

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MARIANA APARECIDA NUNES

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PÓ DE OVO DE CODORNA  
LIOFILIZADO

PATOS DE MINAS  
2017

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PÓ DE OVO DE CODORNA  
LIOFILIZADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Patos de Minas como parte dos requisitos para conclusão do curso.

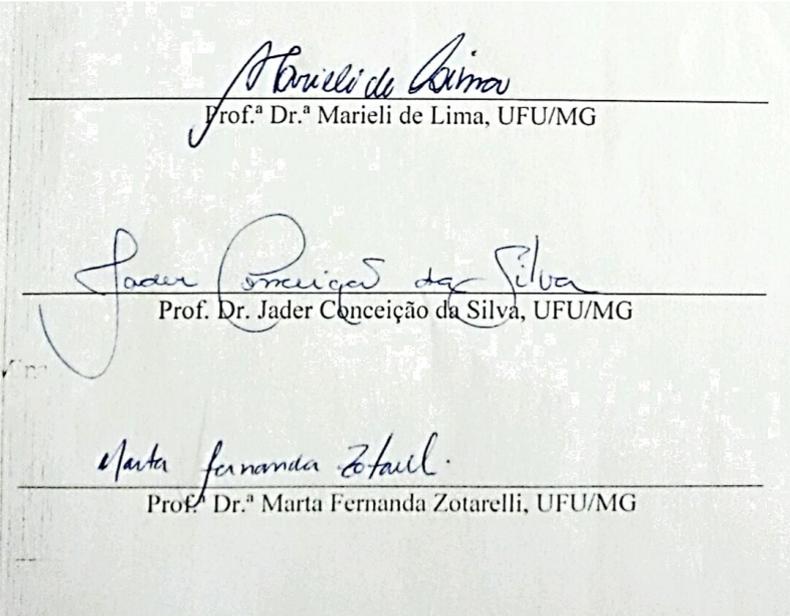
**Orientadora:** Prof. <sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Marieli de Lima  
**Coorientador:** Dr. Lenilton Santos Soares

PATOS DE MINAS  
2017

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PÓ DE OVO DE CODORNA  
LIOFILIZADO

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado para obtenção do Título de Engenheira de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia *Campus* Patos de Minas, pela a banca examinadora, formada por:

Patos de Minas, 15 de dezembro de 2017.



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marieli de Lima, UFU/MG

Prof. Dr. Jader Conceição da Silva, UFU/MG

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marta Fernanda Zotarelli, UFU/MG

Dedico esse trabalho a Deus e meus queridos Pais:

José Humberto Nunes e Maria de Fátima Nunes

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela proteção e força para que eu pudesse superar todos os momentos de minha vida. Agradeço de forma especial aos meus pais, José Humberto, Maria de Fátima, e a minha irmã, Maraiza, por me incentivarem e apoiarem meu sonho, por todos os ensinamentos, amor, carinho e companheirismo.

Ao meu namorado, Marcos Cesar pelos incentivos, companheirismo e por acreditar no meu potencial.

Ao meu cunhado, Carlos Augusto, pelo apoio durante esses anos.

A todos os meus familiares que participaram da minha caminhada sempre com palavras de incentivo.

Aos meus colegas e amigos que tive a oportunidade de conhecer e conviver ao longo da graduação.

A minha colega. Isadora, por sempre atender os meus favores.

A minha orientadora de TCC, professora Dra. Marieli de Lima e meu coorientador Lenilton Santos pela oportunidade de me orientarem nesse trabalho.

A minha orientadora de iniciação científica, professora Dra. Líbia Diniz, pela oportunidade de realizar iniciações científicas ao longo da graduação, pelos seus ensinamentos e pelo apoio.

Aos meus demais professores, que durante os cinco anos de graduação me passaram conhecimentos e ensinamentos.

Aos técnicos dos laboratórios de Engenharia de Alimentos: Betânia, Istefane, Lais e Marco Aurélio por me ajudarem a realizar esse trabalho.

À banca examinadora, Marta e Jader por terem aceitado o convite e por ajudarem a engrandecer o meu trabalho.

A todos, meu muito obrigado.

## RESUMO

O ovo de codorna é um alimento muito apreciado pelos consumidores e normalmente é comercializado na forma *in natura* e em conserva. No entanto, as perdas do produto *in natura* durante a cadeia produtiva são altas e a desidratação do ovo de codorna em pó pode ser uma alternativa para reduzir o desperdício e aumentar a vida útil desse produto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade do ovo de codorna desidratado por liofilização armazenado em diferentes tipos de embalagem flexível (laminada com polietileno de baixa densidade, polietileno de baixa densidade e polipropileno). Os ovos de codorna passaram por um tratamento prévio de pasteurização (65°C/3,5 min) antes da liofilização. Foi realizado um experimento para verificar a higroscopicidade do ovo integral de codorna liofilizado acondicionado na embalagem e apenas o pó com nenhuma embalagem. Esse pó foi acondicionado nos três tipos de materiais de embalagem e em seguida submetidos ao armazenamento na condição de umidade relativa de 80% e temperatura de 25°C. As análises físico-químicas de umidade, atividade de água ( $a_w$ ), densidade *bulk*, pH e cor do pó durante a estocagem foram realizadas nos dias 0, 7, 17, 24, 31, 38, 45, 52 e 59 dias. Além disso, a isoterma de sorção foi feita com o intuito de indicar a umidade em que o pó é mais estável e foi ajustada nos seguintes modelos: GAB, BET, Halsey, Smith, Oswin e Peleg. As embalagens foram avaliadas quanto à permeabilidade (k) e à taxa de permeabilidade ao vapor d'água. Durante o armazenamento, foi observado que o pH diminuiu ao longo do período de estocagem e a umidade e a atividade de água aumentaram no decorrer do período. Isto foi um fator influente na variação da densidade *bulk*. Os materiais de embalagem não evitaram as alterações de cor provocadas durante a estocagem. O ganho de umidade ao longo do tempo foi associado pela taxa de permeabilidade ao vapor d'água das embalagens e a higroscopicidade do ovo integral de codorna desidratado. A isoterma foi classificada em tipo II e o modelo que melhor se ajustou foi o de GAB, o qual forneceu o teor de umidade da monocamada de 0,03 g H<sub>2</sub>O/ g sólidos secos. O ovo de codorna submetido ao processo de liofilização se manteve estável apesar das alterações físico-químicas observadas e gerou um novo produto em pó com potencial de utilização para a indústria de alimentos.

**Palavras-chave:** ovo de codorna; liofilização; estabilidade, armazenamento.

## ABSTRACT

Quail egg is a food highly appreciated by consumers and is usually marketed in fresh and canned form. However, as in natura product losses during a production chain are high and a dewatering of the quail egg powder can be an alternative to reduce waste and increase product shelf life. The objective of this work was to evaluate the stability of lyophilized dehydrated quail egg stored in different types of flexible packaging (laminated with low density polyethylene, low density polyethylene and polypropylene). The quail eggs underwent a prior pasteurisation treatment (65 ° C / 3.5 min) prior to lyophilization. An experiment was carried out to verify the hygroscopicity of the lyophilized whole quail egg packed in the package and only the powder with the packaging. This powder was installed in the three types of packaging materials and powder in the storage under the condition of relative one of 80% and temperature of 25 ° C. The physicochemical analyzes of moisture, water activity (aw), density a bulk, pH and powder color during storage were performed on days 0, 7, 17, 24, 31, 38, 45, 52 and 59 days. In addition, the sorption isotherm was done with the intention of indicating the humidity in which the powder and more models and models fitted: GAB, BET, Halsey, Smith, Oswin and Peleg. As packaging were evaluated for permeability (k) and the rate of permeability to water vapor. During storage, it was observed that the pH decreased over the storage period and a unit and a water activity increased over the period. This was an influential factor in the variation of mass density. Packaging materials are not the provocation meshes during storage. The moisture gain over time was associated with the water vapor permeability rate of the packages and the hygroscopicity of the dehydrated whole quail egg. The isotherm was classified as type II and the model that best fit the GAB, which is the name of a monolayer of 0.03 g H<sub>2</sub>O / g dry solids. The quail egg subjected to the lyophilization process remained stable despite observed physicochemical particles and generated a new powder product with potential for use in a food industry.

**Keywords:** quail egg; freeze-drying; stability, storage.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Liofilizador utilizado para a obtenção do ovo de codorna desidratado .....	14
Figura 2-Ovo de codorna liofilizado acondicionado nos diferentes materiais de embalagem (PEBD, PP e laminada de PE).....	15
Figura 3- Determinação da taxa de permeabilidade ao vapor d'água das embalagens: a) Dessecador com as cápsulas b) Cápsula utilizada.....	18
Figura 4- Estufa convectiva utilizada para medição da umidade em ovos de codorna. ....	19
Figura 5- Equipamento AqualabLITE .....	20
Figura 6-Umidade do ovo de codorna liofilizado e acondicionado nos diferentes materiais de embalagem a condição de UR=80% e 25°C.....	24
Figura 7-pH do ovo de codorna integral desidratado acondicionado nos três tipos de embalagem ao longo do armazenamento a UR%=80 e 25°C. ....	25
Figura 8-Densidade do ovo de codorna desidratado acondicionado nos diferentes tipos de materiais de embalagem a UR=80% e 25°C. ....	26
Figura 9-Atividade de água do ovo de codorna desidratado e acondicionado nos três materiais de embalagem ao longo do armazenamento a UR=80% e 25°C.....	27
Figura 10 - Coordenada de Luminosidade (L*) do ovo de codorna desidratado acondicionado nos diferentes tipos de materiais de embalagens durante o armazenamento a UR=80% e 25°C .....	29
Figura 11-Coordenada de cromaticidade (a*) do ovo de codorna acondicionado nos diferentes materiais de embalagens durante o armazenamento a UR=80% e 25°C.....	30
Figura 12-Coordenada de cromaticidade (b*) do ovo de codorna desidratado nos três tipos de materiais de embalagem durante o armazenamento a UR=80% e 25°C.....	30
Figura 13-- Diferença global de cor do ovo de codorna desidratado acondicionado nos três diferentes materiais de embalagens a UR=80% e 25°C. ....	31
Figura 14-Isoterma de sorção de umidade a 25°C.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1--Modelos Matemáticos para o ajuste de isotermas de sorção de alimentos .....	17
Tabela 2--Umidade e pH do ovo integral de codorna líquido e liofilizado.....	22
Tabela 3 - Higroscopicidade do ovo de codorna não embalado e acondicionado em embalagens compostas por diferentes materiais. ....	23
Tabela 4- Dados de equilíbrio da isoterma de sorção.....	33
Tabela 5-Parâmetros dos modelos de ajuste das isotermas .....	35
Tabela 6-Permeabilidade ao vapor d'agua das embalagens (UR=75%; T=25°C).....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	11
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	14
3.1	Obtenção do ovo de codorna desidratado	14
3.2	Liofilização dos ovos de codorna	14
3.3	Acondicionamento do ovo de codorna liofilizado	15
3.4	Estudo do ganho de umidade	15
3.5	Isoterma de Sorção de Umidade	15
3.6	Ajuste Matemático dos dados Isoterma de Sorção de Umidade	16
3.7	Determinação da Taxa de Permeabilidade ao Vapor de Água	17
3.8	Avaliação físico-química do ovo desidratado durante o armazenamento	18
3.8.1	<i>Umidade inicial do ovo desidratado</i>	18
3.8.2	<i>Determinação do pH</i>	19
3.8.3	<i>Higroscopicidade</i>	19
3.8.4	<i>Densidade bulk</i>	20
3.8.5	<i>Atividade de Água (<math>a_w</math>)</i>	20
3.8.6	<i>Determinação da cor</i>	20
3.9	Análise Estatística	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	22
4.1	Caracterização físico-química do ovo integral de codorna	22
4.1.1	<i>Umidade e pH</i>	22
4.1.2	<i>Higroscopicidade</i>	23
4.2	Avaliações físico-químicas do ovo de codorna desidratado durante o armazenamento	24
4.2.1	<i>Umidade inicial</i>	24
4.2.2	<i>pH</i>	25
4.2.3	<i>Densidade bulk</i>	26
4.2.4	<i>Atividade de Água (<math>a_w</math>)</i>	27
4.2.5	<i>Cor</i>	29
4.3	Ajuste Matemático da Isoterma de Sorção de Umidade	32
4.4	Permeabilidade ao vapor d'água das embalagens	37
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	39

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>
--------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A codorna é originária do norte da África, da Europa e da Ásia, e atualmente são criadas em cativeiro; as mesmas são resultados de vários cruzamentos efetuados no Japão e na China, a partir da subespécie selvagem *Coturnix coturnix coturnix*. A partir disso, a *Coturnix coturnix japonica*, chamada de doméstica ou japonesa é destinada à produção de ovos, ao passo que a codorna da subespécie selvagem à produção de carne (SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção de ovos de codorna aumentou 13,9% no ano 2015 em relação a 2014 (IBGE, 2015). Essa demanda é explicada pelo processamento dos mesmos em conserva, que são muito utilizados em restaurantes, serviços de *buffet* e também oferecidos para venda no varejo.

O ovo de codorna é um alimento proteico de excelente qualidade, apresentando 14% de proteína e baixo teor de colesterol (0,3%). A proteína do mesmo contém todos os aminoácidos essenciais, além de elevados teores de ferro, manganês, cobre, fósforo, cálcio, vitaminas A, B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>, D, E, H, ácido pantotênico e piridoxina (SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005).

De acordo com Ordóñez (2005), os produtos derivados dos ovos são utilizados como matéria-prima na forma de líquidos, congelados ou desidratados pelas indústrias de sobremesas e panificação para a produção de massas alimentícias, maioneses, sopas em pó, margarinas, cremes, licor de ovo, etc. O ovo de codorna *in natura* apresenta problemas com perdas durante o armazenamento e comercialização, onde a quebra e proliferação de fungos é comum, acarretando o desperdício do produto. Nesse contexto, uma alternativa para se comercializar os ovos de codorna é na forma desidratada utilizando o processo de liofilização, visto que o ovo em pó mantém as propriedades físicas, funcionais e nutricionais do ovo *in natura* e possui maior vida útil devido à sua baixa umidade, visto que a água livre do alimento é removida.

Os produtos desidratados possuem sua vida útil dependente do ganho de umidade do ambiente, que resulta em aglomeração do produto e pode viabilizar o desenvolvimento microbiano. O teor máximo de água que deve conter em ovos integrais desidratados é de 5% em base úmida (b.u.), para leite em pó de 2 a 3% (b.u.), quando esses limites são ultrapassados os alimentos ficam instáveis (FELLOWS, 2006).

A vida útil corresponde ao período de tempo no qual os alimentos estão armazenados sob certas condições, cujas suas propriedades sensoriais, microbiológicas e físico-químicas são preservadas. A estabilidade desses produtos é influenciada por diversos fatores dentre eles: processo de conservação, atividade de água, material de embalagem e a natureza do alimento. (CORRÊA et al., 2015). Nesse sentido, é importante salientar que produtos desidratados

possuem baixa atividade de água o que os tornam menos propensos ao desenvolvimento microbiano e alterações nas suas propriedades.

A avaliação da estabilidade de produtos desidratados em diferentes tipos de embalagem e sob condições de armazenamento são referenciados por outros estudos, como o café e buriti desidratado (AGUIAR; SOUZA, 2017; ALVES; BORDIN; GARCIA, 1998).

A determinação do ganho ou perda de umidade de acordo com o tipo de embalagem usada no acondicionamento é uma informação essencial, uma vez que relaciona diversos fatores, como: adsorção de umidade pelo produto determinada através de isoterma de sorção; armazenamento mediante diferentes condições ambientais de umidade relativa (UR) e; a taxa de permeabilidade ao vapor d'água da embalagem.

A isoterma de sorção tem o objetivo de indicar a  $a_w$  na qual o alimento é estável, bem como prever alterações da umidade em relação à atividade de água, permitir a determinação da temperatura ideal de armazenamento e também estimar o tempo máximo de armazenagem de produtos embalados. As isotermas possuem formas diferentes para cada tipo de alimento, uma vez que os mesmos possuem diferenças na estrutura física, composição química e quantidade de água ligada. Em decorrência disso, diversos autores propuseram modelos de ajuste de isotermas de sorção, os quais são úteis no conhecimento das características dos produtos (FELLOWS, 2006).

As características das embalagens plásticas dependem do tipo de material e de sua composição estrutural. Para tal, é necessário verificar qual é a demanda que deve ser suprida pela embalagem. Em produtos desidratados é importante que os filmes poliméricos, que constituem essas embalagens, funcionem como uma barreira que impeça ou dificulte o contato entre o ambiente externo e o produto em seu interior. Há registros de estudos na literatura que o polietileno e a laminada podem ser utilizados como embalagens para produtos desidratados como maçã desidratada, buriti desidratado e ovo de galinha por secagem em estufa e *spray drying* (CORREA et al., 2015; LOUREIRO, 2013; AGUIAR e SOUZA, 2016; KOÇ et al., 2011). O produto desidratado deve manter suas características quando armazenado, e para isso, deve-se estudar a sua estabilidade e a embalagem mais adequada de acordo com as suas peculiaridades.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a estabilidade do ovo de codorna desidratado por liofilização armazenado com diferentes tipos de embalagem flexível.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar a isoterma do ovo de codorna desidratado por liofilização;
- Avaliar o ganho de umidade pelo ovo de codorna desidratado em três tipos de material flexível de embalagens, quando estocados em condições controladas de temperatura e umidade relativa;
- Caracterizar físico-quimicamente o pó durante o armazenamento.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Obtenção do ovo de codorna desidratado

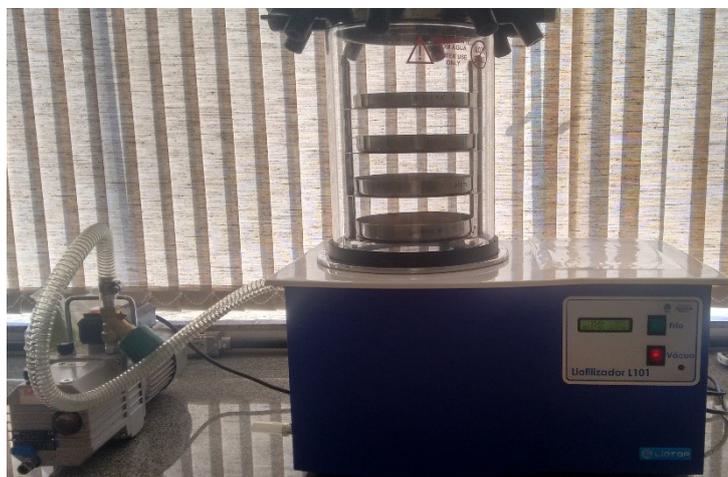
Os ovos de codorna japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) que foram utilizados para a realização deste estudo foram obtidos no comércio local da cidade de Patos de Minas, MG, e foram conduzidos para os laboratórios de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Patos de Minas, para a realização dos testes.

Os ovos de codorna foram quebrados individualmente, homogeneizados e posteriormente submetidos ao processo de filtração para remoção das cascas e película das gemas dos ovos remanescentes. As amostras, após a homogeneização, foram pasteurizadas em Banho Ultratermostático SL – 152/18 – Solab, a uma temperatura de 60 °C durante três minutos e meio, com o objetivo de eliminar microrganismos patogênicos (ARAÚJO, 2016).

#### 3.2 Liofilização dos ovos de codorna

As amostras de ovo de codorna foram congeladas no Ultra Freezer (CL520 - 86V) a -80 °C por um período de mínimo 12 horas e posteriormente foram liofilizadas em Liofilizador (L101- Liotop®) por 24 horas, a uma pressão de  $34,5 \pm 2,5$  mmHg e a temperatura de  $-52,5 \pm 0,5$  °C e em seguida trituradas em um *mixer* doméstico pequeno até obter o pó (ARAÚJO, 2016). Na Figura 1 estão apresentados o equipamento para a obtenção do ovo integral de codorna desidratado por liofilização.

Figura 1- Liofilizador utilizado para a obtenção do ovo de codorna desidratado



FONTE: próprio autor

### 3.3 Acondicionamento do ovo de codorna liofilizado

As amostras em pó obtidas por meio da liofilização foram acondicionadas em três tipos de materiais (polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno e laminado de PE) ilustrada pela Figura 2, na qual se buscava uma barreira destes materiais ao vapor de água e à luz (laminado). Para tal, 3 g de ovo de codorna liofilizado em pó foram acondicionados nas embalagens com área de 0,64 m<sup>2</sup> e selados em seladora (M-300T, BARBI®). As amostras embaladas foram acondicionadas a temperatura de 25 °C para o estudo de ganho de umidade e para a caracterização físico-química dos pós durante o armazenamento.

Figura 2-Ovo de codorna liofilizado acondicionado nos diferentes materiais de embalagem (PEBD, PP e laminada de PE)



FONTE: Próprio autor

### 3.4 Estudo do ganho de umidade

O ganho de umidade no ovo de codorna em pó acondicionado nas diferentes embalagens foi realizado de acordo com a metodologia adaptada de Alves e Bordin (1998). Os diferentes tipos de embalagem foram estocados por 59 dias em incubadora de BOD digital microprocessada (Tecnal, Brasil) com temperatura controlada de 25°C e umidade relativa (UR) obtida por solução saturada de sulfato de amônia (80%UR). Para o armazenamento do produto foram preparadas 72 embalagens sendo que cada possuía 3 gramas do ovo integral liofilizado de codorna. Assim foram avaliadas as seguintes propriedades das amostras embaladas nos diferentes materiais de embalagens: pH, densidade, atividade de água, ganho de umidade e cor dos pós embalados.

### 3.5 Isoterma de Sorção de Umidade

As isotermas de sorção foram determinadas pelo método gravimétrico estático de acordo

com Greenspan (1977). Foram preparadas oito soluções salinas saturadas: LiCl, CH<sub>3</sub>COOK, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KI, NaCl, KCl e BaCl<sub>2</sub> para fornecer valores de atividade de água de 11,3 %, 22,6 %, 43,2 %, 52,9 %, 68,9 %, 75,3 %, 84,3 % e 90,2 %, respectivamente. Essas soluções foram acondicionadas em recipientes herméticos. Foram pesados 1g de ovo de codorna desidratado em copinhos, e estes submetidos aos recipientes com as respectivas soluções salinas saturadas, para cada valor de umidade relativa desejada, a 25°C. Esses recipientes (soluções saturadas e amostras) foram colocados em B.O.D. a 25 °C. As amostras foram pesadas em balança analítica (Shimadzu AUW320) em intervalos regulares de tempo, até atingirem o equilíbrio. Depois de atingirem o equilíbrio, a umidade foi determinada gravimetricamente conforme descrito no item 3.8.1.

### 3.6 Ajuste Matemático dos dados Isoterma de Sorção de Umidade

Os dados experimentais foram representados nos modelos matemáticos (Tabela 1) no *software* MATLAB a fim de obter o R<sup>2</sup>, RMSE e os parâmetros de cada.

Tabela 1--Modelos Matemáticos para o ajuste de isotermas de sorção de alimentos

Modelo	Equação
GAB	$X = \frac{X_m C K a_w}{[(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)]}$
BET	$X = \frac{X_m C a_w}{[(1 - a_w)(1 + (C - 1) a_w)]}$
Halsey	$X = \left[ \frac{-A}{T \ln a_w} \right]^{\frac{1}{B}}$
Smith	$X = A + B \log(1 - a_w)$
Oswin	$X = A \left[ \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^B$
Peleg	$X = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2}$

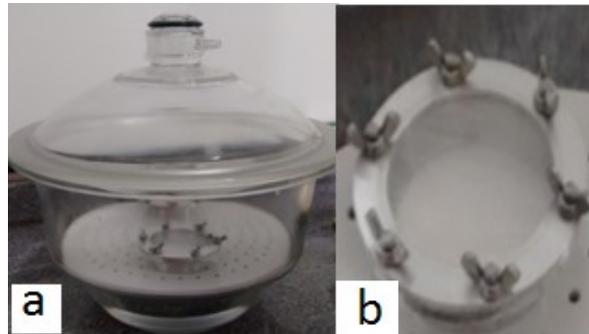
Fonte: Rahman (2008).

Em que, a variável X é a umidade em base seca,  $X_m$  é a umidade na monocamada em base seca, T é a temperatura, K, A, B,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  são parâmetros de ajuste dos modelos.

### 3.7 Determinação da Taxa de Permeabilidade ao Vapor de Água

A taxa permeabilidade ao vapor d'água (TPVA) foi determinada gravimetricamente pelo método estacionário-padrão da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), E9600, descrito por Sarantópoulos et al. (2002). As embalagens de polipropileno, polietileno e laminada com 0,64 m<sup>2</sup> de área e espessura de 63±0,94, 70±1,8 e 46,16±0,23 cm, respectivamente, foram dispostas em cápsulas que possuíam CaCl<sub>2</sub> puro conferindo um ambiente interno com UR=2% e também um sistema de fechamento por parafusos. Todo o conjunto foi acondicionado em um dessecador com uma solução salina saturada de NaCl a 75% a temperatura de 25°C, de acordo com o apresentado na Figura 3 e foram pesadas em intervalos de 24 horas em balança analítica (Shimadzu AUW320)

Figura 3- Determinação da taxa de permeabilidade ao vapor d'água das embalagens: a) Dessecador com as cápsulas b) Cápsula utilizada.



FONTE: próprio autor

Foi realizada uma regressão linear para encontrar o coeficiente angular da reta que representa a taxa de permeação (K) e a TPVA foi calculada utilizando a Equação (1).

$$TPVA = \frac{K \cdot e}{A \cdot P_s (a_{w1} - a_{w2})} \quad (1)$$

Em que:  $TPVA$  = taxa de permeabilidade ao vapor d'água ( $\text{g } \mu\text{m}/\text{m}^2\text{h Pa}$ )

$K$  = taxa de permeação (g/h)

$e$  = espessura ( $\mu\text{m}$ )

$P_s$  = Pressão de saturação da água a  $25^\circ\text{C}$

$a_{w1}$  = atividade de água no exterior da cápsula

$a_{w2}$  = atividade de água no interior da cápsula

### 3.8 Avaliação físico-química do ovo desidratado durante o armazenamento

As amostras de ovo de codorna em pó acondicionadas nos três materiais de embalagens foram avaliadas em relação à umidade, pH, higroscopicidade, densidade aparente e atividade de água ( $a_w$ ) e cor durante os dias, 0, 7, 17, 24, 31, 38, 45, 52, 59 de armazenamento a UR de 80% e  $25^\circ\text{C}$ .

#### 3.8.1 Umidade inicial do ovo desidratado

A umidade dos ovos de codorna desidratados foi determinado conforme método de Souza (2016). As amostras líquidas e liofilizadas de ovo integral de codorna foram quantificadas gravimetricamente. As mesmas foram submetidas à secagem em estufa convectiva (microprossada Quimis®) a  $60^\circ\text{C}$  por três dias, quando houve a estabilidade da

massa das amostras. Na Figura 4 está apresentada a estufa convectiva utilizada para a determinação de umidade.

Figura 4- Estufa convectiva utilizada para medição da umidade em ovos de codorna.



FONTE: Próprio autor

### 3.8.2 Determinação do pH

O pH das amostras foi determinado de acordo com as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985). O preparo das amostras foi realizado utilizando a proporção de 1:10, ou seja, a cada grama de amostra adicionou-se 10 mL de água destilada e posteriormente a leitura do pH foi realizada em pHmetro (Ms Tecnoyon) por meio de eletrodos previamente calibrados.

### 3.8.3 Higroscopicidade

Para a análise da higroscopicidade, os pós obtidos pela liofilização e acondicionados em embalagens de polietileno de baixa densidade, polipropileno e laminada de polietileno tiveram suas massas mensuradas e foram dispostos em dessecador com uma solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), cuja atividade de água é de 0,75 a temperatura ambiente (GREENSPAN, 1977). Após sete dias, as massas foram medidas novamente. A higroscopicidade dos pós foi expressa em percentual (%) (Equação 2) por meio do ganho das massas.

$$\text{higroscopicidade} = \frac{m_{\text{final}} - m_{\text{inicial}}}{m_{\text{inicial}}} \cdot 100 \quad (2)$$

$m_{\text{final}}$  = massa do sistema (ovo de codorna ou ovo de codorna embalado) final

$m_{\text{inicial}}$  = massa inicial do sistema (ovo de codorna ou ovo de codorna embalado)

### 3.8.4 Densidade bulk

A densidade foi determinada pela razão da massa de amostra pelo volume ocupado pela mesma na proveta, expresso em  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Na Equação (3) está mostrada a equação utilizada para o cálculo da densidade para a amostra de ovo integral de codorna liofilizado.

$$\rho = \frac{(\text{massa da amostra})}{(\text{volume ocupado pela amostra})} \quad (3)$$

### 3.8.5 Atividade de Água ( $a_w$ )

A atividade de água das amostras foi obtida através da medida de leitura direta no (AquaLabLITE). O equipamento utilizado para leitura da atividade de água das amostras está ilustrado na Figura 5.

Figura 5- Equipamento AqualabLITE



FONTE: Próprio autor

### 3.8.6 Determinação da cor

A cor foi determinada por leitura direta das amostras em colorímetro Minolta marca modelo CR-400, utilizando sistema de iluminação D65 e ângulo de observação de  $8^\circ$ . Os parâmetros foram analisados por meio da cor das escalas CIELab e CIELCh, onde:  $L^*$

(luminosidade, 0 a 100 – preto ao branco), as coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$  que indicam (-a = verde e +a = vermelho; -b = azul e +b = amarelo). A calibração do colorímetro foi realizada com uma placa branca padrão ( $Y = 93,5$ ;  $x = 0,3164$ ;  $y = 0,3325$ ), de acordo com instruções do fabricante. O fator  $\Delta E$  foi calculado cujo o objetivo é expressar a diferença entre os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  da amostra padrão no espaço. O mesmo indica o tamanho da diferença de cor, mas não indica a direção em que as cores são diferentes. E pode ser definido pela Equação 4.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

### 3.9 *Análise Estatística*

A higroscopicidade do ovo em pó de codorna embalado e sem ser acondicionado nos diferentes materiais de embalagem foi avaliada por meio de análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias (Tukey), com nível de significância de 95 %, no *software Statistica 7*.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização físico-química do ovo integral de codorna

#### 4.1.1 Umidade e pH

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados de pH e de umidade do ovo integral de codorna líquido e em pó.

Tabela 2--Umidade e pH do ovo integral de codorna líquido e liofilizado

	Umidade (g água/g sólidos secos)	pH
Ovo líquido	2,823±0,1414	7,86±0,088
Ovo liofilizado	0,0158±0,0003	9,11±0,004

O pH é um parâmetro muito importante a ser discutido, uma vez que pode ser utilizado como um atributo de qualidade e frescor para ovos. O pH do ovo líquido integral de codorna nesse estudo foi de 7,86, próximo ao do valor encontrado por Santos et al. (2011) no qual foi de 7,54 para as linhagens de codornas japonesa e americana. A Legislação Brasileira estabelece o pH para ovos integrais líquidos, na faixa de 7,0 a 7,8 e para ovos desidratados na faixa 7,0 a 9,0 (BRASIL, 1991). Assim, pode-se observar que os valores obtidos para o ovo em pó e líquido estão ligeiramente maiores do que o preconizado pela Legislação, o que pode ser atribuído ao tempo de postura dos ovos de codorna, onde há uma tendência de aumento deste parâmetro com o tempo. Araújo (2016) encontrou valor de pH de 9,21 para o ovo integral de codorna liofilizado, semelhante ao obtido nesse estudo (Tabela 2).

Oliveira; Oliveira (2013) compararam a umidade do ovo de codorna e de galinha sendo, e obtiveram os valores, em base seca (b.s.) de 2,89 e 3,19 g água/g sólidos secos respectivamente. A umidade do ovo integral de codorna nesse estudo foi de 2,82 (b.s.) que está próximo ao encontrado por esses autores. Verifica-se que a composição físico-química do produto pode variar dependendo da espécie da ave. A umidade do ovo liofilizado diminuiu (Tabela 2) como o esperado visto que o processo de desidratação tem por objetivo remover a parte da água contida no alimento. Oliveira; Oliveira (2013), encontraram valores de umidade para ovos desidratados de galinha de 3,1 em (b.s.), superior ao valor encontrado neste trabalho de 0,016 (b.s.). Essas diferenças podem estar relacionadas com o processo e as condições de secagem e o tempo em que o produto foi submetido à redução de umidade. Mas, em termos de conservação menores valores de umidade e atividade de água favorecem a estabilidade e o

prolongamento da vida de prateleira.

#### 4.1.2 Higroscopicidade

Na Tabela 3 estão apresentadas a média das triplicatas para as análises de higroscopicidade do ovo integral de codorna liofilizado e o mesmo acondicionado nas embalagens laminada, polietileno (PEBD) e polipropileno.

Tabela 3 - Higroscopicidade do ovo de codorna não embalado e acondicionado em embalagens compostas por diferentes materiais.

<b>Tipo de material de embalagem</b>	<b>Higroscopicidade (%)</b>
Não embalado	8,590±0,085 <sup>a</sup>
Laminada	3,452±1,310 <sup>b</sup>
Polietileno (PEBD)	3,498±0,034 <sup>b</sup>
Polipropileno (PP)	2,792±0,727 <sup>b</sup>

Segundo Carlos (2005), a higroscopicidade é a capacidade que os pós têm de adsorver água. Pode-se observar que não houve diferença significativa entre as amostras de ovo integral de codorna liofilizado dentre os tipos de material de embalagens avaliados ( $p>0,05$ ). Nota-se que a higroscopicidade do ovo não embalado foi maior do que o mesmo acondicionado nas demais embalagens quando expostos a UR de 75%. Esse resultado era esperado, visto que a embalagem influenciou na menor higroscopicidade, pois constituiu uma barreira ao ganho de água pelo produto. Além disso, esse alto valor também pode ser explicado pela influência do processo de liofilização na desidratação, devido a ocorrência de cristais de gelos formados durante o congelamento da amostra, que conseqüentemente pode ter interferido na microestrutura do pó liofilizado resultando em aumento da adsorção de água.

Araújo (2016) encontrou o valor de 7,92% para o ovo integral de codorna desidratado por liofilização, inferior ao obtido por esse estudo (Tabela 3). Essas variações podem estar associadas às mudanças de umidade relativa e temperatura do ambiente, que podem interferir nos processos de secagem. Os valores de higroscopicidade podem variar de acordo com o tipo de alimento desidratado. Em frutas, a higroscopicidade é mais elevada uma vez que é uma propriedade na qual está relacionada com presença de substâncias amorfas, como açúcares. Zotarelli (2014) obteve 25,01% de higroscopicidade para manga em pó obtida pelo processo de liofilização. Neste trabalho, o pó de ovo de codorna apresentou higroscopicidade mais baixa

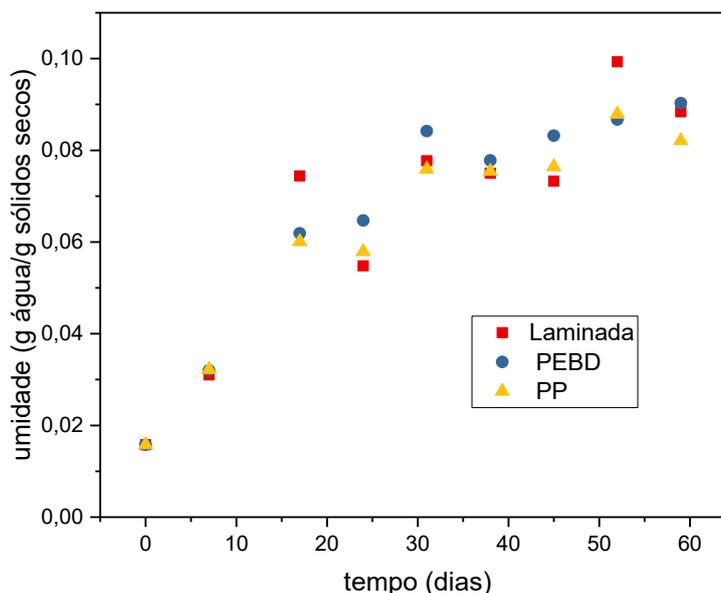
(Tabela 3) do que encontrada em frutas, provavelmente devido ao alto teor proteico e lipídico. O pó embalado em polipropileno apresentou menor higroscopicidade que os demais, o que demonstrou a baixa permeabilidade ao vapor d'água deste material e sua eficiência barreira contribuindo para a maior estabilidade do pó.

## 4.2 Avaliações físico-químicas do ovo de codorna desidratado durante o armazenamento

### 4.2.1 Umidade inicial

Na Figura 6 estão apresentados os resultados da umidade do ovo de codorna desidratado e acondicionado nos três tipos de materiais de embalagem durante 59 dias de armazenamento. Pode se observar que a umidade do ovo integral de codorna ficou na faixa entre 0,0158 a 0,099 g H<sub>2</sub>O/g sólidos secos.

Figura 6-Umidade do ovo de codorna liofilizado e acondicionado nos diferentes materiais de embalagem a condição de UR=80% e 25°C



Pode-se verificar pela Figura 6 que a umidade aumentou concomitantemente ao tempo de armazenamento e com 17 dias armazenamento o ovo de codorna integral liofilizado apresentou maior umidade quando acondicionado no material polimérico constituído por laminação de polietileno.

No início do armazenamento, a quantidade de embalagens dentro do sistema fechado era maior, com conseqüente proximidade e contato mais direto entre as embalagens. No decorrer do armazenamento, devido à amostragem destrutiva para as análises houve a redução

de embalagens dentro do sistema e maior contato das mesmas com o ambiente, o que pode ter interferido no ganho de umidade. Outro fator que pode influenciar no processo é a selagem das embalagens. A embalagem laminada de polietileno não foi selada como as de PEBD e PP devido à limitação do material (derretimento) e por isso o seu sistema de fechamento foi por colagem na própria embalagem.

Como esperado, o valor da umidade do ovo integral de codorna liofilizado aumentou com o tempo (Figura 6), visto que o mesmo foi submetido a uma elevada umidade relativa de estocagem, mesmo estando embalado. Outra justificativa para esse comportamento é a higroscopicidade típica do pó de ovo integral de codorna (ARAÚJO, 2016). No trabalho de Corrêa et al. (2002) a umidade do ovo integral de galinha após o processo de *spray drying* foi de 0,03 g H<sub>2</sub>O/g sólidos sendo mais alta que a encontrada nesse trabalho. Variações no ganho de água também podem ser relacionadas com a composição físico-química do ovo, visto que o utilizado nesse estudo é o de codorna, que se difere quanto a composição físico-química das diferentes espécies de aves e o processo de secagem utilizado.

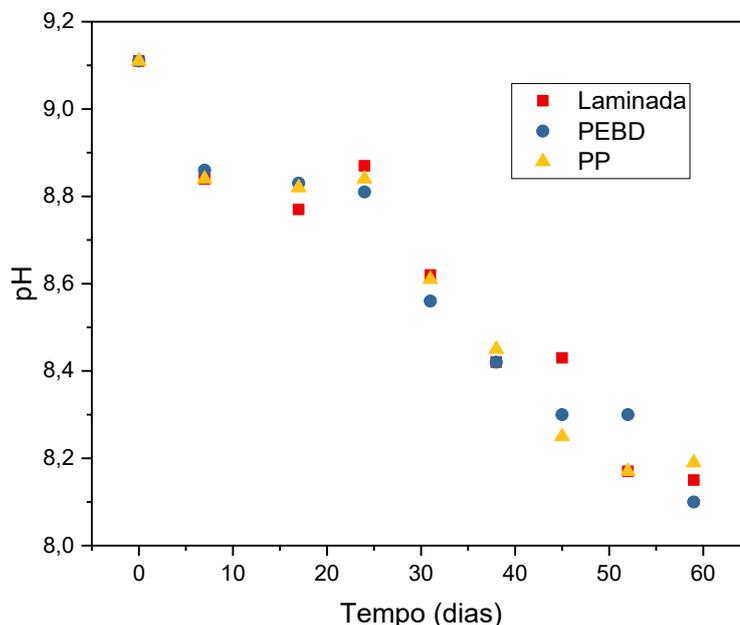
Rao, Labuza (2012) realizaram estudos com ovo de galinha seco por *spray drying*, adicionando uma concentração de glicose de 0,07% e obtiveram a umidade de 0,06 g H<sub>2</sub>O/g de sólidos. Esses autores também encontraram um aumento na umidade durante o armazenamento dos ovos de galinha com adição de glicose e verificaram que a umidade tem influência nas alterações físico-químicas (cor e dureza) do ovo hidrolisado devido a presença de açúcares. Rao, Rocca-Smith; Labuza (2013) testaram três formulações utilizando ovo de galinha seco (DEW) e ovo hidrolisado (HEW) e avaliaram a umidade inicial de acordo com as formulações, para o sistema composto apenas por HEW a umidade foi de 0,326 (b.s.); e o de (75%HEW/25%DEW) obteve 0,358 (b.s.) e a proporção de (50%HEW/50%DEW) o valor foi de 0,277 (b.s.). Nesse sentido, pode-se observar que a umidade do pó depende da composição do produto. No caso dos estudos mencionados acima, a formulação que continha maior concentração de glicose foi a que apresentou o maior umidade.

#### 4.2.2 pH

A Figura 7 apresenta o pH das amostras de ovo de codorna liofilizado durante as oito semanas de armazenamento para os três tipos de materiais de embalagens (laminada, polietileno e polipropileno).

Figura 7-pH do ovo de codorna integral desidratado acondicionado nos três tipos de embalagem

ao longo do armazenamento a UR%=80 e 25°C.



De acordo com Figura 7 pode-se observar que o pH do produto embalado decresce com o tempo de armazenamento. A variação desse parâmetro é devido às condições de estocagem tais como: temperatura, umidade relativa, material da embalagem e do processo pelo qual o ovo é submetido, uma vez que neste suas propriedades físico-químicas podem ser alteradas.

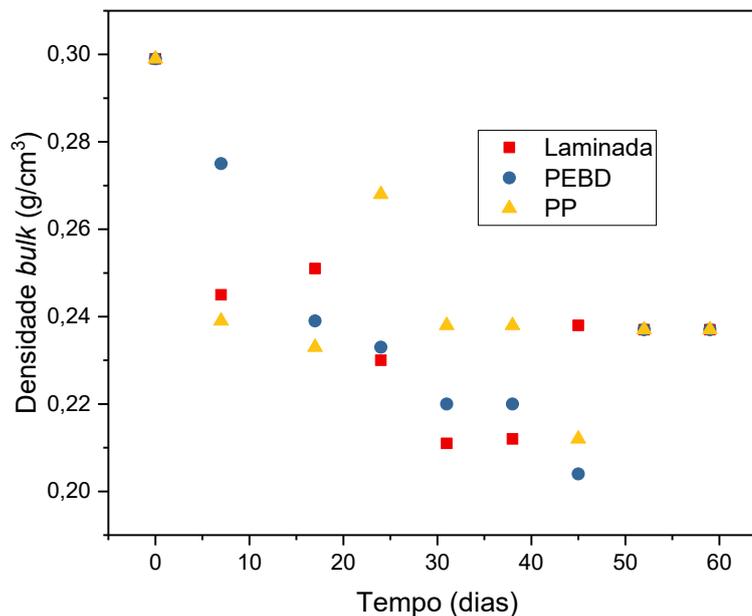
De acordo com a Resolução nº 05 de 05 de julho de 1991, que estabelece Padrão de Identidade e Qualidade para o ovo integral, o pH deste produto desidratado deve ser no mínimo 7,0, verificando que o mesmo se apresenta em conformidade.

#### 4.2.3 Densidade bulk

De acordo com Robertson (2013) a densidade *bulk* de pós relaciona-se com o processamento e embalagem. O volume de espaço livre de uma embalagem depende dessa propriedade, alimentos com pesos iguais e de diferentes densidades embalados em embalagens de formas semelhantes podem acarretar mudanças no volume de espaço livre.

Figura 8-Densidade do ovo de codorna desidratado acondicionado nos diferentes tipos

de materiais de embalagem a UR=80% e 25°C.

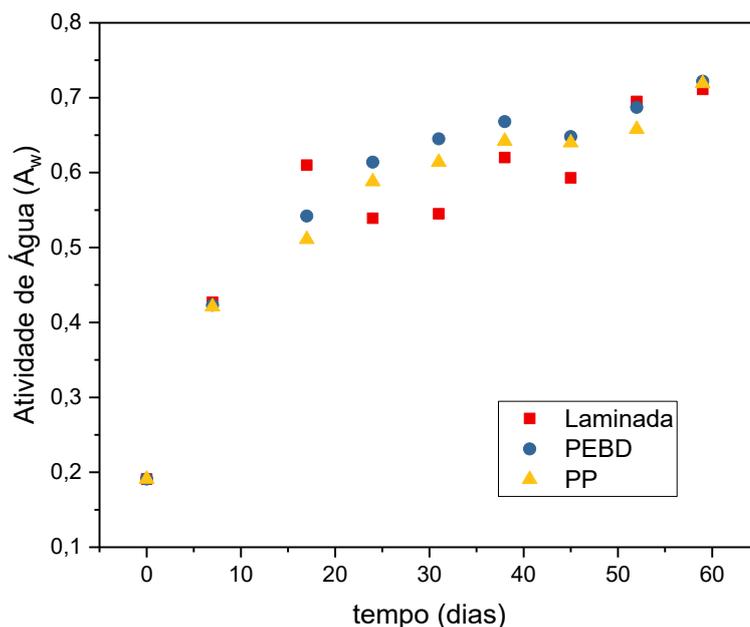


Por meio da Figura 8 pode-se verificar que a densidade *bulk* do ovo de codorna desidratado variou ao longo do tempo de armazenamento, possivelmente devido às mudanças que podem ocorrer na microestrutura desse pó decorrente de alterações na umidade das amostras. Koç et al. (2011) estudaram o armazenamento do ovo integral microencapsulado por *spray drying* em diferentes materiais de revestimento acondicionados em embalagem laminada de polietileno e verificaram que a baixa densidade é resultante da elevada umidade, bem como da distribuição e tamanho de partículas do ovo desidratado. Rannou et al. (2015) obtiveram densidades maiores para a desidratação de gemas de ovo de galinha utilizando liofilização quando comparadas com *spray drying*, pelo fato das micropartículas formadas por liofilização serem mais irregulares do que as atomizadas.

#### 4.2.4 Atividade de Água ( $a_w$ )

Na Figura 9 estão apresentados os valores da atividade de água dos pós de ovo de codorna acondicionados nos diferentes materiais de embalagem ao longo do armazenamento. Figura 9-Atividade de água do ovo de codorna desidratado e acondicionado nos três materiais

de embalagem ao longo do armazenamento a UR=80% e 25°C.



Na segunda semana de armazenamento, a embalagem laminada obteve o maior valor de atividade de água dentre as demais nesse mesmo período. Esse comportamento pode ter sido influenciado pela quantidade de embalagens estocadas no início do armazenamento, podendo influenciar na transferência de água do ambiente para o pó. Além disso, a taxa de permeabilidade ao vapor d'água e o sistema de fechamento da embalagem laminada (por colagem adesiva) pode ter contribuído para essa diferença.

Rannou et al. (2013) encontraram o valor de 0,333 para ovos de galinha após o processo de *spray drying* e Koç et al. (2011) encontram valor de 0,094 para atividade de água do ovo integral de galinha desidratado por atomização. Rao; Labuza (2012) obtiveram atividade de água de 0,38 e 0,29 para o ovo desidratado por *spray drying* e para o ovo em pó hidrolisado respectivamente. Obara; Obiedzin'ski; Kołcza (2006) realizaram a liofilização de ovo inteiro de galinha e obtiveram a atividade de água de 0,17. O valor inicial encontrado nesse estudo para o ovo de codorna foi de 0,191 que está dentro da faixa encontrada por estes autores.

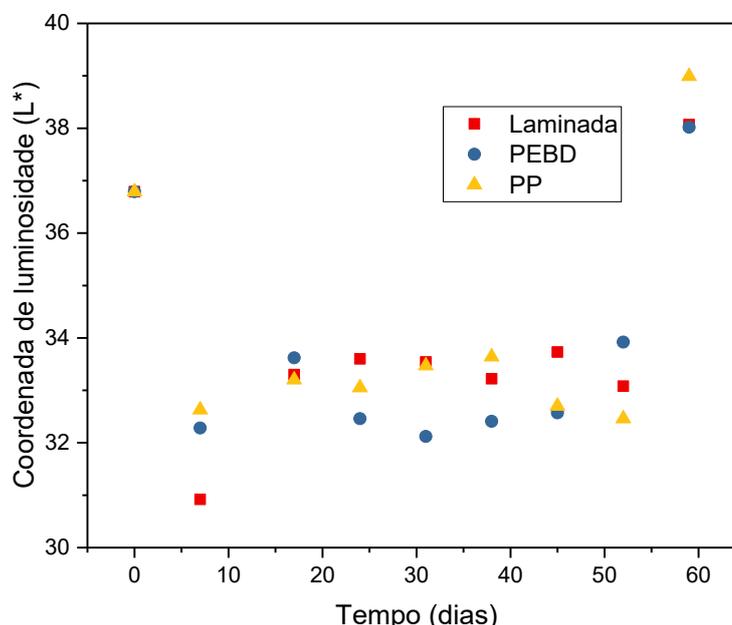
Por meio da Figura 9 foi possível observar que os valores de atividade de água do ovo de codorna em pó aumentaram em todos os tipos de embalagens ao longo do armazenamento variando de 0,19 a 0,7. Rao; Labuza (2012) também verificaram um aumento na atividade de água e na umidade para pós de ovo de galinha comerciais (com e sem hidrólise) durante o armazenamento. A faixa recomendada de  $a_w$  para estabilidade de alimentos é de 0,6 visto que a partir desta, os microrganismos podem se desenvolver. Nesse contexto, não foi observada nenhuma alteração nos pós embalados durante a estocagem uma vez que a atividade de água

ultrapassou o limite máximo estabelecido para a estabilidade dos alimentos.

#### 4.2.5 Cor

Na Figura 10 estão apresentados os valores das coordenadas de luminosidade do ovo integral de codorna acondicionados nas diferentes embalagens. O parâmetro  $L^*$  obtido fornece a tendência do produto a ser mais claro ou mais escuro a fim de identificar possíveis modificações no produto durante o armazenamento.

Figura 10 - Coordenada de Luminosidade ( $L^*$ ) do ovo de codorna desidratado acondicionado nos diferentes tipos de materiais de embalagens durante o armazenamento a UR=80% e 25°C

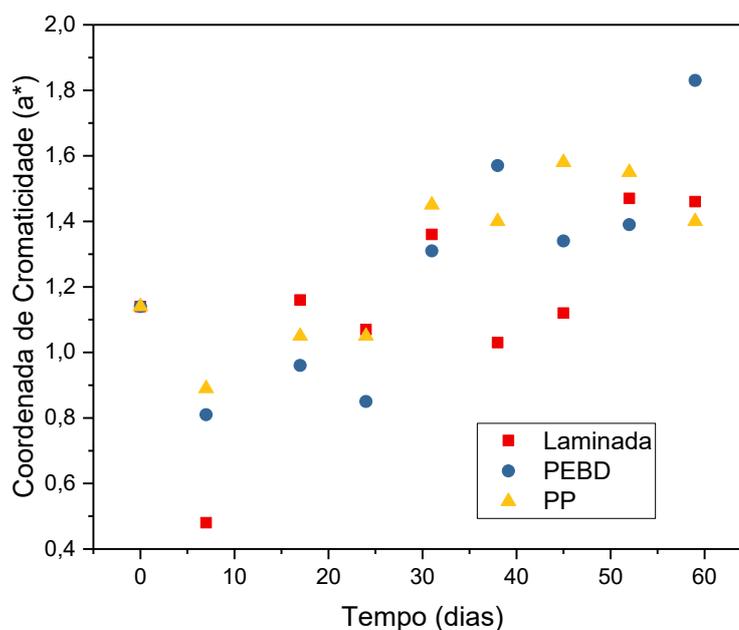


No processo de desidratação de ovos, algumas características podem ser alteradas como a diminuição do  $\beta$ -caroteno, proteínas e lipídeos, aumento dos carboidratos e cinzas, o que resulta em variações visuais na coloração do produto. A diminuição da cor é atribuída à complexação do  $\beta$ -caroteno com a  $\beta$ -ciclodextrina quando o colesterol do ovo é reduzido (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013). Rao; Labuza (2012) relataram em seus estudos que a umidade interferiu na luminosidade dos ovos desidratados por atomização e com adição de glicose, além disso, eles também observaram o desencadeamento da reação de Maillard, que influenciou na cor. Esse mesmo comportamento foi observado nesse estudo, em que a umidade do ovo de codorna desidratado aumentou e a coordenada  $L^*$  diminuiu ao longo do armazenamento, porém observou-se o aumento na luminosidade na última semana.

A coordenada de cromaticidade  $a^*$  apresentou valores positivos, o que indica a

tendência das amostras ao vermelho. Na Figura 11 está apresentada a variação da coordenada de cromaticidade  $a^*$  para as amostras de ovo de codorna em pó acondicionadas em diferentes embalagens durante 59 dias de estocagem.

Figura 11-Coordenada de cromaticidade ( $a^*$ ) do ovo de codorna acondicionado nos diferentes materiais de embalagens durante o armazenamento a UR=80% e 25°C.



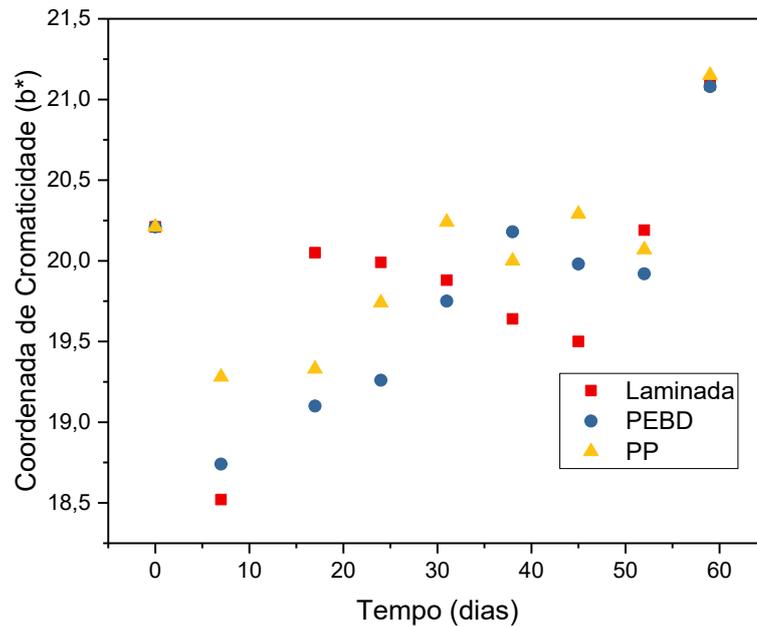
O uso de materiais laminados é indicado para produtos que tendem a apresentar alterações de cor devido à presença de luz devido à combinação de vários materiais para melhorar as propriedades de barreira (GODDARD, 2010). Nesse contexto, de forma geral, o material de embalagem não influenciou na tendência ao vermelho no ovo de codorna liofilizado.

Araújo (2016) obteve o valor de  $a^*$  de 3,2 para ovos de codorna desidratados por liofilização, superiores aos obtidos por esse estudo (0,48 a 1,83). A variação nesses resultados pode ser atribuída não necessariamente ao processo de desidratação empregado, visto que há outros fatores que são inerentes às condições de obtenção dos ovos, que podem interferir na coloração resultante, tais como: a alimentação das aves e condições de conservação dos ovos até a sua utilização.

A coordenada de cromaticidade  $b^*$  apresentou valores positivos para todas as amostras, o que representa a tendência à cor amarela, conforme apresentada pela Figura 12.

Figura 12-Coordenada de cromaticidade ( $b^*$ ) do ovo de codorna desidratado nos três tipos de

materiais de embalagem durante o armazenamento a UR=80% e 25°C

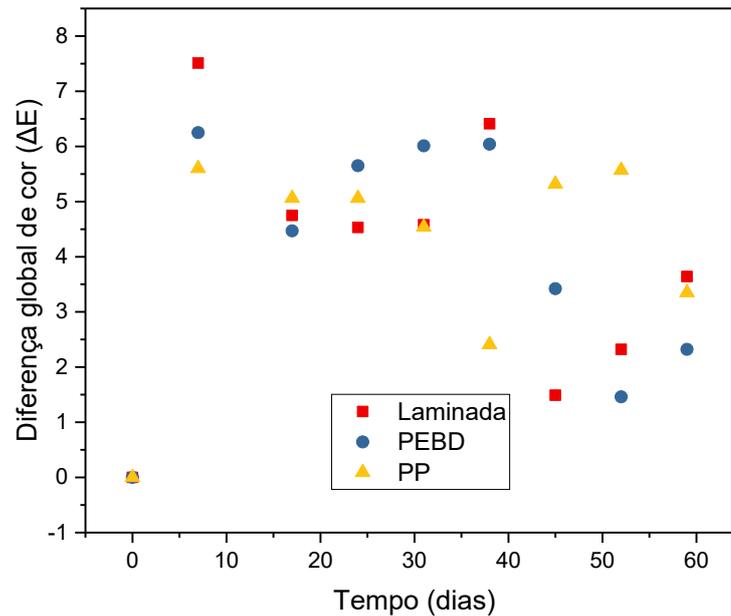


Vale ressaltar que embora as amostras sejam de ovo integral, ou seja, albúmen, de cor normalmente transparente, houve o predomínio da cor da gema, o amarelo, devido ao alto teor de carotenoides, precursores de vitamina A e que constituem o principal pigmento no ovo. Os valores encontrados para esse parâmetro no pó de ovo de codorna, nas diferentes embalagens, foram próximos ao de Araújo (2016), onde  $b^*$  foi de 21,63.

Na Figura 13 estão apresentados os valores da diferença global de cor das amostras embaladas nos diferentes materiais de embalagem.

Figura 13-- Diferença global de cor do ovo de codorna desidratado acondicionado nos três

diferentes materiais de embalagens a UR=80% e 25°C.



O  $\Delta E$  relaciona a diferença entre as coordenadas de luminosidade ( $L^*$ ) e de cromaticidade ( $a^*$  e  $b^*$ ) das amostras acondicionadas nos diferentes tempos de armazenamento em relação ao tempo inicial. Nas amostras avaliadas foi possível observar que a mudança global de cor foi considerável durante o tempo de armazenamento e que nenhum dos materiais testados para o envase do pó evitou essas alterações. Esta variação de cor no armazenamento de ovos também foi observada por Rao et al. (2012), que realizaram estudos sobre o armazenamento de ovos comerciais de galinha hidrolisado e atomizado e verificaram que a diferença global de cor aumentava concomitantemente ao aumento da atividade de água do produto durante o armazenamento. O que também ocorreu com as amostras utilizadas neste trabalho.

#### 4.3 Ajuste Matemático da Isoterma de Sorção de Umidade

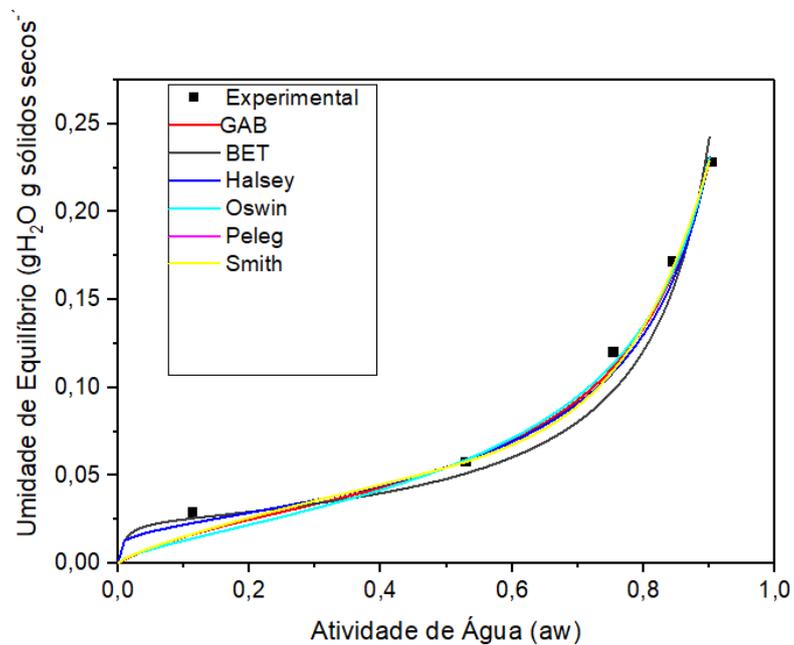
Os dados experimentais são apresentados na (Tabela 4) com as atividades de água fornecidas pelas respectivas soluções salinas saturadas.

Tabela 4- Dados de equilíbrio da isoterma de sorção

Solução Salina Saturada	Umidade de Equilíbrio	$a_w$
BaCl <sub>2</sub>	0,2288	0,902
KCl	0,1721	0,843
NaCl	0,1204	0,753
KI	0,063	0,689
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,058	0,529
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,072	0,432
CH <sub>3</sub> COOK	0,0026	0,226
LiCl	0,0292	0,113

Com os dados experimentais de equilíbrio e sua respectiva atividade de água foi plotado um gráfico e obtida a isoterma de sorção de umidade do ovo integral de codorna liofilizado. Na Figura 14 estão apresentadas as curvas dos modelos matemáticos de ajuste para os dados experimentais (Tabela 4).

Figura 14-Isoterma de sorção de umidade a 25°C



De acordo com Alexandre; Figueiredo e Queiroz (2007), o valor de K menor que 1 e o valor de C (calor de adsorção) maior do que 2 são típicos de isoterma do tipo II. Através dos dados apresentados na Figura 14 e na Tabela 5 a seguir, foi possível classificar o perfil da

isoterma do ovo integral de codorna liofilizado em tipo II. Rao, Labuza (2012) também determinou o perfil II para ovo desidratado de galinha. Moreira et al. (2013) obtiveram o comportamento da isoterma do pó da polpa de manga do tipo III, pois a  $a_w$  aumenta com a umidade de equilíbrio, que é característico de alimentos ricos em açúcares, como frutas.

Na Tabela 5 estão apresentados os modelos nos quais a isoterma de sorção de umidade do ovo de codorna desidratado foi ajustado, bem como o coeficiente de correlação e erro médio quadrático.

Tabela 5-Parâmetros dos modelos de ajuste das isotermas

T (K)	Modelos	Parâmetros								R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	RMSE	
		X <sub>m</sub>	C	K	A	B	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	n <sub>1</sub>				n <sub>2</sub>
298	GAB	0,0333	6,4699	0,953	-	-	-	-	-	-	0,9426	0,9197	0,02149
	BET	0,0227	111,6	-							0,9229	0,9210	0,02274
	Oswin	-	-		0,05456	1,537	-	-	-	-	0,9413	0,9315	0,0329
	Halsey	-	-	-	4,617	1,309					0,9307	0,9307	0,01997
	Smith	-	-	-	-0,0052	-0,2152					0,9143	0,900	0,0298
	Peleg	-	-	-			0,3206	0,0912	7,769	0,7809	0,9474	0,9079	0,02301

X<sub>m</sub> = monocamada (gH<sub>2</sub>O/g sólidos secos); C = calor total de sorção na primeira camada; K, A, B, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub> são parâmetros dos modelos

As isotermas de sorção de umidade são muito importantes, pois permitem estimar o tempo máximo de vida útil de um alimento, avaliar sua estabilidade, determinar tipo de embalagem, além de prever a  $a_w$  dos componentes da mistura (ALEXANDRE; FIGUEIREDO E QUEIROZ, 2007). Analisando a Tabela 5, pode-se observar que os dados experimentais se ajustaram melhor no modelo de GAB, visto que apresentou o maior coeficiente de correlação. Rao; Labuza (2012) realizaram a isoterma de sorção de ovos comerciais de galinha (com e sem adição de glicose) desidratados por atomização e a ajustaram no modelo de GAB. Corrêa et al. (2002) também avaliaram alguns modelos matemáticos para descrever o comportamento da atividade de água em função da umidade do ovo integral de galinha seco por *spray drying*, os quais foram: Henderson, Henderson Modificado, Chung-Pfost, Halsey, Oswin e Chen-Clayton, e o que ajustou melhor aos dados foi o de Oswin e Henderson Modificado, visto que apresentaram  $R^2$  alto e RSME baixo, sendo de 0,9941 e 0,0454 para o primeiro e 0,9933 e 0,0483 pra o outro modelo.

Os modelos de ajuste de isotermas são necessários para determinar a umidade da monocamada ( $X_m$ ), indicando a quantidade de água que está fortemente adsorvida em locais específicos do alimento fazendo com que este esteja no seu estado mais estável. Abaixo desse valor, ocorre maior taxa de oxidação de gorduras e acima acarreta reações de Maillard bem como a estimulação das atividades enzimáticas e microbiológicas. O valor de  $X_m$  para o ovo de codorna desidratado obtido pelo modelo de GAB foi 0,033 g  $H_2O/g$  sólidos secos o qual foi maior que o estimado pelo BET 0,022 g  $H_2O/g$  sólidos secos. Moreira et al. (2013) também encontraram o valor da monocamada pelo modelo de GAB superior a obtida por BET para polpa de manga desidratada por liofilização. Para Rao, Labuza (2012) o valor encontrado para a monocamada foi de aproximadamente 0,06 g  $H_2O/g$  sólidos secos para ambos os ovos atomizados com e sem adição de glicose. A diferença dos valores de monocamada pode ser justificada pelas características físico-químicas serem diferentes entre o ovo de codorna e o de galinha.

Nesse trabalho foi observado que  $n_1$  foi maior que 1 e  $n_2$  foi menor que 1 no modelo de Peleg, essas características desses parâmetros também foram encontradas por Alexandre; Figueiredo e Queiroz (2007) para pitanga em pó. Na literatura, os modelos de Halsey, Peleg, Smith e Oswin são modelos empíricos e não há uma abordagem sobre o significado fenomenológico dos parâmetros desses modelos, apenas o comportamento das curvas de isoterma. Além de não serem tão utilizados como os modelos de BET e GAB.

#### 4.4 Permeabilidade ao vapor d'água das embalagens

A Tabela 6 apresenta a permeabilidade (K) e a taxa de permeabilidade ao vapor d'água dos diferentes materiais de embalagens.

Tabela 6-Permeabilidade ao vapor d'água das embalagens (UR=75%; T=25°C)

<b>Tipo de Material</b>	<b>Espessura (µm)</b>	<b>K (g/h)</b>	<b>TPVA (g.µm/m<sup>2</sup>.h.Pa)</b>
Laminada	46,16	0,00009	2,50x10 <sup>-6</sup>
PEBD	70	0,0004	1,89x10 <sup>-5</sup>
PP	63	0,0004	1,70x10 <sup>-5</sup>

Por meio dos dados apresentados na Tabela 6, pode-se verificar que a permeabilidade foi a mesma encontrada para embalagens constituídas de polietileno e polipropileno. No entanto, a taxa de permeabilidade ao vapor de água do polipropileno foi inferior, visto que a TPVA é uma propriedade que depende da espessura do material e está relacionada com a solubilidade da água na matriz polimérica. Para produtos desidratados, são utilizadas embalagens que possuem boa barreira contra umidade, como polietileno de baixa densidade ou sopradas e biorientadas, como o polipropileno (FABRIS, FREIRE; REYE, 2007). Alves, Bordin (1998) obtiveram TPVA na condição de (30°C/80%UR) para o PEBD de 6,1 g água/m<sup>2</sup>/dia e para embalagem constituída por polipropileno biorientado de 1,2 água/m<sup>2</sup>/dia. Os materiais das embalagem utilizadas nesse trabalho forneceram TPVA baixos comparado com os apresentados na literatura e pode estar associada a umidade relativa que o mesmo é submetido para verificar a sua permeabilidade ao vapor de água, temperatura e composição polimérica da embalagem.

Loureiro et al. (2013) realizaram estudos sobre a influência da embalagem laminada e polietileno nas propriedades físico-químicas do buriti desidratado durante o armazenamento e verificaram que a embalagem laminada foi mais efetiva na estabilidade desse produto, nos parâmetros de umidade e acidez total titulável. Dentre os materiais avaliados, o que manteve o melhor desempenho das características do ovo de codorna desidratado foi o polipropileno, devido as poucas alterações das propriedades físico-químicas do ovo de codorna em pó e que possivelmente pode estar associado a TPVA da embalagem.

O ovo de codorna em pó possui a característica de ser higroscópico, em decorrência disso, para manter suas propriedades, é necessário que o material polimérico de embalagem tenha baixa permeabilidade ao vapor de água. Nesse estudo observou-se que a higroscopicidade do ovo de codorna foi reduzida em relação ao pó que não foi acondicionado em nenhum material.

Esse comportamento era esperado, pois a embalagem constituiu uma barreira contra o ganho de umidade.

## 5 CONCLUSÃO

O ovo de codorna submetido ao processo de liofilização gerou um novo produto em pó, visto que são referenciados trabalhos apenas com o ovo de codorna em conserva ou *in natura*.

O ovo de codorna em pó não possui padrão de qualidade estabelecido, no entanto, apresentou características físico-químicas dentro do padrão previsto para ovos desidratados de galinha.

O comportamento do pó durante o armazenamento nas condições de UR de 80% e temperatura de 25°C sofreu variações no ganho de água (onde houve aumento do teor de umidade e da atividade de água), enquanto o pH diminuiu no produto acondicionado nos três materiais de embalagem no decorrer do tempo de armazenamento. Este comportamento está associado à permeabilidade ao vapor d'água das embalagens e à higroscopicidade desse produto.

Com o ganho de água, houve uma possível mudança na microestrutura do pó que acarretou variação na densidade *bulk* durante o período de estocagem. Além disso, os materiais poliméricos usados na embalagem não evitaram as alterações dos parâmetros de cor dos pós de ovo integral de codorna durante o armazenamento.

As embalagens avaliadas neste trabalho são comumente utilizadas para o acondicionamento de condimentos desidratados e são de baixo custo. No entanto, o ovo de codorna em pó se mostrou mais susceptível às alterações físico-químicas devido ao ganho de umidade do que outros alimentos desidratados, o que demanda um investimento maior na escolha de uma embalagem que proporcione maior estabilidade ao pó. Assim, sugere-se a investigação da estabilidade do ovo de codorna em pó em materiais de embalagem com maior barreira ao vapor de água, como o vidro, ou mesmo a aplicação de embalagens poliméricas multicamadas com misturas de materiais mais apropriados.

A isoterma do ovo integral de codorna desidratado foi classificada em tipo II de acordo com o seu perfil e o modelo que se ajustou melhor foi o de GAB. De acordo com esse modelo, a umidade que esse alimento é mais estável é de 0,03 g H<sub>2</sub>O/ g sólidos secos.

As variações nas propriedades físico-químicas do ovo de codorna em pó não comprometeram a estabilidade do produto durante os 59 dias de armazenamento, visto que não foi observado formação de aglomerados, grumos ou percepção visual de deterioração. O pó obtido tem potencial para a utilização na elaboração de outros produtos dentro da indústria de alimentos tais como maioneses, produtos de panificação e produção de massas. Para tal, sugere-se que mais estudos sejam realizados no sentido de averiguar a estabilidade durante um período

maior e também quanto à reidratação do pó, entre outras propriedades funcionais para viabilizar sua utilização.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. P. L.; SOUZA, F. C. A. Dehydration and Spraying of Buriti Pulp (*Mauritia flexuosa* L.): Shelf-life evaluation, **Rev. Bras. Frutic.** v.39, n.34, 2017.

ALEXANDRE, H. V; FIGUEIRÊDO, R. M; QUEIROZ, A J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de biologia e ciências da terra**, v.7, n.1, p.11-20, 2007. Disponível em: <<http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/isotermasdeadsorcao-51817dd3b4868.pdf>> Acesso em: 01 dez. 2017.

ALVES, R. M. V.; BORDIN, M. R., GARCIA, E. E. C. Aplicação de um modelo matemático na estimativa da vida de prateleira de biscoitos "cream cracker". **Coletânea do ITAL**. Campinas, v.26, n.1, p.89-101, 1996.

ALVES, R. M.V; BORDIN, M. R. **Estimativa da vida útil de café solúvel por modelo matemático**. Ciênc. Tecnol. Aliment. v. 18. n.1 Campinas, 1998.

ARAÚJO, L.R. **Obtenção de ovo integral de codorna desidratado por liofilização e atomização**. 2016.50 f. Trabalho de conclusão de curso graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Coordenação Geral de Inspeção de Produtos de Origem Animal Resolução nº 005 de 05 de Julho de 1991. **Padrão de Identidade e Qualidade para o Ovo Integral**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.iberpharm.com.br/arquivos/RES05-05-07-1991.pdf>> Acesso em: 25 set. 2017.

CARLOS, L. A., RESENDE, J. V., CAL-VIDAL, J. Redução da Higroscopicidade de Pós Liofilizados pela Indução da Cristalização em Soluções-Modelo de Açúcares Constituintes de Frutas. **Brazilian Journal of Foods Technology**. v. 8, n. 2, p. 163-173, 2005.

CORREA, A. R; QUICAZÁN, M. C; HERNANDEZ, C. E. Modelling the Shelf-life of Apple Products According to their Water Activity. **Chemical Engineering Transactions**,v. 43, p. 199-204, 2015.

CORRÊA, P.C; JÚNIOR, P.C.A; STRINGHETA, J.B.C. Equilíbrio higroscópico e atividade de água para ovo integral processado em "spray dryer". **Rev. Bras. Prod. Agro**, v.4, n.1, p.15-22, Campina Grande, 2002.

FABRIS, S; FREIRE, M.T.A; REYES,F.F.G, R. Embalagens plásticas: tipos de materiais, contaminação de alimentos e aspectos de legislação. **Rev. Bras Toxic** v.19, n.2, p. 59-70, (2007).

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

GODDARD, D. T. R. **Materiais para Embalagens**. São Paulo, 2 ed. Blucher, 2010, p.171, v.3.

GREENSPAN, L. Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. **Journal of**

**Research of the National Bureau of Standards.** A Physics and Chemistry, v. 81, n. 1. 1997.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz:** métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 25-26. v. 1

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Pecuária Municipal.** Brasil, 2015. v.43

KOÇ, M; KOÇ, B; YILMAZER, M. S; ERTEKIN, F. K; SUSYAL, G; BAGDATHOGLU, N. Physicochemical Characterization of Whole Egg Powder Microencapsulated by Spray Drying. **Drying Technology.** v. 29, p.780–788, 2011.

LOUREIRO, M.N; FIQUEIRÊDO, M.F; MELO-QUEIROZ, J; OLIVEIRA, E.N.A. Armazenamento de buriti em pó: Efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Biosci.J.,** Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1092-1100, 2013.

MOREIRA, T.B; ROCHA, E. M. F. F; AFONSO, M. R. A; COSTA, J. M. Comportamento das isotermas do pó da polpa de manga liofilizada. **Rev. Bras Eng Ambient,** v.17, n.10, p.1003-1098, 2013.

OBARA, A; OBIEDZINSKI, M; KOŁCZAK, T. The effect of water activity on cholesterol oxidation in spray- and freeze-dried egg powders. **Food Chemistry.** v. 95, p. 173–179, 2006. OLIVEIRA, B. L; OLIVEIRA, D. D. **Qualidade e tecnologia de ovos.** Lavras, MG: Ed UFLA, 2013. 224 p.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos:** alimentos de origem animal. Porto Alegre: Artmed, 2005. 279p. v. 2.

ORDÓÑEZ, Juan A. **Tecnologia de alimentos:** componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p. v. 1.

RAHMAN, S. **Food properties Handbook.** Boca Roton: CRC Press, 2008 Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=DACd4Mi9K-AC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=DACd4Mi9K-AC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)> Acesso em: 19 set. 2017

RANNOU, C., QUEVEAU D., BEAUMAL V., DAVID-BRIAND E, BORGNE C., MEYNIER, C., ANTON M., PROST C., SCHUCK P., LOISEL, C. Effect of spray-drying and storage conditions on the physical and functional properties of standard and n<sub>3</sub> enriched egg yolk powders. **Journal of Food Engineering.** 2015.

RANNOU, C.; TEXIER, F.; MOREAU, M.; COURCOUX, P.; MEYNIER, A.; PROST, C. Odour quality of spray-dried hens' egg powders: the influence of composition, processing and storage conditions. **Food Chemistry,** v.138, p.905-914, 2013.

RAO, Q; LABUZA, T.P. Effect of moisture content on selected physicochemical properties of two commercial hen egg white powders. **Food Chemistry,** v.132, p. 373–384, 2012.

RAO, Q; ROCCA-SMITH; LABUZA, T.P. Storage stability of hen egg white powders in three protein/water dough model systemst. **Food Chemistry,** v.13, p. 1087–1094, 2013.

RAO, R., ROCCA-SMITH, J., SCHOENFUSS, T.C., LABUZA, T.P. Accelerated shelf-life testing of quality loss for a commercial hydrolysed hen egg white powder. **Food Chemistry**, v.135, p. 464–472, 2012.

ROBERTSON, G.L. **Food Packaging: Principles and Practice**. CRC press, 2015, 685p.

SANTOS, D. C; OLIVEIRA, E. N.A; MOTA, J. K. M; DANTAS, R.T; PEIXOTO, T. P. N. Características físicas e químicas de ovos comerciais de codornas das linhagens japonesa e americana. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, v. 9, n. 3, p. 299-306, 2011.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V.; GARCIA, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 2002. 267 p.

SOUZA, D.B. **Valorização da Cadeia Produtiva de Ovos: Avaliação da Qualidade de Ovos Tipo Caipira e de Granja no Interior de Minas Gerais**. 2016.57 f. Trabalho de conclusão de curso graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2016.

ZOTARELLI, M.F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) -Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis,SC, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/123212/326560.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 20 set. 2017.

