

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

BEATRIZ BERKENBROCK NIEMEYER

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE LIOFILIZAÇÃO DE PÉS DE FRANGO PARA
EXPORTAÇÃO**

MEDIANEIRA

2016

BEATRIZ BERKENBROCK NIEMEYER

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE LIOFILIZAÇÃO DE PÉS DE AVES PARA
EXPORTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso Superior de Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Medianeira, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Ilton José Baraldi

Co-orientadora: Prof. Dr^a. Cristiane Canan

MEDIANEIRA
2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação Engenharia de Alimentos

BEATRIZ BERKENBROCK NIEMEYER

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Engenheiro de Alimentos, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Medianeira.

ESTUDO DA VIABILIDADE DE LIOFILIZAÇÃO DE PÉS DE AVES PARA EXPORTAÇÃO

Prof. Dr. Ilton José Baraldi
Orientador

Prof. Dr^a Cristiane Canan
Co-orientadora

Prof. Dr^a Carolina Castilho Garcia
Membro da Banca

Prof^a. Dr^a. Elciane Regina Zanatta
Membro da Banca

Beatriz Berkenbrock Niemeyer
Aluna

Medianeira, 25 de novembro de 2016.

O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me proporcionar uma vida maravilhosa e cheia de oportunidades, repleta de paz, amor e carinho de pessoas abençoadas que entraram em minha vida.

À minha família, minha mãe Ivone, meu pai Maurício, irmãs Elizabeth e Helena, e minha sobrinha Nicole, que sempre me apoiaram e incentivaram em tudo na minha vida, e que com certeza, são o maior tesouro que Deus poderia me proporcionar!!! Obrigada minha família maravilhosa que amo tanto!!!

A todos os professores que participaram em minha formação acadêmica, obrigada pela dedicação, paciência e ensinamentos de todos, em especial ao meu professor orientador Ilton José Baraldi, que sempre estava disposto em me ajudar a qualquer hora do dia, a todo momento com bom humor e simpatia, e que além de ser um dos melhores professores com quem eu tive a oportunidade de aprender, é uma das melhores pessoas que conheci! Um muito obrigada de coração para você professor Ilton!

E finalmente, agradeço a todos os meus amigos!!! Durante o período da faculdade conheci pessoas maravilhosas, que pretendo levar no meu coração para sempre. Foram muitos momentos de risadas, estudos, boa companhia, ansiedade, comilanças, nervosismo e principalmente de felicidade que eles me proporcionaram! Portanto, Elisandra, Katia, Gabriela, Julia, Mirela, Marjorie, Diego, Heber, Mayara, Ígor, Luana, Natália, Juan, Dino, Xablau, Evelin, Kharin, Débora, Camila, João Zanette, João Felipe, Alice e Eduardo, muito obrigada por participarem neste período que foi tão importante na minha vida! Vocês todos são muito especiais pra mim!!

RESUMO

NIEMEYER, Beatriz. **Estudo da viabilidade de liofilização de pés de aves para exportação**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus – Medianeira. Medianeira, 2016.

A carne de frango é a segunda mais consumida no mundo, por ser uma carne considerada magra. É uma boa fonte de proteína, contém nutrientes essenciais tais como vitaminas, minerais e aminoácidos, o frango está cada vez mais presente na mesa do consumidor. O Brasil é o maior exportador de carne de frango, gerando um capital de bilhões de reais anualmente. A liofilização é um método de secagem que pode ser utilizado para aumentar a vida de prateleira de cortes de frango, sem a necessidade de refrigeração. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade de liofilização de pés de frango para a exportação, avaliando a cinética de secagem e o custo de transporte com refrigeração (congelado) e sem refrigeração. A secagem dos pés de frango foi realizada em um liofilizador piloto e a cinética foi determinada através da pesagem das amostras, em tempos diferentes. Como resultado obteve-se, o produto liofilizado em 26,7 horas e umidade ao redor de 5,0 % o que permite seu transporte e armazenamento sem a necessidade de refrigeração, aumentando a sua vida de prateleira. Porém o método da liofilização apresentou um custo de 267 % maior que o processo de refrigeração da carne. Portanto, o método de secagem por liofilização deve ser aprimorado, ou substituído por uma tecnologia com menor tempo de secagem e consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Secagem, carne, degradação.

ABSTRACT

NIEMEYER, Beatriz. **Study of the chicken's feet freeze drying viability for exportation**. Course conclusion work. Course of Food Engineering, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira. Medianeira 2016.

Chicken meat is the second most consumed meat in the world. For being a low fat meat, a good source of protein and containing essential nutrients like vitamins, minerals and amino acids, the chicken is each time more present in the daily diet life of people. Brazil is one of the biggest exporters of chicken meat generating a capital of billions of reais annually. Freeze drying is a drying method that can be used to extend the shelf life of the chicken meat, without the need of refrigeration. The objective of this work was to evaluate the chicken's feet freeze drying viability for exportation, evaluating the drying kinetics and the cost of transportation with refrigeration (frozen) and without refrigeration. The drying of the chicken feet was done in a pilot freeze drying and the kinetics will be determined through the passage of samples, in different times. As a result the lyophilized product was obtained at 26.7 hours and moisture around 5.0% which allows it to be transported and stored without the need for refrigeration and increasing its shelf life. However, the freeze drying method presented a cost of 267% more expensive. Therefore, the freeze drying method should be improved, or replaced with a technology that reduces drying time and power consumption.

Key-words: Drying, meat, degradation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de exemplo de curva de secagem	24
Figura 2. Transformações do processo de liofilização	28
Figura 3. Esquema geral do processo de liofilização	29
Figura 4. Pontos de monitoramento da temperatura do pé de frango.....	33
Figura 5. Amostragem durante o processo de Liofilização.....	33
Figura 6. Disposição das caixas de papelão em um container refrigerado.....	39
Figura 7. Disposição das caixas de papelão em um container seco.....	40
Figura 8. Ilha para exposição de congelados no ponto de venda	41
Figura 9. Freezer residencial	42
Figura10. Fluxograma do processo de produção e logística do produto liofilizado ..	43
Figura 11. Fluxograma do processo de produção e logística atual	44
Figura 12. Pés de frango liofilizado, hidratado e cozido.....	45
Figura 13. Monitoramento da temperatura dos pés de frangos em processo de liofilização com o tempo para aquecimento à 60 °C	46
Figura 14. Variação da umidade em base seca com o tempo	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução da exportação de carnes do Brasil nos anos 2011 a 2016, em mil toneladas.....	21
Tabela 2. Evolução da produção de carnes do Brasil nos anos 2011 a 2016, em mil toneladas.....	22
Tabela 3. Modelos matemáticos de regressão não linear, avaliados para prever o processo de liofilização de pés de frango	26
Tabela 4. Variação da massa, umidade em base seca e umidade adimensional com o tempo partindo de umidade em base úmida	47
Tabela 5. Resumo do ajuste dos 12 modelos analisados por meio de regressão não linear aos dados experimentais da liofilização de pés de frango	49
Tabela 6. Consumo específico de energia e custo no processo de exportação do frango liofilizado do oeste do Paraná até Xangai.....	50
Tabela 7. Consumo específico de energia e custo da cadeia logística de exportação do frango congelado do oeste do Paraná até Xangai	52

LISTA DE SÍMBOLOS

$X(t)$	Umidade em base seca no tempo t .
$m(t)$	Massa da amostra no tempo t .
m_0	Massa inicial da amostra em gramas.
U_0	Umidade inicial da amostra em base úmida.
$AX(t)$	Umidade adimensional no tempo t .
X_∞	Umidade em base seca no equilíbrio.
EC	Energia de congelamento em kJ/kg.
cp_L	Capacidade calorífica do material antes do congelamento em $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
cp_S	Capacidade calorífica do material após o congelamento em $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
T_F	Temperatura da câmara fria em $^\circ\text{C}$.
T_Q	Temperatura da rejeição de calor em $^\circ\text{C}$.
W	Consumo de energia elétrica em kWh/kg.
ES	Energia consumida na sublimação por kg de frango congelado liofilizado em kJ/kg.
ΔH_{SB}	Calor latente de sublimação em kJ/kg.
UM	Umidade inicial dos pés de frango em base úmida.
EES	Consumo específico de energia em kWh/kg.
WC	Energia elétrica consumida no condensador em kWh/kg..

<i>TL</i>	Tempo de liofilização em segundos.
<i>EEB</i>	Consumo de energia elétrica na bomba de vácuo em kWh/kg.
<i>ET</i>	Energia utilizada no transporte em kJ/kg de frango congelado transportado.
<i>tt</i>	Tempo de transporte em dias da unidade produtora até Xangai.
<i>CCR</i>	Carga do container refrigerado em kg.
<i>EI</i>	Energia elétrica consumida na ilha em kWh/kg de frango congelado.
<i>ti</i>	Tempo médio que o produto fica na ilha de exposição em dias.
<i>CI</i>	Carga de frango congelado na ilha de exposição em kg.
<i>EF</i>	Consumo de energia na casa do consumidor em kWh/kg.
<i>tf</i>	Tempo no freezer em dias.
<i>CF</i>	Carga de pés congelados no freezer em kg.

LISTA DE SIGLAS

COP	Coeficiente de performance
COPEL	Companhia Paranaense de Eletricidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	20
2.1. OBJETIVO GERAL.....	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3. 1. FRANGO	21
3.2. SECAGEM.....	23
3.3. LIOFILIZAÇÃO.....	27
3.4. LIOFILIZAÇÃO EM ALIMENTOS	30
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1. PRÉ-COZIMENTO E CONGELAMENTO DA AMOSTRA.....	32
4.2. PROCEDIMENTO DE LIOFILIZAÇÃO DOS PÉS DE FRANGO.....	32
4.3. DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE LIOFILIZAÇÃO	33
4.4. CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E CUSTO DE LIOFILIZAÇÃO.....	34
4.5. CUSTO DE TRANSPORTE DOS PÉS LIOFILIZADOS	38
4.5.1. Cálculo de quantidade de produto por container seco	38
4.5.2. Cálculo de Frete Rodoviário e Marítimo.....	39
4.6. CÁLCULO DA ENERGIA E CUSTO NO PROCESSO DE EXPORTAÇÃO DO FRANGO CONGELADO ATÉ O MOMENTO DO CONSUMO.	39
4.6.1. Cálculo da Quantidade de Produto por Container.....	40
4.6.2. Cálculo do consumo de energia no ponto de venda (Ilha de exposição).41	
4.6.4. Cálculo do consumo de energia na casa do consumidor (Freezer)	42
4.7. FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS	42
4.8. FERRAMENTA DE CÁLCULO	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1. COLORAÇÃO DO MATERIAL.....	45

5.2. TEMPERATURAS DA AMOSTRA EM PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO ...	46
5.3. MASSA DA AMOSTRA AO LONGO DO TEMPO.....	47
5.4. ENERGIA ELÉTRICA E CUSTOS DO PROCESSO DE EXPORTAÇÃO DO FRANGO LIOFILIZADO	49
5.5. ENERGIA ELÉTRICA E CUSTOS DO PROCESSO DE EXPORTAÇÃO DO FRANGO CONGELADO	51
6. CONCLUSÃO	53
6.1. SUGESTÕES PARA POSSÍVEIS TRABALHOS	54
7. APÊNDICE A	55
REFERÊNCIAS.....	57

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores exportadores de carne no mundo. Devido a suas grandes extensões de terra e recursos hídricos, a agropecuária brasileira tem alto potencial de seguir crescendo, e assim, exportando ainda mais. Quando se trata de carne bovina e aves, o Brasil é líder no *ranking*, sendo foco de atenção dos compradores internacionais (USDA, 2016).

O frango é a carne mais consumida no Brasil e é a segunda mais consumida no mundo, ficando atrás apenas dos suínos (USDA, 2016). A carne de frango proveniente do Brasil está presente nas mesas de consumidores de mais de 150 países. O Brasil é o maior exportador mundial desde 2004, e o segundo maior produtor de carnes de aves, atrás somente de Estados Unidos (USDA, 2016).

Por ser uma carne considerada magra, ser uma boa fonte de proteína magra que contém nutrientes essenciais tais como vitaminas, minerais e aminoácidos, a carne de frango muitas vezes está presente na mesa do consumidor (OLIVEIRA, 2011). Como toda carne, possui alta atividade de água, levando a indústria e o consumidor a procurarem formas adequadas para poder conservá-la, pois alimentos que possuem alta atividade de água são mais susceptíveis de serem contaminados por microrganismos, degradando o alimento (NETO, 2008).

Existem vários métodos que podem ser utilizados para preservar a carne, o mais utilizado é o uso da cadeia do frio, devido ao fato de os microrganismos não se multiplicarem rapidamente em temperaturas baixas. Porém, a grande desvantagem de utilizar baixas temperaturas para a preservação são os custos de refrigeração. Para indústria que exporta este tipo de carne, os custos ainda são maiores, porque a cadeia do frio deve estar presente no armazenamento do frango, desde a estocagem e todos os tipos de transporte que deverá passar, até chegar no país de destino (VELASCO et al., 2006).

Os processos de secagem são utilizados para remover a água do alimento, permitindo o transporte e armazenamento sem a necessidade da cadeia de frio por período prolongado. A liofilização é um tipo de secagem, que preserva as propriedades da matéria-prima original. Neste processo, a água contida no alimento

é congelada, sublimada a baixas temperaturas em uma câmara de vácuo, ocorrendo um aumento gradativo da temperatura, reduzindo deste modo a pressão circunvizinha. Assim a água congelada no material passa diretamente da fase sólida para a fase gasosa sem passar pela fase líquida (sublimação). A baixa atividade de água, inibe a ação dos microrganismos e das enzimas que normalmente degradam os alimentos, preservando-o.

Porém, este tipo de secagem também requer um elevado consumo de energia, havendo uma possível viabilidade econômica se este produto for transportado a grandes distâncias, porque elimina a necessidade de refrigeração ao longo da cadeia logística. Um corte de frango muito exportado para países como a China é o pé de frango, que é muito apreciado neste mercado, sendo o país responsável por 80% da carne de frango importada pelos chineses (MENDES, 2016).

Portanto, o principal objetivo deste trabalho foi estimar a viabilidade da exportação de pés de frango liofilizados para a China, comparando com o processo atual (material congelado). Além disto, foi pesquisada a cinética de liofilização, e a cadeia de refrigeração até o consumidor final para o frango congelado e o liofilizado.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade econômica de exportar pés de frangos liofilizados para o mercado chinês, em comparação com o processo tradicional (*container* frigorífico).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a cinética de liofilização dos pés de frango à temperatura de aquecimento de 60 °C.
- Determinar tempo de liofilização para que a umidade do produto seja inferior a 5,0% (base úmida).
- Estimar o consumo energético, assim como o custo de transporte do material liofilizado à temperatura ambiente.
- Estimar o consumo energético na cadeia de frio, assim como custo para efetuar exportação do material congelado.
- Comparar os custos do processo de produção e exportação de pés de frango com o do processo proposto (liofilização).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. FRANGO

O comércio de carnes é um fator importantíssimo para a economia brasileira. O Brasil é líder mundial na exportação de carne bovina e de frango (USDA, 2016), que vem se destacando nos últimos anos. Conforme dados do USDA (2016), no *ranking* dos dez maiores produtores e exportadores mundiais, o Brasil ocupa a segunda posição na produção de carne de frango, e em relação às exportações, o país é líder mundial desde 2004, sendo que este processo de expansão vem ocorrendo desde a década de 1990 (OLIVEIRA, 2011). A expectativa é que a produção da carne de frango continue crescendo, em relação a outras carnes, como a suína e a bovina (MAPA, 2010).

Segundo USDA (2016) a carne de frango é a que apresenta maior participação no comércio internacional, responsável por mais de 60% das carnes exportadas do Brasil, como se observa na Tabela 1.

Tabela 1 – Evolução da exportação de carnes do Brasil nos anos de 2011 a 2016, em mil toneladas.

Produto	2011	%	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%	2016	%
Carne de frango	3443	64,2	3508	61,6	3482	58,9	3558	59	3740	63,1	4385	60,3
Carne bovina	1340	25	1524	26,8	1849	31,2	1909	31,7	1625	27,4	1950	26,8
Carne suína	584	10,8	661	11,6	585	9,9	556	9,3	565	9,5	940	12,9
Total	5367	100	5693	100	5916	100	6023	100	5930	100	7275	100

Fonte: USDA (2016)

Com o aumento das exportações, conseqüentemente houve um aumento na produção da carne de frango. Nos anos 90, as carnes suínas e bovinas apresentavam um volume de produção superior em relação à carne de frango (OLIVEIRA, 2011). Atualmente, o frango lidera o ranking de carne mais produzida no Brasil, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Evolução da produção de carnes no Brasil nos anos de 2011 a 2016, em mil toneladas.

Produto	2011	%	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%	2016	%
Carne de frango	12863	51,2	12645	50	12308	48,6	12692	49,2	13080	50,4	14080	51,4
Carne bovina	9030	36	9307	36,8	9675	38,2	9723	37,6	9425	36,3	9470	34,6
Carne suína	3227	12,8	3330	13,2	3335	13,2	3400	13,2	3451	13,3	3825	14,0
Total	25120	100	25282	100	25318	100	25815	100	25956	100	27375	100

Fonte: USDA (2016)

De um total de aproximadamente 27 milhões de toneladas de carne de frango, bovina e suína, o frango corresponde cerca de 51% da produção, mais de 14 milhões de toneladas desta carne são produzidas, como demonstrado na Tabela 2. Conforme estimativas realizadas, entre o período de 2010 a 2020, a produção de carne de frango terá um aumento médio de 5 milhões de toneladas, chegando a 17 milhões de toneladas em 2020. Em contrapartida, a carne bovina terá uma produção estimada de 11 milhões de toneladas e a suína de apenas 4 milhões de toneladas até o final do período definido (SOUZA, 2011).

A sua grande demanda deve-se principalmente aos baixos custos de produção, quando comparados com as carnes suínas e bovinas, ao melhoramento genético das aves, ao aprimoramento de fatores do manejo, aporte nutricional fornecido pela produção de grãos, preços acessíveis e hábitos alimentares mais saudáveis (OLIVEIRA, 2011), tornando o Brasil um forte concorrente para o produtor norte americano de carne de frango, que é o segundo maior exportador deste tipo de carne (USDA, 2016). Os produtores e exportadores estão localizados no estado do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

No período entre 2000 e 2010, os maiores importadores de carne de frango do Brasil foram o Oriente Médio, priorizando o frango inteiro, seguido da Ásia, que importou 26% do total em 2010, sendo que 95,58% eram cortes de frango (OLIVEIRA, 2011). A União Europeia prioriza os tipos mais elaborados de carne de frango, a salgada e industrializada, tendo sido a terceira maior importadora em 2010, representando respectivamente 4,98% e 4,42% da exportação (OLIVEIRA, 2011). Em

2013, a Arábia Saudita (20,0%), Japão (14,2%), Hong-Kong (7,5%), China (7,5%), Emirados Árabes (7,4%) e Venezuela (4,6%) foram os principais países que importaram carne de frango brasileira (IBGE, 2014). Segundo Mendes (2016) no mercado Chinês existe um excesso de oferta de peito de frango, enquanto há falta de pé de frangos, que é um corte muito apreciado neste mercado. As projeções indicam um crescimento da importação de carne de um milhão de toneladas até 2025, sem incorporar o fim da política chinesa do filho único nas projeções.

A continuidade dos bons resultados do Brasil no mercado internacional é favorecida devido às suas excelentes condições sanitárias, taxas de câmbio sobrevalorizadas e pela competitividade da produção de milho e soja, que fazem parte da alimentação animal (SILVA et al., 2011).

3.2 SECAGEM

A secagem tradicional (vaporização do solvente) é simplesmente a retirada de um líquido volátil, tipicamente a água, de um produto não volátil, através de fornecimento de calor de uma fonte quente para o material que será seco, ocasionando a evaporação da água do produto e promovendo a transferência de massa que será arrastada pelo ar de secagem (PARK et. al., 2014).

A escolha do secador dependerá do material que será seco. Existem basicamente dois tipos de materiais, os termoestáveis e os termolabéis, sendo que para estes últimos são poucos os métodos de secagem que podem ser utilizados, devido à sua fácil decomposição em temperaturas mais elevadas (SHUKLA, 2011).

Na Figura 1 são mostradas as curvas de umidade do produto (base seca), da velocidade de secagem e da taxa de secagem em função do tempo para um processo de secagem genérico.

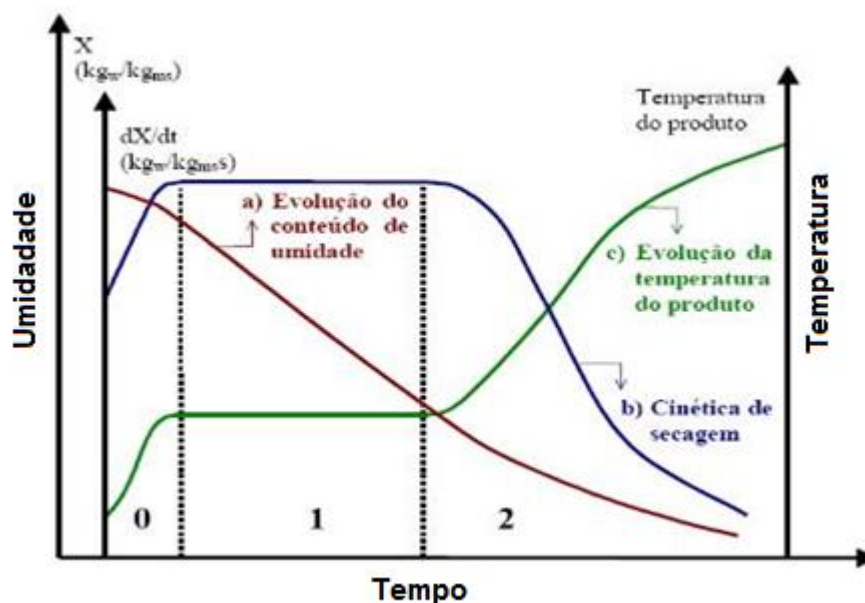


Figura 1 - Exemplo de curva de secagem

Fonte: (PARK et al., 2014).

A curva (a) apresenta o teor de umidade, em base seca, que o produto perde no decorrer do tempo. A curva (b) representa a velocidade que o produto é seco, ela é crescente até o final do instante 0, permanece constante durante todo o instante 1, quando o produto está perdendo toda sua água livre, e no instante 2, a velocidade diminui, por não haver mais água livre no produto. A curva (c) representa a variação da temperatura no produto, que é crescente até o final do período 0, permanece constante durante todo o período 1, e é crescente a partir do instante 2, quando o produto já se encontra com uma umidade relativamente baixa.

O problema básico na secagem é calcular o tempo necessário para secar o material desejado, de um teor de umidade inicial para o outro, em um secador com certa capacidade e entrada de calor. Os problemas mais complexos de determinação de teor de umidade após um determinado tempo de secagem, ou determinação de entrada de calor ou vazão de gás para realização de uma dada operação, normalmente devem ser resolvidos por tentativa de erro (BLACKADDER, 1982).

Devido ao fato de que cada produto possui sua composição, estrutura e dimensão específica, as condições de secagem são muito diversificadas. Quando o material é colocado em contato com uma corrente de ar quente, ocorre uma troca do

calor do ar para o produto, devido a diferença de temperatura que há entre eles. Ao mesmo tempo, ocorre uma transferência de massa do produto para o ar, devido a diferença de pressão de vapor d'água existente entre os dois (PARK et al., 2014).

Para realizar o cálculo do tempo de secagem em certa situação, diversos dados devem ser obtidos, que podem ser divididos em três tipos: dados para balanços de massa e térmico, dados de equilíbrio e termodinâmicos para mistura gás e vapor, e, os dados de velocidade de secagem (BLACKADDER, 1982).

Para resolver balanços de massa e balanços térmicos, é preciso analisar as vazões do gás e do material que irá ser seco. É necessário estabelecer a umidade final do produto e conhecer a umidade de entrada do gás. Obtendo estes dados, a umidade de saída do gás pode ser calculada, e também pode ser deduzida a equação que fornecerá a umidade em um ponto intermediário em termos de valor local do teor de líquido do material (BLACKADDER, 1982).

Utilizando um Diagrama psicrométrico, são obtidos os dados termodinâmicos para misturas gás-vapor. Porém este diagrama foi elaborado para a pressão total de 1 atm, não valendo para outras pressões. Através do diagrama psicrométrico os valores de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido, teor de umidade, umidade de saturação, temperatura de ponto de orvalho, entalpia de uma mistura gás-vapor e volume específico são definidos (BLACKADDER, 1982).

Devido à complexidade dos processos de secagem por liofilização a modelagem da cinética de operação pode ser realizada por 12 modelos matemáticos (SOUSA et al., 2015) (Tabela 3).

Tabela 3: Modelos matemáticos de regressão não linear, avaliados para prever o processo de liofilização de pés de frango.

Designação do modelo	Equação
Aprox. por difusão	$AX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$ (1)
Cavalcanti Mata	$AX = a_1 \cdot \exp(a_2 \cdot (t^{a_3})) + a_4 \cdot \exp(a_2 \cdot (t^{a_5})) + a_6$ (2)
Dois termos	$AX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k \cdot t)$ (3)
Exponencial de dois termos	$AX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$ (4)
Henderson & Pabis Modificado	$AX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + \exp(-k_1 \cdot t)$ (5)
Logarítmico	$AX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$ (6)
Midilli et al.	$AX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$ (7)
Page	$AX = \exp(-k \cdot t^n)$ (8)
Verma	$AX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ (9)
Wang e Sing	$AX = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$ (10)
Lewis	$AX = \exp(-k \cdot t)$ (11)
Henderson & Pabis	$AX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ (12)

t – tempo de secagem (min); k - constantes de secagem; a, b, c, n – coeficientes dos modelos

Também utilizou-se como modelo de secagem a Lei de Fick (ACAR; SADIKOGLU; DOYMAZ, 2015), conforme mostra a Equação 13.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (13)$$

Sendo: M a umidade do pés de frango e D_{eff} a difusividade.

Pela Equação 13, obteve-se a Equação 14 utilizada para encontrar a difusividade do processo, considerando o pé de frango como um cilindro.

$$AX = \frac{8}{\pi^2} \left[\exp\left(\frac{-\pi^2 \cdot D_{eff} \cdot t}{4 \cdot R^2}\right) \right] \quad (14)$$

Sendo: AX a umidade adimensional, t o tempo de secagem e R o raio do pé de frango.

O conhecimento do modelo de secagem por liofilização é muito importante para prever o tempo para atingir determinada umidade desejada.

3.3 LIOFILIZAÇÃO

A liofilização é um método de secagem, no qual se elimina a água do produto através da sublimação. Para que isto ocorra congela-se previamente o produto e este não será exposto a temperaturas elevadas, devido à baixa pressão utilizada pelo equipamento. Devido à coexistência entre os três estados da água (sólido, líquido e gasoso), quando a temperatura está em torno 0°C e a pressão em $4,7\text{ mmHg}$, forma-se o conhecido “ponto triplo” da água, pressões abaixo de $4,7\text{ mmHg}$ permitem a passagem da água do estado sólido direto para o estado gasoso (NETO, 2008). As transformações físicas durante o processo de liofilização estão representadas na Figura 2.

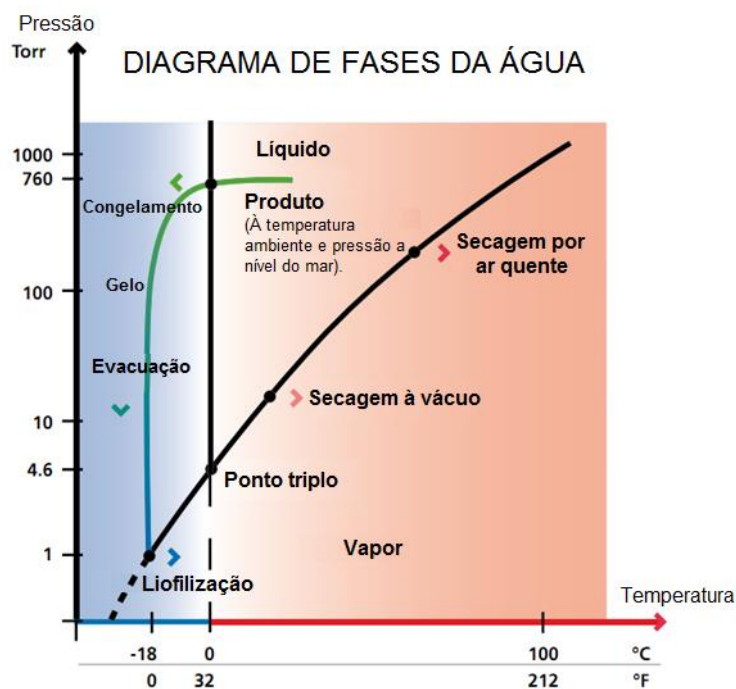


Figura 2 - Transformações no processo de Liofilização

Fonte: (GEA, 2016)

Este método de secagem é antigo e pode ser observado na natureza. Este processo pode ocorrer com a neve, que passa do estado sólido ao estado gasoso, sem derreter. Foram encontrados por cientistas grandes massas de mamutes que foram progressivamente liofilizados, há aproximadamente 15.000 anos atrás, na Sibéria Central. Também foi evidenciado essa operação na Cordilheira dos Andes, armazenada pelos Incas (SHUKLA, 2011). A liofilização ganhou reconhecimento durante a Segunda Guerra Mundial, quando os cientistas Flosdorf nos EUA, Ronald Greaves na Inglaterra e François Henaff na França, liofilizaram plasma sanguíneo para o tratamento das pessoas feridas no campo de batalha. No decorrer dos anos, o uso da liofilização vem crescendo, principalmente na área farmacêutica, medicinal e na indústria de alimentos (AYROSA, 2003).

A liofilização possui diversas vantagens, tais como: o produto ser seco a temperaturas baixas, rápida reconstituição devido ao fato de que a estrutura do material se mantém praticamente intacta, os constituintes do material seco permanecem dispersos homoganeamente, reduz a desnaturação oxidativa, preservação das propriedades químicas, menor gasto com o armazenamento do produto seco. Alimentos liofilizados possuem vida de prateleira maior, pois os

microrganismos necessitam de água para se multiplicar, e após a liofilização, o alimento se torna-se mais leve. Porém, a liofilização também possui suas desvantagens, como: compostos voláteis podem ser removidos em vácuo excessivo, processo mais caro que outros métodos de secagem, a estrutura do material pode ser modificada se for fornecido muito calor, o mesmo ocorre se a temperatura for muito baixa e o tempo de secagem muito longo para produtos com maiores dimensões (SHUKLA, 2011).

O equipamento de liofilização é composto por uma câmara de secagem, um condensador, uma bomba de vácuo e um compressor (NETO, 2008). A Figura 3 mostra o esquema geral de um liofilizador.

Esquema de um liofilizador

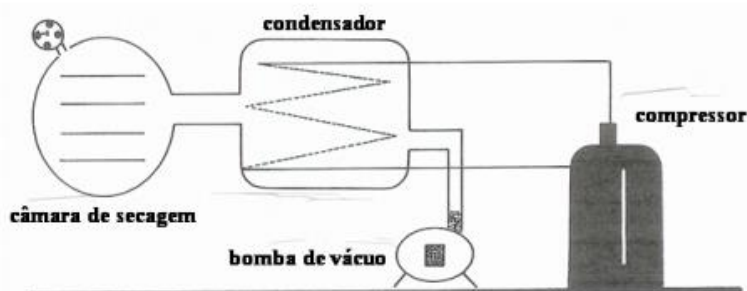


Figura 3 - Esquema geral de um liofilizador.

Fonte: (AYROSA, 2003).

A câmara de secagem é projetada para suportar pressões baixas, possui porta que fecha hermeticamente, inúmeras prateleiras com aquecimento, nas quais o material será seco. Esta câmara de secagem é interligada com o condensador, o qual é responsável pelas temperaturas menores que -40°C , para a solidificação da água sublimada, preservando assim a bomba de vácuo. O condensador está interligado com a bomba de vácuo, responsável pela pressão menor que 4,7 mmHg. Placas aquecidas por um fluido circulante ou por resistência elétrica são responsáveis pela troca de calor na câmara de secagem (AYROSA, 2003).

O processo de liofilização apresenta três etapas: a fase de congelamento, secagem primária e secagem secundária. A fase de congelamento consiste em

congelar o produto abaixo do seu ponto eutético, para garantir que não ocorrerá fusão. Quando é favorável a formação de grandes cristais de gelo, o congelamento deve ser realizado lentamente, caso o contrário, haverá formação de pequenos cristais de gelo. O congelamento é a fase mais crítica do processo, pois se for mal realizado, pode comprometer a qualidade da liofilização. Durante a secagem primária, a pressão é reduzida e o calor é fornecido ao material congelado, para que o gelo sublime. Utilizando o calor latente de sublimação, calcula-se a quantidade de calor que deve ser fornecido para o produto. Nesta fase ocorre a sublimação de até 95% de água. A última etapa, a secagem secundária consiste na retirada da água remanescente do produto, que não sublimou na secagem primária. A temperatura nesta fase é mais elevada, a pressão reduzida e a duração é de 30% a 50% do tempo gasto na secagem primária. Quando o processo chega ao fim, o vácuo é quebrado, geralmente utilizando um gás inerte, e o conteúdo é devidamente guardado. O teor de água residual no produto final é de cerca de 1% a 4%, ou seja, extremamente baixo (SHUKLA, 2011).

3.4 LIOFILIZAÇÃO EM ALIMENTOS

A liofilização é considerada o método de secagem mais propício para eliminar água dos alimentos, pois é obtido um produto final com alta qualidade, quando comparada com outros métodos (OLIVEIRA et al., 2013). Reações microbiológicas são inexistentes devido à baixa atividade de água no alimento, conseqüentemente a sua deterioração é mais lenta (RATTI, 2001).

Outra notável vantagem deste método na indústria alimentícia se deve ao fato de que a estrutura do alimento se torna praticamente intacta, ou seja, o encolhimento é mínimo (RATTI, 2001), possibilitando rápida reidratação do produto (OLIVEIRA et al., 2013). Geralmente a maior parte do alimento é constituído por água, eliminando-a ocorrerá perda de peso do produto, facilitando o seu transporte, sendo esta outra grande vantagem (SHUKLA, 2011). Em virtude de o processo de liofilização manter as características sensoriais praticamente intactas, a utilização deste processo pela indústria alimentícia permite produzir alimentos com um valor agregado mais elevado

(CELESTINO, 2010).

Ao desidratar o alimento, isto ocasiona um melhoramento em sua estabilidade, devido à redução da atividade de água, possibilitando a redução de alterações físicas, químicas e microbiológicas no período de armazenamento (OCHOA et al.,2002).

O congelamento deve ser rápido para evitar que ocorra a formação de grandes cristais de gelo, pois estes podem causar danos à membrana celular, ocasionando assim, perda do líquido citoplasmático, conferindo o aspecto de “murcho” ao alimento (NETO, 2008). Segundo Farkas e Singh (2006), que realizaram um trabalho sobre secagem de carne de frango, tanto por liofilização como por ar quente, a velocidade de congelamento não influenciou significativamente na porosidade do frango liofilizado (0,62 a 0,64), enquanto que o material seco por ar quente apresentou aproximadamente metade da porosidade (0,33 a 0,42) do liofilizado, ressaltando o efeito do encolhimento. Os autores verificam que para uma ampla gama de velocidade de congelamento, a carne de frango liofilizada possui características semelhantes.

König (2016) estudou a aceitação de pés de frango liofilizado, através de análise sensorial de caldo elaborado com a matéria-prima *in natura*, e caldo preparado com a matéria-prima liofilizada e reidratada. Os sessenta provadores não detectaram diferença significativa ($p < 0,05$) dentre as amostras analisadas, indicando a viabilidade do produto em relação à qualidade. No estudo, a matéria-prima foi caracterizada com relação à composição química apresentando: umidade em base úmida de 61,98 %, proteína de 19,84 %, cinzas de 9,10%, lipídeos de 9,08% e não sendo detectados carboidratos. Apesar da aceitação do produto liofilizado, aliado à sua praticidade de transporte e armazenagem, faz-se necessária análise da viabilidade econômica do processo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados pés de frango *in natura* recém-abatidos em um frigorífico no oeste do Paraná, do mesmo lote utilizado por König (2016).

4.1 PRÉ-COZIMENTO E CONGELAMENTO DA AMOSTRA

Em testes preliminares, verificou-se que pés de frango pré-cozidos em água em ebulição por minutos 20 minutos, antes do processo de liofilização (congelamento seguido de sublimação do gelo), evitava o escurecimento do material no momento do preparo.

Logo após o pré-cozimento, o material foi resfriado à temperatura ambiente, pesado e congelado em congelador doméstico (-20 ± 2 °C).

4.2 PROCEDIMENTO DE LIOFILIZAÇÃO DOS PÉS DE FRANGO

Para realizar a liofilização, o material congelado foi introduzido rapidamente na câmara de vácuo, com dois sensores de temperatura aderidos à superfície, sendo liofilizado a pressão menor que 0,5 mbar e com placa de aquecimento a 60 °C (temperatura máxima do equipamento). Foi monitorada a temperatura com o tempo nas posições indicadas na Figura 4.



Figura 4 – Pontos de monitoramento da temperatura do pé de frango.

Fonte: Autor.

Utilizou-se um liofilizador em escala laboratorial, da marca Labconco, modelo FreeZone 6, com pesagem ao longo do tempo, possibilitando determinar a cinética de secagem, como indicado na Figura 5.



Figura 5 - Amostragem durante o processo de Liofilização.

Fonte: Autor.

4.3 DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE LIOFILIZAÇÃO

Determinou-se a umidade em base seca, que é a razão entre a quantidade de água na amostra (kg) e a massa de sólidos secos da amostra (kg).

Com os valores da massa da amostra em função do tempo (obtidos em 4.2) foi possível determinar a umidade em base seca ao longo do tempo através da Equação 15.

$$X(t) = \frac{100.m(t)-m_0.U_0}{m_0(100-U_0)} \quad (15)$$

Sendo: $X(t)$ – umidade em base seca no tempo t , $m(t)$ – massa da amostra no tempo t [g], m_0 – massa inicial da amostra [g], U_0 – umidade inicial da amostra em base úmida [%].

Utilizou-se como umidade inicial em base úmida (U_0) o valor de 61,98 % determinado por König (2016). Calculou-se também a umidade adimensional ao longo do tempo pela Equação 16.

$$AX(t) = \frac{X(t)-X_0}{X_0-X_\infty} \quad (16)$$

Sendo: $AX(t)$ – umidade adimensional no tempo t , $X(t)$ – umidade em base seca no tempo t , X_0 – umidade em base seca inicial, X_∞ - umidade em base seca no equilíbrio.

Os dados da umidade adimensional com o tempo foram ajustados aos modelos das Equações de 1 ao 12, utilizando-se o *software* Statistica, permitindo obter modelos da variação da umidade adimensional com o tempo.

4.4 CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E CUSTO DE LIOFILIZAÇÃO.

Para que seja possível a comparação de custos entre as operações de congelamento e transporte na cadeia de frio e a liofilização, realizaram-se cálculos para estimar a quantidade de energia gasta em cada processo por kg de frango *in natura*. Embora o frango liofilizado apresente cerca de 5% de umidade, tendo massa de aproximadamente 43% do frango congelado, para comparar grandezas iguais, considerou-se a massa do frango liofilizado como reidratado.

Cálculo da energia para o congelamento: Tanto para a liofilização como para o transporte em *container* refrigerado, inicialmente os pés de frangos necessitam ser congelados (ou seja, necessita-se retirar calor do material), sendo que ele deixa o processo de produção com temperatura perto de 5 °C e deve ser congelado até – 25 °C para que possa ser armazenado. É possível determinar a energia necessária para o congelamento através da Equação 17.

$$EC = \int_{5+273,15}^{0+273,15} cp_L \cdot dT + \frac{U_0 \cdot \Delta H_S}{100} + \int_{0+273,15}^{-25+273,15} cp_S \cdot dT \quad [\text{kJ/kg frango in natura}] \quad (17)$$

Sendo:

EC : energia necessária para o congelamento $[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}]$.

cp_L : capacidade calorífica do material antes do congelamento calculado por:

$$cp_L = (PR \cdot cp_{PR} + CI \cdot cp_{CI} + LI \cdot cp_{LI} + U_0 \cdot cp_{H2O})/100$$

ΔH_S : Calor latente de solidificação da água = –333 kJ/kg

cp_S : capacidade calorífica do material após o congelamento, calculado por:

$$cp_S = (PR \cdot cp_{PR} + CI \cdot cp_{CI} + LI \cdot cp_{LI} + U_0 \cdot cp_{gelo})/100$$

Os valores de PR , CI , LI , e U_0 correspondem à composição de proteínas, cinzas, lipídios e umidade (Base Úmida), respectivamente, que foram determinadas por Köning (2016), cujos valores foram: $PR = 19,87\%$, $CI = 9,10\%$, $LI = 9,08\%$ e $U_0 = 61,98\%$.

Os valores de cp em função da temperatura estão disponíveis em Ibarz (2003).

$$cp_{PR} = 2,0082 + 1,2089 \cdot 10^{-3}T - 1,3129 \cdot 10^{-6}T^2 \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$cp_{CI} = 1,0926 + 1,8896 \cdot 10^{-3}T - 3,6817 \cdot 10^{-6}T^2 \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$\begin{aligned}
 cp_{LI} &= 1,0082 + 1,4733 \cdot 10^{-3}T - 4,8008 \cdot 10^{-6}T^2 & [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \\
 cp_{H_2O} &= 4,0195 + 0,576272 \cdot 10^{-3}T - 0,08304 \cdot 10^{-6}T^2 & [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \\
 cp_{gelo} &= 0,5259 + 0,0056T & [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]
 \end{aligned}$$

Cálculo do custo de energia elétrica no congelamento: Foi considerado um sistema de refrigeração com coeficiente de performance (COP) de 70% de um refrigerador de Carnot, que representa normalmente o rendimento encontrado entre o trabalho ideal (processo isentrópico) e o trabalho real (processo rápido) no processo de compressão (SMITH, VAN NESS, ABBOUTT, 2013), sendo calculado de acordo com a Equação 18.

$$W = \frac{0,7 \cdot T_F \cdot |EC|}{(T_Q - T_F) \cdot 3600} \quad [\text{kWh/kg de frango } in \text{ natura}] \quad (18)$$

Sendo: T_F – temperatura da câmara fria, que será assumido 248,15 K (utilizou-se a temperatura de - 25 °C que é a temperatura de congelamento), T_Q - Temperatura da rejeição de calor, que será assumido o ambiente a 298,15 K (25 °C) e W é a energia elétrica consumida em kWh/kg de frango congelado na etapa de congelamento.

O consumo de energia elétrica na sublimação (aquecimento) é calculado como a quantidade de energia para sublimar o gelo, reduzindo a umidade do seu valor inicial até que seja atingido a umidade em base úmida de 5% (atividade de água baixa para conservação sem refrigeração) (ANVISA, 1978), sendo calculado pela Equação 19.

$$ES = \Delta H_{SB} \cdot (U_0 - 5)/100 \quad [\text{kJ/kg frango } in \text{ natura}] \quad (19)$$

Sendo: ES – é a energia consumida na sublimação por kg de frango congelado liofilizado, ΔH_{SB} - é o calor latente de sublimação do gelo = - 2835 kJ/kg (pressão de 0,5 mbar), U_0 - umidade inicial dos pés de frango em base úmida.

Para transformar a energia necessária para a sublimação, em consumo específico de energia elétrica, utiliza-se a Equação 20.

$$EES = ES/3600 \text{ [kWh/kg frango in natura]} \quad (20)$$

Todo gelo sublimado necessita passar para a fase sólida no condensador (ressublimação), portanto a energia requerida, em módulo, no condensador é igual à energia necessária para a sublimação (Equação. 19). O consumo de energia elétrica foi considerado igual ao consumo de 70% de um refrigerador de Carnot, trabalhando entre as temperaturas de $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (condensador) e a temperatura ambiente $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Equação 21) (SMITH, VAN NESS, ABBOUTT, 2013).

$$WC = \frac{0,7.T_F.|ES|}{(T_Q-T_F).3600} \text{ [kWh/kg frango in natura]} \quad (21)$$

Sendo: T_F – temperatura de condensação, assumido $228,15\text{ K}$ ($-45\text{ }^{\circ}\text{C}$), T_Q - temperatura da rejeição de calor, assumida ambiente a $298,15\text{ K}$ ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) e WC é a energia elétrica consumida no condensador em kWh/kg de frango congelado.

Por fim, é necessário calcular o consumo energético da bomba de vácuo que consome uma corrente de $2,0$ ampères em uma tensão de 110 volts (especificações do equipamento). Portanto, foi considerada uma potência média de $0,22\text{ kW}$ para a bomba de vácuo (fator de potência $1,0$). Sendo o consumo de energia elétrica específico calculado pela Equação 22.

$$EB = \frac{0,22.TL}{\left(\frac{200}{U_0-5}\right)} \text{ [kJ/kg frango in natura]} \quad (22)$$

Sendo: TL - tempo de liofilização em segundos, U_0 - umidade inicial do frango em base úmida. Considerou-se que foi removido $2,0\text{ kg}$ de gelo por batelada de liofilização (Capacidade nominal do equipamento).

O consumo de energia elétrica na bomba de vácuo (EEB) é calculado pela Equação 23.

$$EEB = \frac{EB}{3600} [\text{kWh/kg frango } in \text{ natura}] \quad (23)$$

Para calcular os custos em reais utilizou-se o valor da energia elétrica vigente da Companhia Paranaense de Energia (COPEL, 2016) aplicado à indústria com impostos (subgrupo B3), que é de R\$ 0,65 por kWh.

4.5 CUSTO DE TRANSPORTE DOS PÉS LIOFILIZADOS

Considerou-se o uso de container de 40 pés para transporte de cargas secas (sem necessidade de refrigeração).

As dimensões internas do container sem refrigeração são: comprimento de 12,033 m, largura de 2,352 m e altura de 2,386 m (Fonte: *Primex Containers*).

4.5.1 Cálculo de quantidade de produto por container seco

Primeiramente, determinou-se que a embalagem secundária a ser utilizada para o armazenamento dos pés de frango como sendo a caixa de papelão, com dimensões de 0,48 m de comprimento, 0,32 m de largura e 0,36 m de altura (realizou-se a medida da caixa de papelão em um supermercado da região para frangos congelados) e capacidade para até 18 kg de produto.

Portanto, considerando as dimensões do container seco, calculou-se que poderá comportar até 1050 caixas, ou seja, o container tem capacidade para transportar até 18 900 kg de pés de frango *in natura* (62% de umidade em base úmida), equivalente à 8127 kg de frango liofilizado (com 5% de umidade em base úmida).

Na Figura 6 está representada a disposição das embalagens em um container seco.

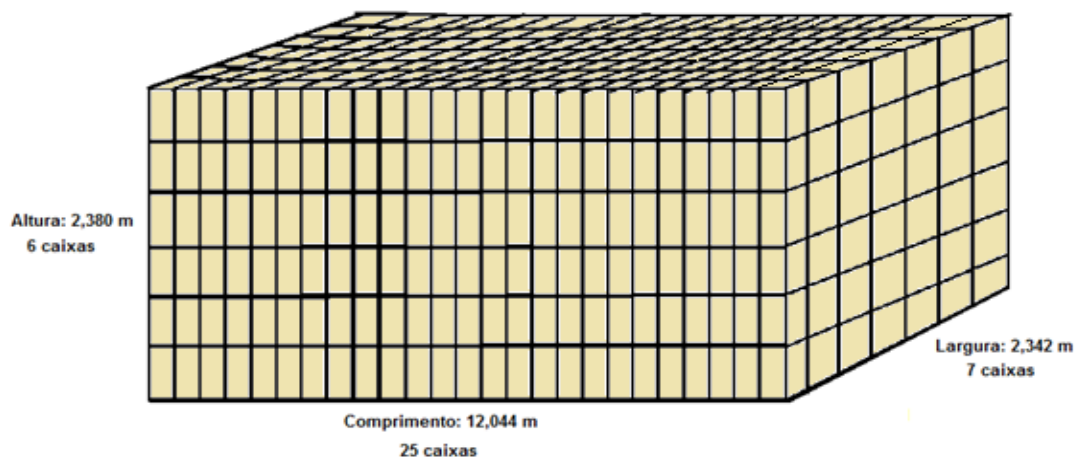


Figura 6: Disposição das caixas de papelão em um *container* seco

Fonte: Autor.

4.5.2 – Cálculo de Frete Rodoviário e Marítimo

Foi considerada a situação do container saindo do oeste do Paraná (Cascavel), sendo enviado por transporte rodoviário até o porto de Paranaguá, e então, sendo transportado até o porto de Xangai (China) por transporte marítimo.

Os valores de frete foram obtidos por cotação *online* em empresa de transporte e logística (WORLD FREIGHT RATES, 2016), selecionando-se a origem, o destino, o tipo de transporte (Marítimo ou Rodoviário) e o container, e o tipo de carga (Seca ou Congelada). Os custos específicos foram obtidos dividindo-se o custo do transporte pela carga do container em kg.

4.6– CÁLCULO DA ENERGIA E CUSTO NO PROCESSO DE EXPORTAÇÃO DO FRANGO CONGELADO ATÉ O MOMENTO DO CONSUMO.

O processo de congelamento é o mesmo que se utiliza para congelar o material para posterior liofilização, repetindo-se os cálculos descritos em 4.4.

Após o congelamento o material congelado é exportado em container refrigerado de 40 pés, que possui as dimensões: comprimento de 11,574 m, largura de 2,256 m e altura de 2,235 m (Fonte: *Primex Containers*).

4.6.1 Cálculo da Quantidade de Produto por *Container*

Considerando as dimensões das caixas de papelão e as do *container*, este comportará em torno de 1008 caixas. Na Figura 7, está representada a disposição das embalagens em um *container* refrigerado.

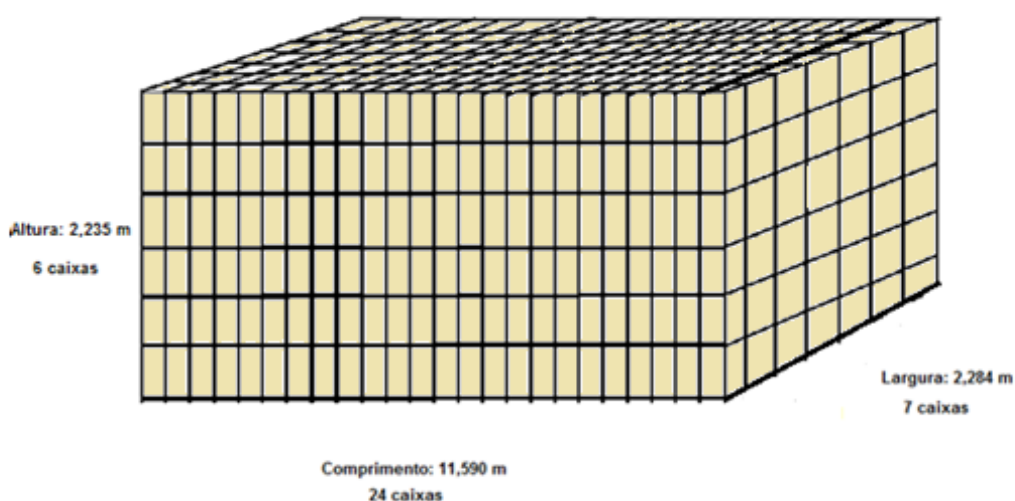


Figura 7: Disposição das caixas de papelão em um *container* refrigerado.

Fonte: Autor.

Portanto, um *container* refrigerado tem capacidade para transportar cerca de 18 144 kg de pé de frango.

4.6.2 Cálculo do consumo de energia no ponto de venda (Ilha de exposição).

Os produtos ficam expostos para os consumidores em Ilhas refrigeradas (Figura 8), cujo consumo médio diário de energia é de 4,3 kWh/dia (GELOPAR, 2016), e volume útil é de 378 litros.



Figura 8 - Ilha para exposição de congelados no ponto de venda.
Fonte:(GELOPAR, 2016)

O consumo específico em kWh/kg de frango congelado na Ilha de exposição foi calculado pela Equação 24, estimando-se 7 dias de exposição do produto na ilha.

$$EI = \frac{4,3 \cdot ti}{CI} \quad [\text{kWh/kg frango } in \text{ natura}] \quad (24)$$

Sendo: EI - energia elétrica consumida na ilha em kWh/kg de frango congelado, *ti* – tempo médio que o produto fica na ilha de exposição em dias, *CI* - carga de frango congelado na ilha em kg, que foi estimada considerando-se o volume útil do equipamento.

Para o cálculo de custo da energia elétrica consumida na ilha, utilizou-se o valor da tarifa de energia elétrica média na China que é de R\$ 0,26 por kWh (CPFL, 2015).

4.6.4 Cálculo do consumo de energia na casa do consumidor (*Freezer*)

Considerando que o consumidor guarda o produto adquirido, em *freezer* como o da Figura 9 (volume útil de 276 litros e potência de 1,85 kWh/dia) (BRASTEMP, 2016), Estimando que, em média, o material armazenado é consumido em 7 dias (uma semana), o consumo específico de energia é calculado pela Equação 25.

$$EF = \frac{1,85 \cdot tf}{CF} \quad [\text{kWh/kg frango } in \text{ natura}] \quad (25)$$

Sendo: tf - tempo no freezer em dias, CF - carga de pés congelados no *freezer* (kg) calculada pelo volume útil do eletrodoméstico totalmente carregado com pés de frango congelado.



Figura 9: Freezer para estocar carnes em residências

Fonte: (BRASTEMP, 2016)

4.7 FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS

Um resumo do processo estudado (pés de frango liofilizado) está na Figura 10, em que os pés de frango *in natura* são pré-cozidos, e então congelados, liofilizados, embalados e transportados em *container* de 40 pés sem refrigeração do oeste do Paraná (Cascavel) até o porto de Paranaguá. Os containers carregados

com o produto liofilizado são carregados no navio e transportados sem a necessidade de refrigeração para Xangai (China), onde são comercializados em supermercados sem refrigeração, e mantidos sem refrigeração na casa do consumidor até o momento de ser preparado e servido. Embora exista a redução de massa do material seco em aproximadamente 60%, não foram estimados ganhos econômicos na manipulação da carga e nem no transporte, porque o material não sofre encolhimento durante a liofilização (mesmo volume do material congelado).

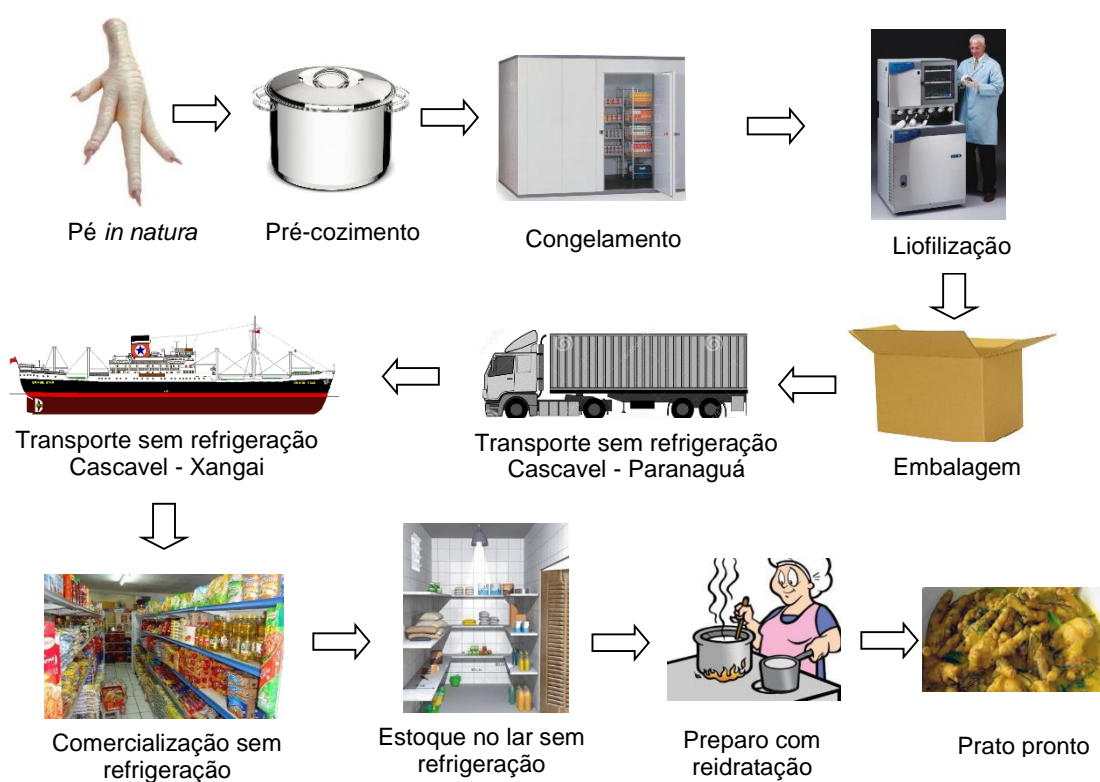


Figura 10: Fluxograma do processo de produção e logística dos pés de frango liofilizado

Fonte: Autor.

O resumo do processo de comparação (processo atual de comercialização) é mostrado na Figura 11, em que os pés de frango *in natura* são congelados, transportados em *container* de 40 pés refrigerado a -25°C do oeste do Paraná (Cascavel) até o porto de Paranaguá, sendo exportados para Xangai (China) em

container refrigerado. Em seguida, o produto é transportado para o supermercado, onde fica exposto em ilhas refrigeradas, sendo adquirido pelo consumidor e mantido em congelador doméstico até o momento do preparo.

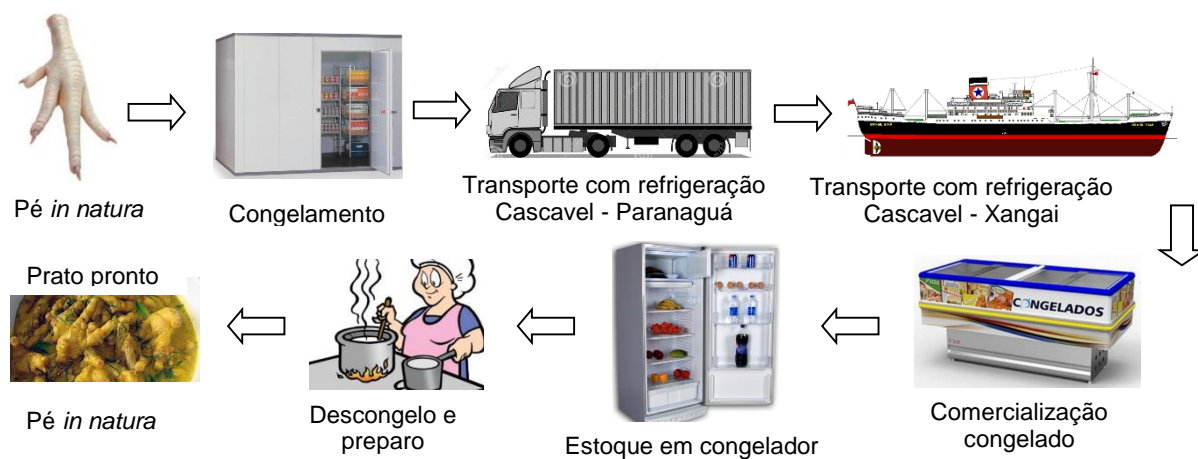


Figura 11: Fluxograma do processo de produção e logística atual

Fonte: Autor.

4.8 FERRAMENTA DE CÁLCULO

Os cálculos de energia e custos necessários foram executados com o auxílio do software livre SciLab (SCILAB, 2016). O código fonte utilizado encontra-se no apêndice A.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. COLORAÇÃO DO MATERIAL

Testes preliminares indicaram que o pé de frango liofilizado apresentava visualmente coloração escura após o processo de hidratação e cocção em água fervente (Figura 12)



Figura 12 – Pés de frango liofilizado, hidratado e cozido
Fonte:(Autor).

A liofilização do material produz uma matriz porosa, que permite que material existente nos tecidos mais profundos, como a proteína mio globulina migre para a superfície, sendo esta uma possível causa para a coloração indesejada. Este fenômeno visualmente desagradável foi contornado pelo pré-cozimento. O pré-cozimento antes da liofilização possivelmente resulta em mudança na estrutura da proteína, o que evita sua migração para a superfície durante o cozimento.

5.2 TEMPERATURAS DA AMOSTRA NO PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO

Os valores registrados da temperatura da amostra no processo de liofilização com o tempo estão indicados na Figura 13.

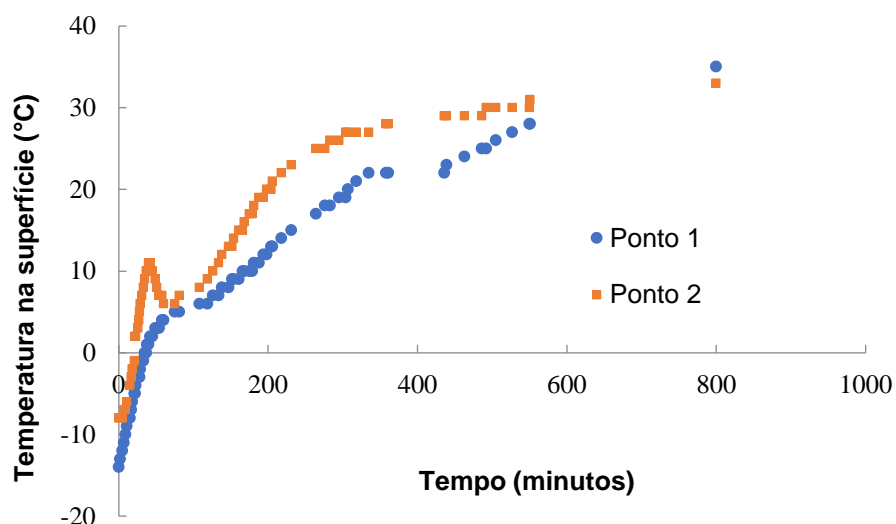


Figura 13 – Monitoramento da temperatura da superfície dos pés de frangos no processo de liofilização para aquecimento a 60 °C.

Fonte: Autor.

Observou-se que mesmo com a placa de aquecimento à 60 °C a temperatura do material durante a liofilização vai aumentando lentamente não superando 35 °C após 800 minutos de secagem. Verificou-se no ponto 2 um rápido aumento da temperatura, seguido de um decréscimo, que possivelmente está relacionando ao fato de o *freezer* doméstico não apresentar temperatura baixa o suficiente para o congelamento total da amostra, ocorrendo uma liquefação parcial da água congelada, seguida por vaporização, que faz com que a temperatura reduza novamente. O perfil de temperatura dos pés de frango durante a operação de liofilização difere significativamente do perfil de temperatura de uma secagem

convencional (Figura 1, curva “c”), devendo-se considerar que foi medida a temperatura somente na superfície, e que o gelo é sublimado da superfície para o centro do material, resultando em um gradiente de temperatura na amostra durante a liofilização.

5.3 MASSA E UMIDADE DA AMOSTRA AO LONGO DO TEMPO

Na Tabela 3 encontram-se os valores da massa da amostra de frango ao longo do tempo de liofilização ao longo do tempo, bem como o cálculo das umidades em base seca e de umidade adimensional.

Tabela 4: Variação da massa, umidade em base seca e umidade adimensional com o tempo.

Tempo (min)	$m(t)$ (g)	$X(t)$	$AX(t)$
Congelamento	52,109	1,63	1,00
0	51,076	1,58	0,97
130	43,017	1,17	0,70
190	40,560	1,05	0,62
250	38,377	0,94	0,55
310	36,630	0,85	0,49
370	35,706	0,80	0,46
430	33,397	0,69	0,39
490	31,581	0,59	0,33
550	30,281	0,53	0,28
1600 (∞)	21,601	0,09	0,00

$m(t)$ – massa com o tempo, $X(t)$ – umidade base seca com o tempo, $AX(t)$ – umidade adimensional com o tempo. Umidade em base úmida da amostra de 62%.

Percebe-se que na temperatura de aquecimento de 60 °C necessita-se de um longo tempo para atingir umidade inferior a 0,09 em base seca (que corresponde a aproximadamente 5,0 % em base úmida, sendo um valor considerado ideal para alimentos liofilizados), que corresponde a um tempo de 1600 minutos (26,7 horas).

O elevado tempo de liofilização está diretamente relacionado com a espessura do material, pois quanto menor a espessura, maior será a velocidade de transferência de massa e de calor na superfície do produto (MARQUES; DA COSTA, 2015).

A Figura 14 apresenta a variação da umidade em base seca conforme o tempo, e observou-se que a umidade reduziu linearmente com o tempo nos instantes iniciais (até 200 minutos). Após 200 min a sua variação reduziu, indicando a secagem de água fisicamente ligada ao material.

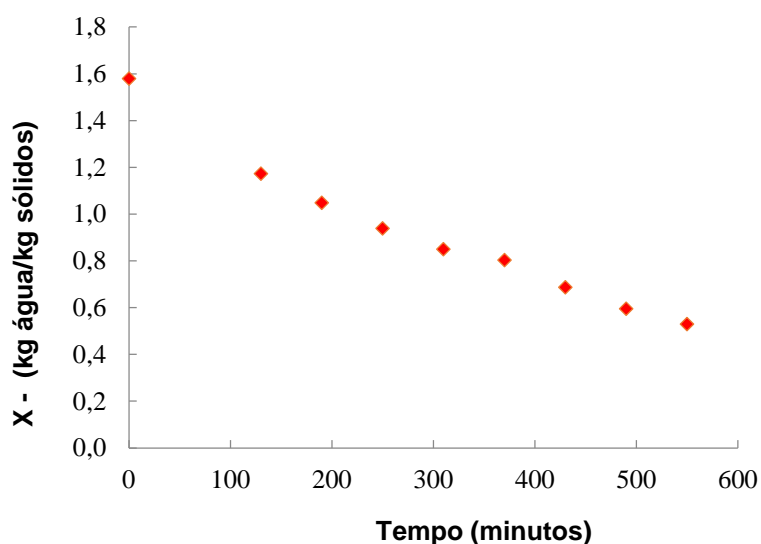


Figura 14: Variação da umidade em base seca com o tempo

Fonte: Autor

5.4 MODELOS MATEMÁTICOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM DO PÉ DE FRANGO LIOFILIZADO.

Na Tabela 5, se encontram os valores resultantes da modelagem matemática para a cinética de secagem dos pés de frango liofilizados.

Tabela 5: Resumo do ajuste dos 12 modelos analisados (Tabela 3) por meio de regressão não linear aos dados experimentais da liofilização de pés de frango.

Designação do modelo	Coefficiente de Determinação	Coefficientes dos modelos
Aprox. por difusão (1)	$R^2= 0,9931$	$a= 0,0794$; $b=0,0360$; $k=0,0566$ $a_1= 1,658$; $a_2= 0,0027$; $a_3=0,7001$;
Cavalcanti Mata (2)	$R^2= 0,9980$	$a_4=1,6583$; $a_5=0,7001$; $a_6=-2,3507$
Dois termos (3)	$R^2= 0,9946$	$a= 0,4766$; $b=0,4766$; $k=0,0021$
Exponencial de dois termos (4)	$R^2= 0,9930$	$a= 0,0080$; $k=0,0256$
Henderson & Pabis Modificado (5)	$R^2= 0,9892$	$a= -0,0034$; $k_0= 0,1018$; $k_1=0,0023$
Logaritmico (6)	$R^2= 0,9948$	$a= 0,9123$; $k= 0,0023$; $c= 0,0454$ $a= 0,9663$; $k= 0,0158$; $n= 0,5515$; $b=$
Midilli et al. (7)	$R^2= 0,9982$	$0,005$
Page (8)	$R^2= 0,9919$	$k= 0,0047$; $n= 0,8788$
Verma (9)	$R^2= 0,9931$	$a= 0,0788$; $k= 0,0894$; $k_1= 0,0020$
Wang e Sing (10)	$R^2= 0,9830$	$a= -0,0022$; $b= 0,000002$
Lewis (11)	$R^2= 0,9890$	$k= 0,0023$
Henderson & Pabis(12)	$R^2= 0,9930$	$a= 0,9530$; $k=0,0482$

Todos os modelos apresentaram resultados satisfatórios, com coeficiente de determinação maior que 0,98. Pela Lei de Fick (Equação 14), que possuiu $R^2= 0,9930$, determinou-se que a difusividade é igual a $1,91169 \cdot 10^{-9}$, considerado aceitável pois há estudos que mostram que para alimentos secos, este valor deve se encontrar entre 10^{-12} à 10^{-8} (ACAR; SADIKOGLU; DOYMAZ, 2015).

5.5 ENERGIA ELÉTRICA E CUSTOS DO PROCESSO DE EXPORTAÇÃO DO FRANGO LIOFILIZADO.

O transporte em container de 40 pés sem refrigeração foi estimado conforme descrito em 4.5.2, cujo valor médio de frete do oeste do Paraná até o Porto de Paranaguá foi de U\$ 371,95. Considerando-se a conversão U\$1,00 / R\$ 3,30 e a carga que corresponde a 18.900 kg de frango *in natura*, calculou-se custo de R\$ 0,0649 / kg de frango *in natura* exportado.

A exportação do *container* de 40 pés com refrigeração do porto de Paranaguá até Xangai (China) tem um custo médio calculado de U\$ 721,82 (metodologia 4.5.2), ou que representa um custo R\$ 0,1260 / kg (Cotação U\$ 1,00 / R\$ 3,30 e 18144 kg no *container*).

Na Tabela 5 observam-se os valores de energia específica envolvida em cada etapa do processo, assim como o custo de transporte do processo proposto no presente trabalho (exportação do frango liofilizado), representado pelo fluxograma da Figura 10.

Tabela 6: Consumo específico de energia e custo no processo de exportação do frango liofilizado do oeste do Paraná até Xangai.

	kWh/kg de frango*	R\$ /kg de frango*
Congelamento - Equação 15	0,0216	0,0140
Sublimação – Equação 17	0,4487	0,2917
Condensador – Equação 18	0,1968	0,1279
Bomba de Vácuo–Equação 20	1,6714	1,0864
Transporte Rodoviário	---	0,0649
Transporte Marítimo	---	0,1260
Total		1,7109

Energia elétrica R\$ 0,65 / kWh e U\$ 1,00 = R\$ 3,30 , * in natura (Umidade de 62% em base úmida)

É possível verificar na Tabela 6 que o principal ponto de oneração dos custos foi a energia elétrica gasta pela bomba de vácuo. Isto se deve principalmente ao tempo muito prolongado da liofilização. Em plantas industriais como a CONRAD™ (NIRO – Dinamarca) existe a possibilidade de aplicação de temperatura de aquecimento mais alta no início da sublimação, aumentando a velocidade de sublimação e reduzindo drasticamente o tempo (GEA, 2016). Outro ponto importante é que o material liofilizado possui espessura de aproximadamente 2,5 cm, que contribuindo para o aumento do tempo de liofilização.

Deve-se considerar também que a função da bomba de vácuo é retirar os gases que não condensam à – 45 °C (temperatura do condensador) e suprir

possíveis vazamentos (entrada de ar ambiente). Nas plantas industriais a necessidade de potência é menor que em processo em escala laboratorial, pelo fato de ser possível variar a temperatura de aquecimento do equipamento.

Outra possibilidade seria estudar a tecnologia de *mult flash drying* (MONTEIRO; CARCIOFI; LAURINDO, 2016), no qual o material a ser seco é aquecido até 60 °C e imediatamente submetido à uma baixa pressão (35 mbar absoluto), efetuando a secagem e ao mesmo tempo expandindo o material seco, dessa maneira é possível evitar o encolhimento durante a secagem por ar quente. Neste processo os autores relataram redução entre 3 a 4 vezes no tempo de secagem.

É possível verificar na Tabela 6 que o aquecimento para sublimação do gelo contido no alimento também foi relevante para o custo. Porém deve-se considerar que em uma planta industrial o aquecimento se dá pelo uso de combustíveis mais baratos que a energia elétrica, como por exemplo, o vapor (GEA, 2016).

5.5 ENERGIA ELÉTRICA E CUSTOS DO PROCESSO DE EXPORTAÇÃO DO FRANGO CONGELADO

O transporte dos frangos congelados em *container* refrigerado de 40 pés foi estimado (conforme 4.5.2) em U\$ 379,17, correspondendo a R\$ 0,0690 / kg de frango congelado (U\$ 1,00 / R\$ 3,30 e 18.144 kg por *container*). O transporte do *container* frigorífico do porto de Paranaguá até o porto de Xangai (China) tem um custo médio de U\$ 1515,83 que corresponde a R\$ 0,2757 (U\$ 1,00 / R\$ 3,30 e 18.144 kg por *container*).

Na tabela 7 é apresentado um resumo das energias e custos envolvidos no processo de exportação do frango congelado.

Tabela 7: Consumo específico de energia e custo da cadeia logística de exportação do frango congelado do oeste do Paraná até Xangai.

	kWh/ kg frango*	R\$ / kg frango*
Congelamento (17)	0,0216	0,0140
Transporte Rodoviário	---	0,0690
Transporte Marítimo	---	0,2757
Ilha de Exposição	0,2596	0,6075
Armazenamento Freezer	0,1530	0,0398
Total		0,4659

* in natura (Umidade de 62% em base úmida)

Comparando-se os custos dos dois processos (Tabela 6 e 7), se observou-se que o processo proposto no presente trabalho apresentou um custo em R\$/kg, ao longo da cadeia de logística 267% maior do que o processo de exportação do frango congelado. Entretanto, se considerando somente o transporte marítimo com o *container* de 40 pés refrigerado tem-se um aumento de 118% nos custos quando comparado com o *container* de 40 pés sem refrigeração (seco).

No processo de liofilização pesquisado existe margem para redução de custo, trabalhando-se nas variáveis: tempo de liofilização (perfil de aquecimento mais alto no início do processo), redução de custo de energia de aquecimento (utilizando fonte de aquecimento mais barata que energia elétrica) e também um sistema de bomba de vácuo mais eficiente (em um sistema industrial a potência de energia no bombeamento pode ser reduzida).

Também se deve considerar a facilidade de manuseio do produto sem a necessidade de congelamento ao longo de toda a cadeia, assim como a redução de massa a ser movimentada (aproximadamente 60%). Outra alternativa, é elaborar produtos processados que possuam maior valor agregado. Na China, o pé de frango seco é petisco vendido em embalagens individuais, como um *snack* (Figura 16). O hábito tornou-se tão arraigado que os pés são mais caro que os peitos de frango (LOUREIRO, 2011).

6. CONCLUSÃO

Para obter um produto com umidade em torno de 5% (base úmida), pés de frangos inteiros e pré-cozidos, devem ser liofilizados em 26,7 horas quando submetidos às seguintes condições: pressão absoluta menor que 0,8 mbar e temperatura de fornecimento de calor de 60 °C. Dessa maneira, seu peso reduziria em média em 60%, permitindo seu transporte e armazenamento sem a necessidade de refrigeração e aumentando a sua vida de prateleira.

O custo com a cadeia logística de frio (transporte rodoviário e marítimo) foi estimado ser 118% mais caro em *containers* de 40 pés refrigerados (processo atual), do que sem refrigeração (pés de frangos liofilizados). Porém ao considerar os custos de liofilização, o processo de produção e colocação os pés de frango liofilizados no mercado chinês fica muito mais caro (267 %) que o processo atual. O custo mais relevante foi o de energia elétrica na bomba de vácuo, que é diretamente proporcional ao tempo de liofilização.

Porém, o processo de secagem por liofilização pode ser aprimorado, ou substituído por uma tecnologia que reduz o tempo de secagem e consumo de energia elétrica, para se tornar boa alternativa para a exportação do produto para a China, país maior importador de pés de frango, onde o produto é considerado nobre.

6.1 SUGESTÕES PARA POSSÍVEIS TRABALHOS

- Realização de novo estudo de cinética de secagem utilizando liofilizador que atue com temperaturas mais elevadas.
- Obtenção de novos cálculos de custo energético utilizando vapor como fonte de energia.
- Realização de novos testes utilizando o método de *mult flash drying*.
- Desenvolver produtos que reduzam a atividade de água, como pés de frangos defumado e embalado a vácuo que aumentem a vida útil, sem a necessidade de congelamento.

7. APÊNDICE A

```

clc
clear
// Composição do pé de frango

UM = 0.6198 //umidade
CI = 0.0910 //cinzas
PR = 0.1984 //proteínas
LI = 0.0908 //lipídeos
CA = 0.0000 //carboidratos

// CP em kJ/(kg.K)

function cp=cppr(T) // Proteína
    cp = 2.0082 + 1.2089e-3*T - 1.3129e-6*T^2
endfunction

function cp=cpli(T) // Lipídeos
    cp = 1.0082 + 1.4733e-3*T-4.8008e-6*T^2
endfunction

function cp=cpci(T) // Cinzas
    cp = 1.0926 + 1.8896e-3*T-3.6817e-6*T^2
endfunction

function cp=cpagua(T) // água
    cp = 4.0195 + 0.57672e-3*T-0.08304e-6*T^2
endfunction

function cp=cpgelo(T) //gelo
    cp = 0.5259 + 0.0056*T
endfunction

// Congelamento do pé de frango in natura (kJ/kg)
// Resfriamento até zero graus celcius
Ti = +5 + 273.15 // Kelvin
Tf = 0 + 273.15 // Kelvin
E1 = integrate('UM*cpagua(T)+CI*cpci(T)+PR*cppr(T)+LI*cpli(T)',T',Ti,Tf)

// Congelamento da água contina no pé de frango
E2 = -333*UM // kJ/kg

// Resfriamento de zero até - 25 graus
Ti = 0 + 273.15 // Kelvin
Tf = - 25 + 273.15 // Kelvin
E3 = integrate('UM*cpgelo(T)+CI*cpci(T)+PR*cppr(T)+LI*cpli(T)',T',Ti,Tf)

ETC = -(E1 + E2 + E3) // Energia necessária para congelar em kJ/kg

```

// Consumo de energia elétrica considerando 70% de eficiência de refrigerador de Carnot

$$n = 0.7 * (-25 + 273) / (25 - (-25)) \quad // \text{70\% de Carnot}$$

$$W = ETC/n \quad // \text{Energia em kJ/kg}$$

$$CEC = W/3600 \quad // \text{Energia em kWh/kg}$$

// Valor da energia elétrica no congelamento

$$PEC = CEC * 0.65 \quad // \text{R\$/kg}$$

// Sublimação do Gelo à - 20 graus C

$$ES = 2835 * (UM - 0.05) \quad // \text{kJ/kg}$$

$$CES = ES/3600 \quad // \text{kWh/kg}$$

// Valor da Energia elétrica na sublimação

$$PES = CES * 0.65 \quad // \text{R\$/kg}$$

// Condensador considerando 70% de eficiência de refrigerador de Carnot

$$n1 = 0.7 * (-45 + 273) / (25 - (-45))$$

$$W1 = ES/n1 \quad // \text{kJ/kg}$$

$$CECond = W1/3600 \quad // \text{kWh/kg}$$

// Valor da Energia Elétrica no Condensador

$$PECond = CECond * 0.65 \quad // \text{R\$/kg}$$

// Energia elétrica na bomba de vácuo

$$tl = 1600 * 60 \quad // \text{tempo liofilização (Segundos)}$$

$$EV = ((0.22 * tl) / (2 / (UM - 0.05))) / 3600 \quad // \text{kWh/kg}$$

$$PEV = EV * 0.65 \quad // \text{R\$/kg}$$

// Energia elétrica na Ilha de Exposição

$$CIlha = 18144 * 0.378 / 59.16 \quad // \text{Carga da Ilha em kg}$$

$$TIlha = 7 \quad // \text{tempo na ilha em dias}$$

$$EIlha = 4.3 * TIlha / CIlha \quad // \text{E. Elétrica kWh/kg}$$

$$PEIlha = EIlha * 0.26 \quad // \text{E. Elétrica R\$/kg}$$

// Energia elétrica na Residência

$$CFreezer = 18144 * 0.276 / 59.16 \quad // \text{Carga Freezer em kg}$$

$$TFreezer = 7 \quad // \text{tempo de freezer em dias}$$

$$EFreezer = 1.85 * TFreezer / CFreezer \quad // \text{E. Elétrica kWh/kg}$$

$$PEFreezer = EFreezer * 0.26 \quad // \text{R\$/kg}$$

REFERÊNCIAS

ACAR, B.; SADIKOGLU, H.; DOYMAZ, I. Freeze-drying Kinetics and Diffusion Modeling of Saffron (*Crocus sativus* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 2, p. 142-149, 2015.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, **Resolução CNNPA nº 12**, 1978.

AYROSA, A. "**Liofilização: ciência ou arte.**" *Revista. Engenharia. São Paulo*. Pags 40-45.2003.

BLACKADDER, D. A.; NEDDERMAN, R. M. Manual de operações unitárias. **Hemus Editora Ltda. São Paulo**, 1982.

BRASTEMP - **Freezers**, 2016. Disponível em <<http://www.brastemp.com.br/produto/freezer-vertical-eletronico-brastemp-flex-frost-free-228-litros/#cor=cor-branco>>, Acesso em 19 de novembro de 2016.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados, Planaltina. ISSN**, p. 1517-5111, 2010. FARKAS, Brian SINGH, Rajinder Paul. **Physical Properties of Air - Dried and Freeze - Dried Chicken White Meat**, 2006

COPEL - Companhia Paranaense de Energia, 2016, disponível em <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2FIndustrial%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F23BF37E67261209C03257488005939EB>>, acesso em 19 de novembro de 2016.

CPFL - **AS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL E NOS OUTROS PAISES: O PORQUE DAS DIFERENÇAS**, 2015, disponível em <<http://www.cpfl.com.br/energias->

sustentaveis/inovacao/projetos/Documents/PB3002/livro.pdf>, acesso em 19 de novembro de 2016.

FARKAS, B. E.; SINGH, R. P. Physical properties of air-dried and freeze-dried chicken white meat. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 3, p. 611-615, 1991.

GEA, Freeze Drying Plant Conrad™, 2016, disponível em <http://www.gea.com/en/binaries/GEA%20Freeze%20drying%20CONRAD%20for%20the%20food%20and%20beverage%20industry_tcm11-23915.pdf>, acesso em 19 de novembro de 2016.

GELOPAR - **Ilhas de Exposição**, 2016, disponível em <<http://www.gelopar.com.br/pt/produto/GESV-190R>>, acesso em 19 de novembro de 2016.

IBARZ, A., BARBOSA-CANOVAS, G., **Unit Operation in Food Engineering**, Editora CRC, Boca Raton: Flórida - EUA, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores IBGE**, 2014.

KÖNIG, D. L. Liofilização Aplicada a Produtos Cárneos Avícolas. Trabalho de Conclusão de Curso - Tecnologia de Alimentos, UTFPR-Medianeira, 2016.

LOUREIRO, U. **Jornal do Brasil**, 2011. Disponível em: <<http://www.jb.com.br/economia/noticias/2009/10/03/exportacao-de-exoticos-rendem-milhoes/>> Acessado em 09 de novembro de 2016.

MARQUES, E.; DA COSTA, S. estudo da liofilização pela engenharia de produto no processamento industrial de alimentos. **Acta Tecnológica**, v. 10, n. 1, p. 44-52, 2015.

MENDES, L. H. Do frango brasileiro, os chineses querem o pé. **Valor Econômico**, 26/07, p. B12, 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA).

Projeções do agronegócio Brasil 2009/2010 a 2019/2020, 2010

MONTEIRO, R. L.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. A microwave multi-flash drying process for producing crispy bananas. **Journal of Food Engineering**, v. 178, p. 1-11, 2016.

NETO, H. J. L. **Obtenção de tomate seco através do uso de um sistema solar alternativo de baixo custo**. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal.

OCHOA, M. R.; KESSELER, A. G.; PIRONE, B. N.; MÁRQUEZ, C. A.; MICHELIS, A. **Shrinkage During Convective Drying of Whole Rose Hip (Rosa Rubiginosa L.) Fruits**, 2002.

OLIVEIRA, A. M. D.; OLIVEIRA, G. R.; SANTOS, J. T. S.; CAMPOS, A. F. P.; NUNES, T. P.; RUSSO, S. L. **Prospecção tecnológica: processo de liofilização na indústria de alimentos**. **GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 3, n. 1, p. 092-102, 2013..

OLIVEIRA, C. A. O. **A dinâmica da estrutura da indústria de carne de frango no brasil**. 2011.

PARK, K. J.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; DAL FABBRO, I. M. **Secagem: fundamentos e equações**. 2014

RATTI, C. **Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review**. **Journal of food engineering**, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

SCILAB – **Open source software for numerical computation**, 2016, disponível em

< <http://www.scilab.org/>>, acesso em 19 de novembro de 2016.

SILVA, M. A.; ROSADO, P. L.; BRAGA, M. J.; & CAMPOS, A. C. **Oferta de exportação de carne de frango do Brasil, de 1992 a 2007. Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 1, p. 31-53, 2011. SOUZA, Geraldo et. al. **Previsões para o Mercado de Carnes**. 2010

SHUKLA, S. Freeze drying process: A review. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 2, n. 12, p. 3061, 2011.

SMITH, J. M., VAN NESS H. C., ABBOUTT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**, Editora LTC, 7ª Edição, Rio de Janeiro – RJ, p. 27-28, 236-237, 2013.

SOUSA, F., MARTINS, J., ROCHA, A., GOMES, J., PESSOA, T., & MARTINS, J. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de Ziziphus joazeiro Mart. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 2, p. 195-200, 2015.

SOUZA, G. D. S.; SOUZA, M. O. D.; MARQUES, D. V.; GAZZOLA, R.; MARRA, R. Previsões para o mercado de carnes. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 2, p. 473-492, 2011.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **National Nutrient Database for Standart Reference Release 28**. Disponível em: < <https://apps.fas.usda.gov/PSDOnlinev2/app/index.html#/app/home/statsByCountry>>. Acesso em: 20 de novembro de 2016.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Agricultural Projections to 2018**. 100 p, 2009.

VELASCO, G. D. N.; LIMA, A. M. L.; COUTO, H. T. Z. Análise comparativa dos custos de diferentes redes de distribuição de energia elétrica no contexto da arborização urbana. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 679-686, 2006.

VIEIRA, A.; NICOLETI, J.; TELIS, V. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. **Brazilian Journal of Food Technology**, p. 50-58, 2012.

WORLD FRIGHT RATES – **Calculadora de Frete**, 2016. Disponível em <<http://worldfreightrates.com/pt/freight>>, Acesso em 19 de novembro de 2016.