendo impensável a situação de falência;
- Através da Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e Período de Recuperação do Investimento (PRI), o VAL apresenta um valor positivo, 283 900,00€, isto é, o projeto é fiável e aceitável e os capitais investidos são recuperado em 3anos/13meses/10dias.
- O valor do ativo será de 199 200,00€ sendo o passivo de 41 900€, demonstrando uma forte dinâmica e uma solidez financeira, permitindo aumentar a credibilidade junto dos seus parceiros económicos;
- Recorreu-se aos mapas dos cenários: otimista, razoável e pessimista. Ou seja, nas melhores e nas piores das hipóteses, aumentando e/ou diminuindo 15% as vendas e os custos e o investimento é sempre alcançado ao fim de um período, demonstrando sempre um VAL positivo nas três situações.

2. Análise e Sensibilidade do Valor Atual Líquido (VAL) do Projeto e Cenários para a câmara de secagem por ar seco frio

A criação da máquina por Ar Frio tem por fim exportar os seus produtos, tanto no mercado nacional como no internacional, a sua distribuição será feita para diversos estabelecimentos, tais como: hipermercados, lojas de categoria *gourmet* e/ou outro tipo de potenciais consumidores interessados, por exemplo, restaurantes ou até particulares/individuais. Assumindo que somos onze sócios com um capital inicial de 2 000€ cada um, com um investimento total de 13 000€ (componentes de montagem e

equipamentos) e com uma produção de 10 000 Kg de maçãs traduzindo-se em 5 333 *couvettes* de 60gr a 2,95€. Este estudo será analisado para um prazo de 10 anos. Prevê-se:

- Através do Período de Recuperação do Investimento (PRI), iremos ter 80% de reembolso em meados do terceiro ano;
- Os restantes 20% no quinto ano;
- Alcance de lucro no fim do sétimo ano, visto ter-se realizado um empréstimo de 60% do investimento;
- No décimo ano os equipamentos estão totalmente amortizados;
- Especula-se um acresce de vendas e de produção de 3% ao ano, de forma linear;
- Os *cash-flows*, a partir do quarto ano, demonstram a *performance* positiva do projeto, sendo impensável a situação de falência;
- Com uma taxa de atualização de 7%, a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) é de 9% e o VAL apresenta um valor positivo, 362 108,72 €, isto é, o projeto é fiável e aceitável e os capitais investidos são recuperado em 3anos/3meses/50dias;
- O valor do ativo mais do capital próprio será de 353 724, 32€ demonstrando uma forte dinâmica e uma solidez financeira, permitindo aumentar a credibilidade junto dos seus parceiros económicos;
- Recorreu-se aos mapas dos cenários: otimista, razoável e pessimista. Ou seja, nas melhores e nas piores das hipóteses aumentou-se e diminui-se 15% as vendas mais os custos de investimento sendo que no melhor e atual cenário é alcançado ao fim de um período demonstrando um VAL positivo, no pior cenário temos uma perda de 2 000€.

VIII. CONCLUSÕES

Embora o processo de liofilização requeira relativamente altos investimentos, a liofilização é uma técnica muito superior de conservação que as demais, por preservar as características do produto de modo particular, apresentando ótimas características sensoriais similares às do produto natural, facto que nem sempre acontece nas demais técnicas de desidratação de produtos. O processo também reduz em níveis significantes a decomposição térmica e a perda de voláteis, preservando deste modo as características essenciais de um alimento mas o seu custo é substancial o que torna uma máquina viável apenas se for utilizada com regularidade.

Deste modo, o nosso estudo de projeto baseou-se na câmara de secagem por ar seco frio, pois o processo de liofilização tornar-se-ia muito dispendioso; e, optou-se também por reduzir o tamanho da câmara, como o objetivo de poder ser mais utilizada e adquirida por entidades, visto que o seu custo é bem mais reduzido comparado com a câmara de liofilização. Verificou-se que tem havido uma crescente demanda por alimentos mais naturais que apresentem um alto índice de nutrientes e não utilizem compostos químicos nas suas composições, induzindo as empresas do ramo alimentício a procurar por novos métodos para a obtenção desses produtos sendo que uma das alternativas viáveis poderá ser a câmara de secagem por ar seco frio.

Após a criação da máquina e um estudo de dez anos conclui-se: iremos vender o projeto por 13 000 €; o investimento saldado entre o terceiro e o quinto ano; com uma TIR de 9% e um VAL de 362 108,72 € será alcançado o lucro no sétimo ano.

REFERENCES

- [1] A. P. C. Amaral; “Estudo da secagem de maçãs: utilização de pré-tratamentos (Dissertação de Mestrado)”; UFRGS, Porto Alegre, 2014.
- [2] Terroni, Henrique; Jesus, Jéssika; Artuzo, Loredana; Ventura, Lucina; Santos, Roseli, (2013). Liofilização. Unilago, 271-284.
- [3] Duret, S., Hoang, M. H., Flick, D., & Laguerre, O. (27 de Janeiro de 2014). Experimental characterization of airflow, heat and mass transfer in a cold room filled with food products. ELSEVIER - International Journal of Refrigeration, pp. 17-25. doi
- [4] P. M. Moreno; “Aislamiento, cálculo y construcción de câmaras frigoríficas(Dissertação de Mestrado)”; primera edición, Madrid, 1995.
- [5] S. F. Martins; “Avaliação da eficiência em pomares de macieira na região de Carrazeda de Ansiães” (Dissertação de Mestrado); Castelo Branco; Novembro de 2014.
- [6] N. G. Corrêa; “Efeito da velocidade de Congelamento sobre a Liofilização, Reidratação e Atributos de Qualidade de Fatias de Maçã ”; São José do Rio Preto; Março de 2013.