



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos



CAMILA ALVES MOREIRA

**OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE OVO DE CODORNA EM
PÓ NA PRODUÇÃO DE BOLO PÃO DE LÓ**

Patos de Minas – MG

2021

CAMILA ALVES MOREIRA

**OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE OVO DE CODORNA EM
PÓ NA PRODUÇÃO DE BOLO PÃO DE LÓ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Marieli de Lima.

Coorientadora: Prof^ª. Marta Fernanda Zotarelli

Patos de Minas – MG

2021

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M838	Moreira, Camila Alves, 1996-
2021	OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE OVO DE CODORNA EM PÓ NA PRODUÇÃO DE BOLO PÃO DE LÓ [recurso eletrônico] / Camila Alves Moreira. - 2021. Orientadora: Marieli de Lima. Coorientadora: Marta Fernanda Zotarelli. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.461 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações. 1. Alimentos - Indústria. I. Lima, Marieli de, 1985-, (Orient.). II. Zotarelli, Marta Fernanda, 1985-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

CDU: 664

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos de Minas

Av. Getúlio Vargas, 230 - Bairro Centro, Patos de Minas-MG, CEP 38700-103
 Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 07/2021 - PPGEA				
Data:	Três de setembro de dois mil e vinte e um	Hora de início:	07:00	Hora de encerramento:	09:49
Matrícula do Discente:	41912EAL001				
Nome do Discente:	Camila Alves Moreira				
Título do Trabalho:	Obtenção, caracterização e aplicação de ovo de codorna em pó na produção de bolo pão de ló				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP - MConf) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Marieli de Lima (Presidente - FEQUI/UFU), Angelise Durigon (UFS) e Neiton Carlos da Silva (UFU).

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa apresentou a Comissão Examinadora e a discente, agradeceu a participação do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da mesma se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, a senhora presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir a discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão secreta, atribuiu o conceito final, considerando a discente:

Aprovada.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme será assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Angelise Durigon, Usuário Externo**, em 03/09/2021, às 09:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Presidente**, em 03/09/2021, às 09:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Neiton Carlos da Silva, Membro de Comissão**, em 03/09/2021, às 09:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3002848** e o código CRC **E82E63AF**.

Dedico este trabalho aos meus amados pais,
Célio e Sandra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de concluir mais uma etapa tão importante na minha vida e por me manter sempre firme em meus objetivos.

Agradeço de forma especial aos meus pais, Célio e Sandra, que sempre fizeram todo o esforço possível para me auxiliar nos momentos de dificuldades e cansaço, dando todo o amor e incentivo.

Ao meu irmão, Renato, ao meu namorado, Wesley, e a todos os meus familiares e demais pessoas queridas que fazem parte da minha vida, que acreditaram em mim e torceram pelo meu sucesso.

Às minhas colegas de mestrado, que foram minhas companheiras durante esta jornada, especialmente àquelas que compartilharam comigo dias de muita correria nos laboratórios, estando sempre dispostas a ajudar no que fosse preciso, especialmente, Pamella, Jaqueline e Izamara.

Aos meus professores, de modo geral, pela dedicação e pelo carinho de sempre.

Às professoras que estiveram na coordenação dos laboratórios didáticos do curso de Engenharia de Alimentos durante este período, Michelle Andriati Sentanin e Carla Zanella Guidini, por tanto empenho e prontidão em atender às minhas demandas e dos demais alunos.

Aos técnicos dos laboratórios, pelo carinho e pela grande contribuição na realização deste trabalho. Sem eles tudo seria muito mais difícil.

Aos membros da UFU de Uberlândia, que não mediram esforços em me auxiliar em análises que não poderiam ser realizadas em nosso campus.

À minha orientadora, Marieli de Lima, que foi mais que um suporte, uma verdadeira amiga, e esteve sempre disposta a atender às minhas demandas com muita dedicação e empenho, e durante esta jornada, me auxiliou e amparou em todos os momentos de dificuldades.

À professora Marta Fernanda Zotarelli, minha coorientadora, por tanto carinho e dedicação na contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

À banca examinadora, Neiton e Angelise, por aceitarem o convite e contribuírem de forma tão significativa para o engrandecimento do meu trabalho.

A todos, muito obrigada!

“Se quiser triunfar na vida, faça da perseverança a sua melhor amiga; da experiência, o seu conselheiro; da prudência, o seu irmão mais velho; e da esperança, o seu anjo da guarda”.

Joseph Addison

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS.....	3
<u>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	<u>6</u>
1.1 Ovo.....	6
1.2 CODORNAS.....	6
1.2.1 OVO DE CODORNA.....	8
1.3 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO OVO.....	10
1.4 PROCESSAMENTO DE OVOS	11
1.5 SECAGEM DE OVOS PARA PRODUÇÃO DE PÓ	14
1.5.1 MÉTODOS DE SECAGEM	15
1.5.1.1 Estufa com circulação forçada de ar	15
1.5.1.2 Liofilização	17
1.5.1.3 Secagem em leito de espuma (<i>foam-mat drying</i>).....	19
1.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE OVOS EM PÓ.....	21
1.6.1 UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA (AW)	21
1.6.2 PH.....	21
1.6.3 COR	22
1.6.4 MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS	22
1.6.5 DENSIDADE <i>BULK</i>	22
1.6.6 HIGROSCOPICIDADE	23
1.6.7 CAPACIDADE DE REIDRATAÇÃO	23
1.7 BOLOS.....	24
1.7.1 BOLO PÃO DE LÓ	24
1.7.1.1 Funcionalidades dos principais ingredientes do bolo pão de ló.....	25
<u>2 CARACTERIZAÇÃO DE OVOS DE CODORNA EM PÓ PRODUZIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM</u>	<u>38</u>

2.1	INTRODUÇÃO	38
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	40
2.2.1	OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	40
2.2.2	PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA	40
2.2.2.1	Umidade do ovo líquido pasteurizado	40
2.2.3	PREPARO DA ESPUMA	41
2.2.3.1	Testes preliminares referentes à produção de espuma	41
2.2.4	SECAGEM DO OVO DE CODORNA PARA PRODUÇÃO DE PÓ	42
2.2.4.1	Secagem em estufa com circulação forçada de ar (secagem convectiva)	43
2.2.4.1.1	Testes preliminares referentes à secagem convectiva	44
2.2.4.2	Liofilização	44
2.2.4.2.1	Testes preliminares	45
2.2.5	DEFRAGMENTAÇÃO DOS OVOS SECOS	46
2.2.6	CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS DE OVOS DE CODORNA	46
2.2.6.1	Umidade	47
2.2.6.2	Atividade de água	47
2.2.6.3	Cor	47
2.2.6.4	Morfologia das partículas por microscopia eletrônica de varredura (MEV)	47
2.2.6.5	Densidade <i>bulk</i> inicial e densidade <i>bulk</i> empacotada	47
2.2.6.6	Higroscopicidade	48
2.2.6.7	Análises referentes às etapas de reidratação dos pós	48
2.2.6.7.1	Dispersão e dissolução em água	48
2.2.6.7.2	Molhabilidade (tempo de molhamento)	49
2.2.6.7.3	Tempo de reidratação	49
2.2.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	49
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
2.3.1	UMIDADE DO OVO LÍQUIDO PASTEURIZADO	50
2.3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS	50
2.3.2.1	Correlação de Pearson	50
2.3.2.2	Umidade e atividade de água	51
2.3.2.3	Cor instrumental	52
2.3.2.4	Morfologia das partículas por MEV	55
2.3.2.5	Densidade <i>bulk</i> e densidade <i>bulk</i> empacotada	56

2.3.2.6	Higroscopicidade	58
2.3.2.7	Análises referentes às etapas de reidratação dos pós	59
2.4	CONCLUSÃO.....	63

3 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DE OVOS DE CODORNA EM PÓ OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM E APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE BOLO PÃO DE LÓ..... 71

3.1	INTRODUÇÃO	71
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	73
3.2.1	RECONSTITUIÇÃO DOS OVOS EM PÓ (REIDRATAÇÃO)	73
3.2.1.1	pH do ovo líquido pasteurizado e dos ovos em pó reconstituídos	74
3.2.1.2	Cor instrumental do ovo líquido pasteurizado e dos ovos em pó reconstituídos.....	74
3.2.1.3	Propriedades funcionais	74
3.2.1.3.1	Capacidade espumante e estabilidade da espuma.....	74
3.2.1.3.2	Textura instrumental e capacidade de retenção de água (CRA) dos géis	75
3.2.1.3.3	Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão	76
3.2.2	PRODUÇÃO DE BOLOS PÃO DE LÓ	76
3.2.2.1	Caracterização das massas	78
3.2.2.1.1	Umidade.....	78
3.2.2.1.2	Gravidade específica das massas	78
3.2.2.1.3	Viscosidade aparente das massas.....	78
3.2.2.2	Avaliação dos bolos	79
3.2.2.2.1	Peso final e perda de água.....	79
3.2.2.2.2	Volume.....	79
3.2.2.2.3	Cor instrumental	79
3.2.2.2.4	Umidade.....	79
3.2.2.2.5	Textura instrumental	80
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	80
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
3.4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS OVOS DE CODORNA EM PÓ RECONSTITUÍDOS... 80	
3.4.1.1	pH.....	80
3.4.1.2	Cor instrumental	82
3.4.2	PROPRIEDADES FUNCIONAIS	83

3.4.2.1	Capacidade espumante e estabilidade da espuma.....	83
3.4.2.2	Capacidade gelificante e capacidade de retenção de água (CRA) dos géis.....	86
3.4.2.3	Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão	89
3.4.3	PRODUÇÃO DE BOLOS PÃO DE LÓ	93
3.4.3.1	Correlação de Pearson entre gravidade específica, viscosidade e perda de água das massas, volume e propriedades de textura dos bolos	93
3.4.3.2	Gravidade específica das massas	95
3.4.3.3	Viscosidade das massas	96
3.4.4	AVALIAÇÃO DOS BOLOS.....	98
3.4.4.1	Peso final dos bolos e perda de água	98
3.4.4.2	Volume e volume específico.....	100
3.4.4.3	Cor instrumental	102
3.4.4.4	Umidade.....	105
3.4.4.5	Textura instrumental e estrutura interna dos bolos.....	106
3.5	CONCLUSÃO.....	108
4	<u>CONCLUSÃO GERAL.....</u>	<u>110</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Codorna japonesa.	7
Figura 1.2 – Criação de codornas.	8
Figura 1.3 – Ovos de codorna e galinha.	9
Figura 1.4 – Danos encontrados em ovos de codorna comerciais.	13
Figura 1.5 – Estufa com circulação forçada de ar (escala laboratorial).	16
Figura 1.6 – Liofilizador de bancada (escala laboratorial).	18
Figura 2.1 – Clara em neve preparada com adição de 0,3% de goma xantana (A) e espuma final, com adição da gema (B).	41
Figura 2.2 – Fluxograma dos processos de preparo da matéria-prima e secagem.	43
Figura 2.3 – Ovo na forma líquida, antes e após a secagem convectiva.	44
Figura 2.4 – Ovo em forma de espuma, antes e após a secagem convectiva.	44
Figura 2.5 – Ovo na forma líquida, antes e após a liofilização.	45
Figura 2.6 – Ovo em forma de espuma, antes (congelado) e após a liofilização.	45
Figura 2.7 – Tubo de vidro utilizado para liofilização de espuma.	46
Figura 2.8 – Aparato de acrílico para análise de molhabilidade.	49
Figura 2.9 – Ovos de codorna em pó obtidos pelos diferentes métodos de secagem.	53
Figura 2.10 – Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos ovos de codorna em pó.	55
Figura 2.11 – Análise qualitativa de dispersão e dissolução dos ovos de codorna em pó em água.	62
Figura 3.1 – Forno elétrico de bancada.	77
Figura 3.2 – Géis produzidos com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos.	87
Figura 3.3 – Imagens das emulsões preparadas com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos (objetiva de 10×).	90
Figura 3.4 – Emulsões preparadas com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos.	91
Figura 3.5 - Relação entre capacidade espumante dos ovos de codorna e gravidade específica das massas.	95
Figura 3.6- Aspectos visuais de massas recém-produzidas, preparadas com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos.	98

Figura 3.7 – Relação entre CRA dos géis produzidos com os diferentes tipos de ovos e perda de água das massas.	99
Figura 3.8 – Bolos produzidos com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reidratados.	101
Figura 3.9 – Fotografias superiores dos bolos para avaliação visual das cores das crostas. .	103
Figura 3.10 – Imagens das estruturas internas dos bolos.	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Correlação de Pearson.	51
Tabela 2.2 – Valores de umidade dos ovos de codorna em pó.....	51
Tabela 2.3 – Resultados das análises de cor dos ovos de codorna em pó.	53
Tabela 2.4 – Densidade <i>bulk</i> dos ovos de codorna em pó.....	56
Tabela 2.5 – Higroscopicidade dos ovos de codorna em pó.	58
Tabela 2.6 – Análises referentes às etapas de reidratação dos ovos de codorna em pó.	60
Tabela 3.1 – pH do ovo de codorna líquido pasteurizado e dos ovos de codorna em pó após reconstituição.....	81
Tabela 3.2 – Resultados referentes às análises de cor do ovo de codorna líquido pasteurizado e dos ovos de codorna em pó reconstituídos.	82
Tabela 3.3 – Capacidade espumante e estabilidade da espuma.....	84
Tabela 3.4 – Capacidade gelificante (força dos géis) e capacidade de retenção de água (CRA) dos géis.	86
Tabela 3.5 – Resultados referentes às análises de estabilidade das emulsões.....	90
Tabela 3.6 - Correlação de Pearson.	94
Tabela 3.7 – Resultados referentes às análises de gravidade específica das massas de bolo...95	95
Tabela 3.8 – Resultados referentes às análises de viscosidade das massas.	97
Tabela 3.9 – Peso final dos bolos e variação em relação à massa crua (perda de água).	98
Tabela 3.10 – Volumes dos bolos assados.	100
Tabela 3.11 - Resultados referentes às análises de cor dos miolos dos bolos.	103
Tabela 3.12 – Resultados referentes às análises de textura dos bolos.	106

RESUMO

O ovo de codorna é um alimento muito nutritivo e ainda pouco explorado pela indústria de alimentos. Apesar do crescimento na produção brasileira, o consumo do ovo de codorna ainda é significativamente inferior ao do ovo de galinha. A secagem do ovo de codorna pode ser uma alternativa para o estímulo à sua produção e ao seu consumo, visto a maior viabilidade no transporte, armazenamento e aplicação do ovo em pó como ingrediente. Este trabalho consiste na obtenção de ovo de codorna em pó por diferentes métodos de secagem, além da caracterização e aplicação dos pós na produção de bolo pão de ló. Foram utilizados os métodos de liofilização, convencional e em leito de espuma, e secagem em estufa com circulação forçada de ar, convencional (70 °C por 5,5 horas) e em leito de espuma (70 °C por 3,5 horas). Os pós obtidos foram caracterizados em relação à cor, umidade, atividade de água, densidade *bulk*, higroscopicidade, propriedades morfológicas e de reidratação. Posteriormente, os ovos em pó foram reidratados e analisados em relação à cor, pH e propriedades funcionais (gelificante, espumante e emulsificante) e utilizados como ingredientes na produção de bolos pão de ló. As massas foram avaliadas em relação à umidade, gravidade específica e viscosidade, enquanto os bolos foram avaliados em relação à umidade, peso, volume, cor, textura e estrutura. Os resultados apontaram para maior aplicabilidade do ovo liofilizado de forma convencional (L-LIOF) em relação aos demais pós, tanto pelas propriedades físico-químicas apresentadas e boa capacidade de reidratação, quanto pelo seu bom desempenho na produção de bolo pão de ló. A secagem em forma de espuma se mostrou compensativa apenas para os ovos produzidos por secagem em estufa, visto que otimizou a capacidade de reidratação e capacidade espumante, por exemplo, promovendo melhores características aos bolos, porém, com desempenho significativamente inferior em comparação aos ovos liofilizados. O ovo liofilizado em forma de espuma (E-LIOF) resultou em bolos mais duros e menos volumosos que os bolos produzidos com ovo L-LIOF, especialmente devido à menor capacidade espumante. Embora o ovo líquido pasteurizado tenha conferido propriedades mais desejáveis aos bolos, como maior maciez e volume, o ovo L-LIOF também apresentou potencial para produção de bolo pão de ló.

Palavras-chave: codorna, liofilização, leito de espuma, ovo em pó, bolo.

ABSTRACT

Quail egg is a very nutritive food and still little explored by the food industry. Despite the rising in Brazilian production, the consumption of quail eggs is still significantly lower than chicken eggs. The drying of quail eggs can be an alternative to stimulate its production and consumption, given the greater transporting, storing and applying viability of powdered egg as an ingredient. This work consists of obtaining powdered quail egg by different drying methods, in addition to the characterization and application of the powders in the production of sponge cake. Conventional and foam-mat freeze-drying, and conventional (70 °C for 5,5 hours) and foam-mat (70 °C for 3,5 hours) oven drying with forced air circulation were used. The powders obtained were characterized as to color, moisture, water activity, bulk density, hygroscopicity, morphological and rehydration properties. Subsequently, the powdered eggs were rehydrated and analyzed as to color, pH and functional properties (gelling, foaming and emulsifying) and used as ingredients in sponge cakes production. The doughs were evaluated for moisture, specific gravity and viscosity, while the cakes were evaluated for weight, volume, color, texture and structure. The results showed greater applicability of the conventional freeze-drying egg (L-LIOF) compared to the other powders, owing to its physicochemical properties and good rehydration capacity, as well as its good performance in the sponge cake production. Foam-mat drying proved to be compensatory just for eggs produced by oven drying, as it optimized the rehydration capacity and foaming capacity, for example, promoting better cake characteristics, but with significantly lower performance compared to freeze-dried eggs. The foam-mat freeze-dried egg (E-LIOF) resulted in harder and less bulky cakes than cakes produced with L-LIOF egg, especially due to the lower foaming capacity. Although the pasteurized liquid egg has resulted in more desirable properties to the cakes, such as greater softness and volume, the L-LIOF egg also presented potential for the sponge cake production.

Keywords: quail, freeze-drying, foam-mat, powdered egg, cake.

ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado da seguinte forma:

- Introdução.
- Capítulo 1 – *Revisão Bibliográfica*. Neste capítulo será apresentada a revisão sobre os assuntos que constituem este trabalho, incluindo a matéria-prima e suas propriedades, os processos de secagem estudados, propriedades físico-químicas, funcionais e de reidratação de ovo em pó, bem como sua aplicação na manufatura de bolos.
- Capítulo 2 – *Caracterização de ovos de codorna em pó produzidos por diferentes métodos de secagem*. Neste capítulo serão propostos diferentes métodos de secagem para a produção de ovo de codorna em pó, a fim de comparar suas características físico-químicas, morfológicas e de reidratação.
- Capítulo 3 – *Propriedades funcionais de ovos de codorna em pó obtidos por diferentes métodos de secagem e aplicação na produção de bolo pão de ló*. Neste capítulo serão avaliadas as características físico-químicas dos ovos de codorna reidratados, bem como suas propriedades espumante, emulsificante e gelificante e a influência destes pós nas características de massas de bolo pão de ló, como viscosidade e gravidade específica e nas características dos bolos assados, como peso, volume, textura, aparência de forma geral e cor.

INTRODUÇÃO

O ovo é um alimento consumido no mundo todo (LARSEN, 2019) e ocupa o segundo lugar no ranking de alimentos naturais mais completos, ficando atrás apenas do leite materno (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013). Embora a composição do ovo sempre tenha despertado a atenção no decorrer da história, nos últimos anos, houve uma ampliação na sua aplicabilidade na indústria de alimentos, em função, por exemplo, da descoberta de novas funcionalidades, tornando-o mais valorizado comercialmente (GUHA; MAJUMDER; MINE, 2018).

O ovo é utilizado como ingrediente em inúmeras formulações em função de suas propriedades tecnológicas. Apresenta capacidade emulsificante, espessante, aglutinante, gelificante e de formação de espuma, além de conferir aroma, sabor e cor aos alimentos (LECHEVALIER et al., 2011; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017).

Os ovos de galinha são os mais consumidos no mundo todo, representando aproximadamente 93% da produção mundial. Porém, existem ovos de outras espécies que são consumidos em diferentes localidades (FAO, 2021a). No Brasil, além dos ovos de galinha, que em 2019 lideravam com 4,6 bilhões de dúzias produzidas, os ovos de codorna também ocupam posição de destaque, chegando a 315,6 milhões de dúzias produzidas neste mesmo ano (IBGE, 2020a). O ovo de codorna cozido é muito consumido como aperitivo, acompanhamento e como decoração de diversos pratos, especialmente pelo seu pequeno tamanho. São normalmente encontrados em supermercados dispostos em bandejas (*in natura*), assim como os ovos de galinha ou na forma de conserva (NRC, 1991; ARTHUR; BEJAEI, 2017; SUN et al., 2019).

As codornas (Galliformes: Phasianidae) são aves que podem ser criadas tanto para a postura de ovos quanto para a produção de carne, assim como a galinha. Porém, são aves menores, ocupando, portanto, menos espaço para se desenvolverem e exigindo uma quantidade menor de alimento, o que implica em redução de custos. Além disso, são aves robustas, fáceis de criar e possuem alta taxa de postura de ovos, com produção de aproximadamente 300 ovos durante a vida reprodutiva (SHANAWAY, 1994; SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005; CHEŁMOŃSKA et al., 2008). Assim, há um grande potencial de geração de renda para os produtores na criação destas aves. O gênero *Coturnix* é o mais comumente utilizado para criação e no que se refere à produção de ovos, se destaca a *Coturnix coturnix japonica* ou codorna japonesa (SHANAWAY, 1994; SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005).

O ovo de codorna é muito nutritivo e tem composição semelhante ao ovo de galinha. Porém, normalmente apresenta maiores teores de ferro, fósforo, algumas vitaminas do complexo B, dentre outros nutrientes (ARTHUR; BEJAEI, 2017; USDA, 2019a, 2019b).

Um inconveniente em relação ao uso do ovo de codorna *in natura* como ingrediente é o seu tamanho. Para obter uma quantidade equivalente a um ovo de galinha, são necessários aproximadamente 5 ovos de codorna, o que inviabiliza seu uso em diversas receitas e principalmente na indústria de alimentos. Outro problema em relação ao ovo de codorna é a maior fragilidade da casca em relação ao ovo de galinha (PANDA; SINGH, 1990; SUN et al., 2019), gerando maiores perdas ao longo da cadeia produtiva, por quebra e proliferação de fungos, que se inicia nos ovos danificados. A industrialização do ovo de codorna é, portanto, uma alternativa para contornar tais inconvenientes e viabilizar o seu consumo como ingrediente em receitas domésticas e desenvolvimento de produtos industrializados. A secagem, por exemplo, pode ser uma opção de processamento com grande potencial para este propósito (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013; SANGAMITHRA et al., 2014; BELYAVIN, 2016).

Além de agregar valor ao ovo, a secagem aumenta significativamente sua vida útil, mesmo em temperatura ambiente, visto que a atividade de água se torna muito baixa no produto seco, evitando deterioração por ação microbiana e enzimática (LECHEVALIER et al., 2011; SANGAMITHRA et al., 2014; BELYAVIN, 2016). Outro ponto positivo é a praticidade de aplicação do ovo em pó no preparo de outros alimentos, o que torna seu uso conveniente, não só no ambiente industrial, mas também doméstico. Além de todos os benefícios citados, o ovo em pó oferece grande economia de custos em relação ao transporte, embalagem e acondicionamento, em função da grande redução de volume (LECHEVALIER; NAU; JEANTET, 2013; BELYAVIN, 2016).

A secagem, porém, promove alteração na qualidade dos alimentos, variando em função das condições de processo (FELLOWS, 2006). Uma vez que o ovo possui propriedades funcionais essenciais para a elaboração de diversos produtos, é importante que essas propriedades sejam mantidas, tornando essencial, o estudo da interferência de diferentes métodos de secagem sobre cada uma delas.

Na produção de bolos, por exemplo, além de atuar como colorante, aglutinante e flavorizante, o ovo desempenha papel essencial no desenvolvimento da massa e nas características finais, após o cozimento, em função de suas propriedades espumante,

emulsificante e gelificante. A capacidade de formar espuma estável é responsável pela expansão da massa durante o cozimento, especialmente na ausência de fermento, e contribui para a estrutura porosa do bolo, enquanto a capacidade emulsificante contribui para a homogeneidade e suavidade da massa e a capacidade gelificante confere textura e limita a expansão da massa, contribuindo para o estabelecimento da estrutura final do bolo (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; PALAV, 2016; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017).

A literatura ainda carece de estudos relacionados ao processamento de ovos de codorna, incluindo a secagem, principalmente, envolvendo a aplicação do ovo de codorna em pó como ingrediente na elaboração de produtos. Como as funcionalidades dos ovos são essenciais na manufatura de bolos, é de grande importância, que sejam realizados novos estudos que avaliem a interferência de diferentes métodos de secagem de ovos de codorna em suas propriedades funcionais, bem como nas características dos bolos produzidos a partir dos ovos de codorna em pó.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Produzir ovo de codorna em pó por liofilização (convencional e em leito de espuma) e secagem em estufa com circulação forçada de ar (convencional e em leito de espuma), caracterizar e aplicar como ingrediente na produção de bolo pão de ló.

Objetivos Específicos

- Avaliar e comparar os efeitos dos diferentes métodos de secagem sobre as características físico-químicas, morfológicas, de reidratação e propriedades funcionais do ovo integral de codorna;
- Aplicar os ovos em pó obtidos pelos diferentes métodos de secagem na produção de bolo pão de ló (*sponge cake*);
- Avaliar as massas dos bolos em relação à gravidade específica e viscosidade;
- Avaliar os bolos em relação à peso, textura, cor, aparência de forma geral e volume;

- Comparar a funcionalidade dos ovos em pó com o ovo de codorna líquido pasteurizado no desenvolvimento dos bolos.

CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Ovo

O ovo, consumido no mundo todo, é um alimento muito importante para a alimentação humana, visto que possui nutrientes facilmente digeríveis. Além de carboidratos, lipídeos, minerais e vitaminas, o ovo fornece também, proteínas de alto valor biológico, compostas por aminoácidos essenciais. Além disso, é amplamente disponível e tem baixo custo (ATILGAN; UNLUTURK, 2008; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013; LARSEN, 2019).

Os ovos de aves estão entre os alimentos de origem animal mais consumidos no mundo. O consumo, que vem aumentando significativamente nas últimas décadas, tende a aumentar ainda mais nos próximos anos, especialmente devido ao crescimento populacional e maior consumo individual, em função do aumento da renda em países em desenvolvimento (FAO, 2021b).

No Brasil, a Portaria nº 1, de 21 de fevereiro de 1990 estabelece as definições e as Normas de Inspeção de Ovos e Derivados (BRASIL, 1990), a Resolução nº 5 de 05 de julho de 1991 dispõem sobre o Padrão de Identidade e Qualidade para o Ovo Integral (BRASIL, 1991) e o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA de 2017 apresenta definições e estabelece os critérios de inspeção de ovos e seus derivados nas granjas avícolas e nas unidades de distribuição e beneficiamento de ovos (BRASIL, 2017). Quando a palavra “ovo” não vem acompanhada da espécie, subentende-se que se trata de ovo de galinha (BRASIL, 1990).

1.2 Codornas

As codornas são aves robustas, nativas de regiões temperadas e tropicais e criadas para a produção de carne e ovos (SHANAWAY, 1994). Tanto os ovos quanto a carne de codorna são muito nutritivos, porém, no Brasil, a produção destas aves está mais voltada para a produção de ovos (BERTECHINI, 2012). Dentre as espécies de codorna existentes, a *Coturnix japonica* (codorna japonesa), pertencente à família Phasianidae e ordem dos Galliformes, se destaca mundialmente em relação à postura de ovos e ao rápido desenvolvimento (SHANAWAY, 1994; SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005; CPT, 2019).

As codornas japonesas (Figura 1.1) são aves de pequeno porte, pesando entre 100 e 200 g na fase adulta, com necessidade diária de 20 a 30 g de alimento. Ao longo do período reprodutivo, a codorna pode produzir aproximadamente 300 ovos, e possui um período de incubação menor que de outras aves (SHANAWAY, 1994; SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005; CHEŁMOŃSKA et al., 2008).

Figura 1.1 – Codorna japonesa.



Fonte: GOOGLE IMAGENS, 2021.

A criação de codornas (Figura 1.2), conhecida como coturnicultura, é um ramo da avicultura que vem despertando o interesse de produtores, uma vez que é uma atividade que demanda pouco investimento de capital e tem baixo custo com mão de obra, além da possibilidade de ser desenvolvida em pequenas áreas, em função do pequeno porte destas aves (SHANAWAY, 1994; SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005).

Figura 1.2 – Criação de codornas.



Fonte: GOOGLE IMAGENS, 2021.

O rebanho de codornas no Brasil passou de 5.575.068 cabeças em 2002 para 17.418.818 cabeças em 2019. Ainda com base em dados deste mesmo ano, o estado de Minas Gerais ocupa o terceiro lugar no ranking de maiores produtores da ave no Brasil, com 16,1% da produção do país, ficando atrás apenas de São Paulo (23,8%) e Espírito Santo (22,4%) (IBGE, 2020b; SEAPA, 2020). Entre os anos de 2002 e 2019 houve apenas uma queda em relação ao número de cabeças de codorna, que ocorreu paralelamente a uma redução na produção de ovos, entre 2015 e 2016 (SEAPA, 2020). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), essa queda se deu em função de uma redução no poder aquisitivo da população, que culminou na redução da demanda por carne e ovos de codorna, fazendo com que os produtores diminuíssem seus investimentos neste período. Mas ainda no final de 2016 a situação já estava se revertendo e o efetivo de codornas no Brasil voltou a crescer nos anos seguintes (SEAPA, 2020).

1.2.1 Ovo de codorna

O ovo de codorna é um alimento proteico de alta qualidade, muito importante para a dieta humana, pois oferece todos os aminoácidos essenciais, além de ser rico em minerais e vitaminas (SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005). Em alguns casos particulares, o ovo de codorna pode ser uma alternativa para consumidores que possuem alergia ao ovo de galinha (NRC, 1991).

Em relação ao sabor e composição, o ovo de codorna se assemelha ao ovo de galinha, porém, normalmente apresenta maiores teores de alguns nutrientes, dentre os quais se encontram o cálcio, o ferro, o fósforo, e algumas vitaminas, tais como folato, tiamina, riboflavina, niacina e B₁₂ (USDA, 2019a, 2019b). Quanto ao peso, o ovo de codorna é formado por 10,2% de casca, 1,4% de membrana, 42,3% de gema e 46,1% de clara (LIMA FILHO, 1987). Uma imagem de ovos de codorna em comparação aos ovos de galinha é apresentada na Figura 1.3.

Figura 1.3 – Ovos de codorna e galinha.



Fonte: GOOGLE IMAGENS, 2021.

A clara é uma solução aquosa com abundância em proteínas e baixos teores lipídico e vitamínico, enquanto a gema é uma emulsão de gordura em água, mais rica em vitaminas. A cor alaranjada da gema é proveniente de carotenoides, especialmente das xantofilas luteína e zeaxantina, que são os pigmentos presentes em maior proporção em sua composição (ORDÓÑEZ, 2005; WENZEL; SEUSS-BAUM; SCHLICH, 2010; USDA, 2019b).

As formas mais comuns de consumo são ovos de codorna fritos, mexidos, cozidos e em conserva. Devido ao seu pequeno tamanho, aproximadamente 1/5 do ovo de galinha, o ovo de codorna é muito consumido como aperitivo e utilizado para decoração de pratos (NRC, 1991; ARTHUR; BEJAEI, 2017; SUN et al., 2019).

O consumo de ovo de codorna é muito comum no Brasil (ARTHUR; BEJAEI, 2017) e a demanda por esse produto repercutiu em aumento significativo da produção nacional de ovos de codorna nos últimos anos, passando de 117,6 milhões de dúzias em 2005 para 315,6 milhões

de dúzias produzidas em 2019. Ainda de acordo com dados deste mesmo ano, Minas Gerais ocupa o terceiro lugar no ranking de maiores produtores de ovos de codorna dentre os demais estados brasileiros, com 16,6% da produção do país, ficando atrás apenas do Espírito Santo (25,9%) e São Paulo (23,6%) (IBGE, 2020a; SEAPA, 2020).

1.3 Propriedades funcionais do ovo

Apesar de ser encontrado em inúmeras formulações, o ovo recebe destaque especial na panificação e confeitaria, compondo alimentos como pães, bolos e tortas. Além de conferir cor aos produtos, contribui para o aumento da maciez, em função da gordura da gema e aeração e aumento do volume, em função da capacidade de aprisionar ar durante o batimento. Também age como aglutinante e apresenta propriedades emulsificante e gelificante, que contribuem para a textura e estrutura dos alimentos (LECHEVALIER; NAU; JEANTET, 2013; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017). As proteínas e os lipídeos presentes no ovo são os principais responsáveis por suas propriedades funcionais (ESKIN; SHAHIDI, 2015).

A propriedade emulsificante do ovo se deve à presença de moléculas de superfície ativa principalmente na gema (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; LECHEVALIER et al., 2011; ESKIN; SHAHIDI, 2015), embora proteínas da clara também apresentem certa contribuição (MINE, 1995). Estas moléculas atuam na interface óleo-água reduzindo a tensão interfacial, auxiliando na formação de emulsões, formadas por agitação mecânica, bem como em suas estabilidades. Fosfolipídios e lipoproteínas são exemplos de agentes emulsificantes presentes na gema (FRANKE; KIEßLING, 2002; LECHEVALIER et al., 2011; ESKIN; SHAHIDI, 2015).

A clara de ovo é um excelente agente formador de espuma (MINE, 1995). A capacidade espumante do ovo é decorrente especialmente das propriedades interfaciais das proteínas da clara, que são, em sua maioria, globulares (LECHEVALIER et al., 2011). Cada proteína, portanto, contribui de forma particular para a formação de espuma, sendo difícil especificar a atuação de cada uma de forma isolada, já que existe sinergia entre elas (LECHEVALIER et al., 2005; LECHEVALIER et al., 2011). A natureza anfifílica, alta hidrofobicidade superficial e a flexibilidade molecular destas proteínas promovem uma boa adsorção e rearranjo conformacional das mesmas na interface ar-água, promovendo redução da tensão superficial e possibilitando a formação de espuma (incorporação de ar à matriz líquida), especialmente

quando há um certo nível de desnaturação proteica (LECHEVALIER et al., 2011; SEGURACAMPOS et al., 2013).

As propriedades da clara promovem a formação de uma rede contínua, que dá origem a um filme interfacial viscoelástico coeso por meio das interações entre as proteínas, mais precisamente, interações eletrostáticas e hidrofóbicas, que contribuem para a formação e estabilidade da espuma (MINE, 1995; LECHEVALIER et al., 2011; GODEFROIDT et al., 2019). Embora a gema isolada não apresente propriedade espumante e os lipídeos da gema prejudiquem a formação de espuma (MILLER, 2016), as lipoproteínas presentes na gema contribuem para sua estabilização (CAUVAIN, 2003).

A capacidade gelificante do ovo se deve às proteínas da clara e da gema. Em solução, ao serem submetidas ao aquecimento, as proteínas passam por modificações de estabilidade, responsáveis pela formação de gel (LECHEVALIER et al., 2011), que consiste em uma rede contínua formada por agregação de proteínas desnaturadas, na qual água é ligada e retida (CAMPBELL; RAIKOS; EUSTON, 2003; ALLEONI, 2006).

A primeira etapa de formação de gel consiste na mudança conformacional ou desnaturação parcial das proteínas por meio do aquecimento. Em seguida, as proteínas desnaturadas são agregadas, o que resulta em aumento da viscosidade e formação da rede contínua de gel (ALLEONI, 2006). As interações intermoleculares envolvidas na gelificação são principalmente eletrostáticas e hidrofóbicas, e ocorrem no início da formação da rede. Porém, é sugerido que ligações dissulfeto contribuam para uma agregação de um maior número de moléculas de proteínas na rede de gel (VAN DER PLANCKEN; VAN LOEY; HENDRICKX, 2005; LECHEVALIER et al., 2011).

As proteínas da clara possuem maior contribuição para a propriedade de gelificação do ovo, especialmente, ovoalbumina e ovotransferina, com temperaturas de desnaturação de 84 °C e 61 °C, respectivamente (LECHEVALIER et al., 2011; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013; ESKIN; SHAHIDI, 2015).

1.4 Processamento de ovos

O ovo *in natura* assim como os demais alimentos frescos, é perecível, e, portanto, pode perder qualidade em um período relativamente curto de armazenamento. Um fator que contribui

para a perecibilidade do ovo é a porosidade da casca, que não garante um isolamento total do conteúdo interno do ovo de contaminações e fatores ambientais externos, permitindo que haja perda de CO₂ e água. Com a redução de CO₂, o pH do albúmen é elevado, o que acarreta perda de qualidade, relacionada especialmente a mudanças estruturais, que o torna mais fluido. A redução do conteúdo de água também é um problema, visto que reduz o peso e a qualidade do ovo (BELYAVIN, 2003; AKYUREK; OKUR, 2009). Além de tudo isso, ocorre também um enfraquecimento da membrana vitelínica no decorrer do armazenamento. Portanto, são muitas as mudanças que podem ocorrer nos ovos *in natura*, a depender das condições nas quais são acondicionados, e estas mudanças afetam suas propriedades funcionais (KAROUI et al., 2006; KUMBÁR et al., 2015).

É ideal que ovos *in natura* sejam consumidos em até 21 dias após a postura. Alguns cuidados com o armazenamento podem retardar a taxa de deterioração dos ovos, porém, não estendem significativamente a vida útil. Uma alternativa para viabilizar o armazenamento de ovos por vários meses é o armazenamento sob refrigeração (~0 °C) e umidade relativa do ar controlada de 85%, o que gera um custo adicional significativo na cadeia produtiva (BELYAVIN, 2003).

Por ser um alimento muito frágil, ocorrem demasiadas perdas ao longo da cadeia produtiva do ovo (BELYAVIN, 2003), principalmente devido a danos na casca, acarretando grande desperdício e prejuízo financeiro. No ovo de codorna, especialmente, que possui a casca mais frágil que o ovo de galinha (SUN et al., 2019), a ocorrência de danos físicos é ainda mais recorrente, resultando no surgimento de mofo e tornando o produto impróprio para consumo. Alguns danos encontrados em ovos de codorna comerciais, embalados em cartelas plásticas, são apresentados na Figura 1.4.

Figura 1.4 – Danos encontrados em ovos de codorna comerciais.



Fonte: Autoria própria (2021).

O processamento industrial de ovos pode contornar os problemas listados anteriormente, como a perecibilidade, perdas de qualidade ao longo do armazenamento e desperdício gerado por danos físicos na casca. As opções de processamento que podem ser aplicados aos ovos incluem a remoção da casca, seguida de pasteurização e refrigeração, secagem ou congelamento (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013; BELYAVIN, 2016; SHARIF; SALEEM; JAVED, 2018). Os ovos processados, também chamados de ovoprodutos, são amplamente utilizados na indústria de alimentos, especialmente em indústria de massas, panificação e confeitaria (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013; BELYAVIN, 2016).

Um problema relacionado ao processamento de ovos consiste na possibilidade de modificação de componentes e alterações em suas características e propriedades funcionais, que causa grande preocupação por parte da indústria de alimentos (ESKIN; SHAHIDI, 2015, BELYAVIN, 2016). Sendo assim, é de grande importância que os métodos de processamento de ovos sejam estudados e aprimorados, de forma a manter ao máximo, as características e propriedades desejadas do ovo.

1.5 Secagem de ovos para produção de pó

A secagem é um dos processos físicos de conservação mais antigos, que consiste na aplicação de calor e remoção de umidade, com exceção do processo de liofilização, no qual a umidade é removida a baixa temperatura, por sublimação (FELLOWS, 2006; MOSES et al., 2014). O principal objetivo da secagem é reduzir a atividade de água dos alimentos para prolongar a vida útil dos mesmos (FELLOWS, 2006).

Os ovos em pó (secos ou desidratados) possuem vantagens em relação aos ovos processados líquidos e congelados, que consistem principalmente na grande redução de volume (economia no transporte, embalagem e armazenamento) e maior praticidade (não é necessário descongelar). Outras vantagens dos ovos em pó são a uniformidade do produto e ótima estabilidade microbiológica em função da redução da umidade e atividade de água (LECHEVALIER; NAU; JEANTET, 2013; SANGAMITHRA et al., 2014; BELYAVIN, 2016), podendo alcançar vida útil de aproximadamente um ano (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013).

Para assegurar a qualidade microbiológica e garantir que o consumidor tenha acesso a um produto seguro, o ovo pode ser submetido a um processo de pasteurização antes da secagem, para reduzir os riscos com contaminações de origem alimentar, especialmente por *Salmonella* (SOUZA et al., 2015; BELYAVIN, 2016). A Legislação Brasileira estabelece a temperatura mínima de 60 °C por um tempo mínimo de 3,5 minutos para a pasteurização do ovo líquido integral, enquanto que para a gema, as condições estabelecidas são temperatura de 61 °C por 3,5 minutos ou 60 °C por 6,2 minutos e para a clara, 56,7 °C por 3,5 minutos ou 55,5 °C por 6 minutos (BRASIL, 1990).

Diversos métodos podem ser empregados na secagem de ovos (integrais e fracionados em clara e gema). Dentre eles, estão disponíveis em estudos já publicados: liofilização de clara, gema e ovo integral (KUDRE et al., 2018; VELIOGLU, 2019), liofilização em leito de espuma de clara (MUTHUKUMARAN; RATTI; RAGHAVAN, 2008a) e ovo integral (ORISHAGBEMI; ICHADO; SANDA, 2017); *spray-drying* de clara (MA et al., 2013), gema (RANNOU et al., 2015) e ovo integral (KOÇ et al., 2011a); secagem convectiva em leito de espuma de clara (SEGURA-CAMPOS et al., 2013).

A secagem promove alterações nas características físico-químicas e propriedades funcionais do ovo, variando conforme as condições utilizadas (LECHEVALIER et al., 2011). Portanto, é de extrema importância que haja uma boa análise em relação ao método mais adequado e aos parâmetros de secagem, de modo a minimizar possíveis danos ao produto, ou até mesmo, otimizar determinadas características e funcionalidades.

1.5.1 Métodos de secagem

1.5.1.1 Estufa com circulação forçada de ar

A secagem por convecção, utilizando ar quente, é uma das técnicas mais antigas e mais utilizadas, especialmente pelo seu menor custo em relação a outros métodos de secagem, incluindo a liofilização (RAHMAN, 2006; MOTEVALI; MINAEI; KHOSHTAGAZA, 2011; ZAREIN; SAMADI; GHOBADIAN, 2013). Na secagem por estufa com circulação forçada de ar, ou estufa convectiva (Figura 1.5), ar quente em movimento, transfere calor para a superfície do alimento, que normalmente é disposto em bandejas, através da convecção, promovendo a evaporação da água ali presente e o aumento da temperatura interna do alimento por condução. À medida que ocorre perda de umidade em forma de vapor, levado pelo ar circulante, a água do interior do alimento se transfere para a superfície, principalmente por meio de difusão e o processo continua até que a umidade de equilíbrio seja atingida ou até que a secagem seja interrompida (FERNANDO; LOW; AHMAD, 2011; GARCÍA-ALVARADO; PACHECO-AGUIRRE; RUIZ-LÓPEZ, 2014; BEZERRA et al., 2015).

Figura 1.5 – Estufa com circulação forçada de ar (escala laboratorial).



Fonte: Autoria própria (2021).

A taxa de secagem em estufa convectiva está relacionada com a temperatura, umidade e velocidade do ar e às propriedades específicas de cada alimento (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018). Devido à exposição do alimento a altas temperaturas por um período relativamente longo, a secagem por estufa convectiva pode causar danos, como perda de cor e sabor, além de prejudicar a capacidade de reidratação do produto seco (GIRI; PRASAD, 2007; CHEN; GUO; WU, 2016).

Diversos estudos envolvendo secagem de alimentos em estufa com circulação forçada de ar foram realizados (CORRÊA et al., 2011; CHOI et al., 2017; ZIELINSKA; ZIELINSKA, 2019; HOW; SIOW, 2020), porém, poucas publicações envolvendo a secagem de ovos em estufa, com ou sem circulação de ar, estão disponíveis na literatura. Ndifé et al. (2010) e Kumaravel, Hema e Kamaleshwari (2011) secaram ovo integral em secador de bandejas, onde, assim como na estufa convectiva, o material é exposto a altas temperaturas, porém, a presença de circulação de ar não foi mencionada pelos autores. Thirupathi, Sasikala e Rajkumar (2008) secaram ovo integral de galinha em leito de espuma utilizando um secador de bandejas com circulação de ar em diferentes temperaturas (60 °C, 65 °C e 70 °C) e espessuras de espuma (1 mm, 2 mm e 3 mm), avaliaram as cinéticas de secagem e propriedades físico-químicas, de reidratação e espumantes dos pós. Em estudo realizado por Segura-Campos et al. (2013), diferentes condições de tempo e temperatura foram aplicadas na secagem de clara de ovo de codorna em leito de espuma, utilizando estufa com circulação forçada de ar (65 °C por 3,5 h;

65 °C por 5,0 h; 70 °C por 3,5 h e 70 °C por 5,0 h) e a digestibilidade de proteínas *in vitro* e as propriedades físico-químicas e funcionais dos pós foram avaliadas.

Embora existam alguns estudos disponíveis em relação à secagem de ovos em bandejas sob altas temperaturas, a literatura ainda carece de estudos realizados com secagem de ovo integral em estufa com circulação forçada de ar, especialmente de ovos de codorna, que ainda são pouco explorados. Portanto, novos estudos envolvendo a produção de ovo de codorna em pó por estufa com circulação forçada de ar, bem como sua caracterização, antes e após reidratação, comparação do ovo reidratado com o ovo líquido pasteurizado e aplicação como ingrediente na produção de alimentos é de grande importância, especialmente devido ao baixo custo de processamento deste método.

1.5.1.2 Liofilização

A liofilização é um processo de secagem no qual a remoção da água ocorre em sua maior parte por sublimação. Neste método as condições de processo (pressão e temperatura) são inferiores às condições referentes ao ponto triplo da água, o que promove sua passagem direta do estado sólido (gelo) para vapor (JAYARAMAN; DAS GUPTA, 2006; SOKHANSANJ; JAYAS, 2006). Este método de secagem ocorre em três etapas, sendo a primeira delas o congelamento. Após o congelamento, o alimento é submetido a uma segunda etapa, em condições de baixa temperatura e baixa pressão (abaixo da pressão de vapor do gelo), com um aumento da temperatura suficiente para fornecer calor latente para o processo de sublimação da água congelada. A última etapa consiste na remoção da água residual por dessorção, mantendo a pressão baixa, porém, com um aumento da temperatura até um valor próximo à temperatura ambiente ou superior (FELLOWS, 2006; WANG; CHEN; CHEN, 2012). Um liofilizador de escala laboratorial é apresentado na Figura 1.6.

Figura 1.6 – Liofilizador de bancada (escala laboratorial).



Fonte: Autoria própria (2021).

A liofilização é um método de secagem ideal para produtos sensíveis ao calor e passíveis de oxidação, que podem ser danificados ao serem expostos a altas temperaturas e ao oxigênio (LIAPIS; BRUTTINI, 2006; ARÉVALO-PINEDO; MURR, 2007; BÓRQUEZ; CANALES; REDON, 2010), visto que ocorre sob vácuo e em baixas temperaturas. Este método resulta na obtenção de alimentos desidratados de ótima qualidade, com boa reidratação e manutenção das características sensoriais (FELLOWS, 2006; LECHEVALIER; NAU; JEANTET, 2013; SANGAMITHRA et al., 2014). Além de promover uma boa retenção de aroma e sabor, a liofilização possui outros benefícios em comparação aos outros métodos de secagem, como a minimização de reações indesejáveis como escurecimento não enzimático, reações enzimáticas e desnaturação proteica, sendo, portanto, o método de secagem que promove maior qualidade ao alimento seco (LIAPIS; BRUTTINI, 2006). Por outro lado, a liofilização consiste em um método caro, principalmente pelas etapas de congelamento e vácuo e por demandar muito tempo para secagem (FELLOWS, 2006; LIAPIS; BRUTTINI, 2006; CHUMROENPHAT et al., 2021).

Alguns estudos envolvendo secagem de ovos por liofilização foram realizados, tanto para ovos de galinha quanto para ovos de codorna. Obara, Obiedziński e Kołczak (2006) avaliaram o efeito da atividade de água na oxidação de colesterol em gema e ovo integral liofilizados, ao longo do armazenamento, enquanto em estudo realizado por Bakalivanov et al. (2008), a influência de irradiação em ovo integral liofilizado foi avaliada em relação à extensão da vida útil e segurança microbiológica. Kudre et al. (2018), produziram ovos de codorna e de galinha em pó (desengordurados), integrais e fracionados em gema e clara, por liofilização, e analisaram os pós em relação a propriedades físico-químicas e funcionais. Velioglu (2019)

avaliaram clara, gema e ovo integral de codorna liofilizados em relação à composição, cor, propriedades emulsificante e espumante, e aplicaram a gema em pó na produção de maionese.

Embora alguns estudos sobre produção e análise de ovos liofilizados tenham sido publicados (OBARA, OBIEDZIŃSKI E KOŁCZAK, 2006; BAKALIVANOV et al., 2008; KUDRE et al., 2018; VELIOGLU, 2019), a literatura ainda é muito restrita no que se refere a caracterização de ovo de codorna liofilizado, especialmente quanto à morfologia das partículas e propriedades de reidratação, bem como avaliação dos ovos após reidratação e comparação do ovo reidratado com o ovo líquido pasteurizado. Além disso, a aplicação do ovo de codorna liofilizado como ingrediente na produção de alimentos ainda é um tema a ser bastante explorado.

1.5.1.3 Secagem em leito de espuma (foam-mat drying)

Esta técnica consiste, originalmente, na transformação de um alimento líquido ou semilíquido em espuma estável, por meio da adição de agentes espumantes ou estabilizantes, e posterior secagem com ar quente (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012). A adição de estabilizantes pode ser interessante para promover um aumento na estabilidade da espuma (MUTHUKUMARAN; RATTI; RAGHAVAN, 2008a). Neste método de secagem, a espuma é espalhada em uma fina camada sobre um suporte e seca por meio de ar aquecido. Ao final da secagem o produto obtido em forma de um filme poroso pode ser transformado em pó por algum processo de moagem (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012; SANGAMITHRA et al., 2014). Apesar da presença de bolhas de ar atrapalhar a condução de calor no alimento (KANDASAMY et al., 2014), a taxa de secagem é relativamente alta em consequência da grande área superficial em contato com o ar quente e da perda de umidade por capilaridade nos filmes líquidos que circundam as bolhas de ar (RAJKUMAR et al., 2007). Uma desvantagem deste método é a produção limitada, visto que a secagem é realizada em uma fina camada de produto (SANGAMITHRA et al., 2014).

A secagem em leito de espuma se destaca dentre os demais métodos de secagem em relação à simplicidade do processo, facilidade de remoção de água dos alimentos, tempo reduzido de secagem e custo relativamente baixo, inferior aos dos métodos de secagem à vácuo, *spray-drying* e liofilização (KANDASAMY et al., 2014; SANGAMITHRA et al., 2014). Os pós resultantes deste processo apresentam boa capacidade de reidratação e boa retenção de

nutrientes e voláteis (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012; KANDASAMY et al., 2014; SANGAMITHRA et al., 2014).

A secagem em leite de espuma vem sendo ampliada, sendo aplicada também em outros métodos de secagem como a liofilização (MUTHUKUMARAN; RATTI; RAGHAVAN, 2008b; SANGAMITHRA et al., 2014; SRAMEK et al., 2015), conciliando os benefícios oferecidos por cada técnica, visando alcançar um pó com qualidade ainda melhor.

Alguns estudos envolvendo secagem de ovo em leite de espuma foram realizados. Segura-Campos et al., (2013) secaram clara de ovo de codorna utilizando secador com circulação forçada de ar e avaliaram o pó em relação às suas propriedades físico-químicas (composição, eletroforese, temperatura e entalpia de desnaturação) e funcionais (capacidade de retenção de água e óleo, capacidade de formação de espuma e estabilidade de espuma, atividade emulsificante e estabilidade de emulsão), e avaliaram a digestibilidade *in vitro* das proteínas. Thirupathi, Sasikala e Rajkumar (2008) secaram ovo integral de galinha em leite de espuma, utilizando secador com circulação forçada de ar, avaliaram a taxa de secagem, solubilidade e propriedades físico-químicas (atividade de água, açúcares redutores, teores de β -caroteno e proteínas) dos pós. Koç e Çabuk (2019) secaram clara de ovo em leite de espuma utilizando micro-ondas e avaliaram a influência da potência na cinética de secagem e em diversas propriedades dos pós obtidos, incluindo densidade *bulk*, coesão, fluidez e molhabilidade. Muthukumar, Ratti e Raghavan (2008b) liofilizaram clara de ovo em leite de espuma, com e sem adição de goma xantana e aplicaram modelos de transferência de calor e massa para estimar o tempo e a taxa de secagem da clara. Orishagbemi, Ichado e Sanda (2017) secaram ovo integral de galinha em leite de espuma (0,5-1 mm de espessura) a 60 °C por 5 horas e avaliaram os pós obtidos em relação à capacidade de reidratação, molhabilidade, propriedades físico-químicas (densidade *bulk* e umidade), funcionais (capacidade espumante, gelificante e emulsificante) e sensoriais (ovo reconstituído cozido e frito).

Apesar de alguns estudos terem sido realizados com secagem de ovos em leite de espuma, não foram encontrados em buscas na literatura registros de estudos com secagem de ovo de codorna integral por este método. Sendo assim, a exploração desta técnica para o ovo de codorna, bem como a caracterização do pó obtido, é de grande relevância.

1.6 Características físico-químicas de ovos em pó

1.6.1 Umidade e atividade de água (aw)

Embora muitas vezes um baixo teor de água esteja relacionado à boa estabilidade de alimentos, isso nem sempre ocorre, visto que um mesmo teor de umidade pode ser suficiente para alguns alimentos e para outros não. Portanto, como a baixa umidade não garante a estabilidade, é indispensável que a aw seja analisada, que se refere à água disponível para ocorrência de atividades microbiológicas, enzimáticas e químicas, que deterioram o alimento (FELLOWS, 2006; SANGAMITHRA et al., 2014). Em relação ao ovo em pó, a legislação brasileira não determina valor máximo de atividade de água, porém determina limite máximo de 4% para umidade (BRASIL, 1991). Apesar das exceções, de modo geral, é desejável que produtos em pó apresentem baixa umidade (até 5% em base úmida) e baixa atividade de água (até 0,3) para uma maior estabilidade ao longo do armazenamento (LAVELLI; VANTAGGI, 2009; HENRÍQUEZ et al., 2013; SANGAMITHRA et al., 2014). Para o ovo integral em pó, valores de umidade de até 5% e atividade de água de até 0,4 geralmente são estabelecidos para uma boa estabilidade do produto (KOÇ et al., 2011a). Embora valores altos de atividade de água possam promover reações indesejáveis, em diversos alimentos, valores de atividade de água inferiores a 0,2 geralmente propiciam reações de oxidação lipídica (VU et al., 2019).

1.6.2 pH

O pH do ovo, varia em torno de 7,5 no ovo fresco e aumenta durante o armazenamento, devido à perda de CO₂ através da casca, podendo chegar a até 9,5 (LECHEVALIER et al., 2011; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013). O pH está relacionado às características sensoriais e funcionalidades do ovo. Sabe-se, por exemplo, que valores de pH mais altos (especialmente próximos de 10,0) melhoram as propriedades gelificantes, porém, valores entre 9,0 e 9,5 prejudicam a estabilidade de cor e sabor). Por outro lado, pH ligeiramente ácido melhora a capacidade de formação de espuma da clara. A solubilidade de ovos em pó também é dependente do pH, sendo mínima em pH próximo a 5,0 e máxima em pH próximo a 10,0 (LECHEVALIER et al., 2011; LECHEVALIER; NAU; JEANTET, 2013; KUDRE et al., 2018). Portanto, os valores de pH de ovos em pó reconstituídos podem estar relacionados ao desempenho do ovo como ingrediente na formulação de alimentos.

1.6.3 Cor

Durante a secagem do ovo, a depender do processo adotado, é comum que ocorra reações, tais como, reação de Maillard e reações de oxidação, que interferem na cor do pó (HAMMERSHØJ; PETERS; ANDERSEN, 2004; JAYARAMAN; DAS GUPTA, 2006; RAHMAN, 2006; ZAMORA; HIDALGO, 2011). Portanto, é de grande relevância que sejam analisadas as interferências de diferentes métodos de secagem, de forma a selecionar o processo que resulte em um pó, que ao ser reidratado, alcance uma coloração mais próxima possível à cor do ovo *in natura*.

1.6.4 Morfologia das partículas

Características como estrutura, tamanho e forma das partículas interferem em algumas propriedades dos pós, por exemplo, na capacidade de reconstituição e higroscopicidade, já que estão relacionadas com a presença ou ausência de poros e com a área superficial das mesmas, que interferem nas interações entre as partículas, e entre as partículas e o fluido circundante. Portanto, a morfologia das partículas de ovo em pó está relacionada com a funcionalidade do ovo reidratado, já que afeta o processo de reconstituição. A estrutura também tem influência sobre outras funcionalidades, além da reconstituição do pó e está relacionada também à capacidade de armazenamento e transporte, visto que interfere no empacotamento do leito (FITZPATRICK, 2013; LÓPEZ-CÓRDOBA; GOYANES, 2017).

1.6.5 Densidade *bulk*

A densidade *bulk* é a razão entre massa e volume ocupado por um determinado material e varia conforme a compactação do leito, no caso de alimentos particulados, como o ovo em pó. Para mensurar a densidade *bulk* inicial, ou não empacotada, o volume considerado é o volume do leito formado pela disposição natural das partículas em uma proveta graduada, enquanto para a densidade *bulk* empacotada é considerado o volume do leito compactado (FITZPATRIK, 2013). A compactação do leito consiste no movimento das partículas que resulta no preenchimento de espaços vazios, ou interstícios, por aquelas de tamanhos menores (BHANDARI, 2013). Quanto maior a densidade empacotada, maior é a tendência de

compactação do leito promovida pela movimentação das partículas e pior é a fluidez do pó (RANNOU et al., 2015).

Além das propriedades de fluxo, a densidade está relacionada também a custos de transporte e armazenamento, e varia com as condições operacionais de secagem, sendo, portanto, um importante fator a ser avaliado (LECHEVALIER et al., 2011; FITZPATRICK, 2013).

1.6.6 Higroscopicidade

A higroscopicidade é uma propriedade relacionada à capacidade de absorção de água por um alimento em pó, com baixa umidade, ao ser acondicionado em um ambiente com alta umidade relativa (JAYA; DAS, 2004). Pós higroscópicos possuem maior afinidade com a água, resultando em maior capacidade de reidratação, porém, por absorverem umidade do ambiente com facilidade, possuem uma tendência à coesão de partículas e ocorrência de *caking* durante o armazenamento (SCHUCK, 2011; FITZPATRICK, 2013). O ovo em pó sem aditivos não é um alimento considerado muito higroscópico, em função da sua composição. A adição de componentes higroscópicos ao ovo, inclusive, é uma alternativa para melhorar a capacidade de reidratação do pó (LECHEVALIER et al., 2011).

1.6.7 Capacidade de reidratação

O ovo em pó deve apresentar boa capacidade de reidratação, assim como os demais alimentos desidratados que devem ser reconstituídos antes do uso (SCHUCK, 2011). No decorrer da secagem, ocorrem alterações na matriz alimentícia, como a coagulação de proteínas e a redução da elasticidade das paredes celulares, o que dificulta a retenção de água. Condições otimizadas de secagem podem evitar grandes danos, possibilitando, portanto, um ovo em pó com boa capacidade de reidratação (FELLOWS, 2006). A formação de espuma antes da secagem do ovo é uma excelente forma de alcançar boa capacidade de reconstituição (ORDÓÑEZ, 2005). Propriedades como molhabilidade (absorção de água e submersão das partículas), dissolução em água e dispersibilidade em água estão relacionadas à capacidade de reidratação ou reconstituição do pó (SCHUCK, 2011; MITCHELL et al., 2015) portanto, devem ser avaliadas.

A capacidade de reidratação de um pó solúvel depende de quatro etapas, sendo elas: (I) absorção de água pelas partículas, (II) submersão: partículas afundam, ultrapassando a superfície da água, (III) dispersão: aglomerados se dispersam em unidades menores e (III): dissolução: partículas se dissolvem em moléculas ou íons individuais a depender da sua afinidade com água. Se o pó não é solúvel, essas etapas não se concretizam, por outro lado, quanto melhor o pó se dispersar e dissolver, maior é a sua solubilidade (SCHUCK, 2011; MITCHELL et al., 2015).

1.7 Bolos

De acordo com o Decreto nº 12.486, de 20 de outubro de 1978, a definição de bolo é: “produto assado, preparado à base de farinhas ou amidos, açúcar, fermento químico ou biológico, podendo conter leite, ovos, manteiga, gordura e outras substâncias alimentícias que caracterizam o produto” (BRASIL, 1978).

Os bolos são consumidos no mundo todo e devido às suas diversas variações, são classificados de acordo com o método pelo qual são produzidos. As principais classificações são: bolo em camadas (*layer cakes*), bolos de espuma (*foam cakes*) e bolos de libra (*pound cakes*) (MILLER, 2016).

1.7.1 Bolo pão de ló

O bolo pão de ló ou *sponge cake* se inclui na classificação de bolos de espuma ou *foam cakes*, que possuem textura esponjosa e macia. Os ovos são os ingredientes de maior importância em suas formulações, já que desempenham papel crucial para a formação da estrutura característica destes bolos (MILLER, 2016).

Os principais ingredientes de bolo pão de ló são a farinha de trigo, ovos e açúcar (CAUVAIN, 2003), porém, outros ingredientes, tais como óleo ou gordura, sal, fermento, leite em pó e água podem ser adicionados (CAUVAIN, 2003; URETA; OLIVERA; SALVADORI, 2016). A adição de óleo, porém, reduz a estabilização das bolhas de ar na massa, que acarreta redução de volume. Por este motivo, a maioria dos bolos pão de ló com adição de óleo ou gordura, são preparados com adição de estabilizante (CAUVAIN, 2003). Em bolos sem gordura, apenas a expansão das bolhas incorporadas na massa é suficiente para o crescimento

da massa durante o aquecimento, porém, para bolos com gordura, normalmente é usado fermento para auxiliar no crescimento (GODEFROIDT et al., 2019).

1.7.1.1 Funcionalidades dos principais ingredientes do bolo pão de ló

A farinha participa da estruturação do bolo através da gelatinização do amido e desnaturação de proteínas de sua composição durante o aquecimento (MIZUKOSHI; MAEDA; AMANO, 1980; DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; PALAV, 2016). Embora a gelatinização do amido em água ocorra em temperaturas mais baixas, na massa de bolo, devido ao açúcar presente, a gelatinização acontece entre 80 °C e 95 °C (GODEFROIDT et al., 2019). As interferências do açúcar na massa serão discutidas adiante.

O ovo atua como espumante, emulsificante, gelificante, colorante, aglutinante e flavorizante, além de enriquecer nutricionalmente o bolo (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; PALAV, 2016; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017). Para a produção de bolo pão de ló, a clara pode ser batida separadamente com metade da quantidade de açúcar para formar uma espuma que é adicionada à massa preparada com farinha, gema e o restante do açúcar, ou o ovo pode ser batido de forma integral (MILLER, 2016). Durante o batimento do ovo e do açúcar, pequenas bolhas se formam e são estabilizadas pelas proteínas da clara e pelas lipoproteínas da gema, que evitam a coalescência e a perda do ar na superfície (CAUVAIN, 2003). A capacidade do ovo em formar espuma estável contribui para o ganho de volume da massa durante o aquecimento, por meio da expansão das bolhas de ar, e estabelecimento da estrutura esponjosa do miolo (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; GODEFROIDT et al., 2019), característica dos *foam cakes*.

A capacidade emulsificante do ovo contribui para uma maior suavidade e textura mais homogênea da massa, além de melhorar a distribuição de sabor (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017). Além disso, os componentes emulsificantes do ovo, especialmente da gema, melhoram a elasticidade dos filmes surfactantes que circundam as bolhas de ar, contribuindo para a maior expansão das mesmas durante o aquecimento no forno (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004).

A capacidade gelificante do ovo é de extrema importância para a estrutura final e textura do bolo, já que contribui para a delimitação do tempo de expansão da massa, como detalhado ao final desta seção (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004). Além disso, contribui para a

manutenção da qualidade sensorial e maciez do bolo ao longo do armazenamento (HAMMERSHØJ; PETERS; ANDERSEN, 2004). A aglutinação dos ingredientes da massa também é muito importante para a textura final do bolo e se deve ao alto teor proteico do ovo e à sua capacidade de formar uma rede complexa com o glúten, presente na farinha (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004).

O ovo pode ser adicionado tanto na forma *in natura* quanto em pó (LECHEVALIER; NAU; JEANTET, 2013; BELYAVIN, 2016), porém, devido à grande importância de suas propriedades funcionais na elaboração de bolos, é essencial que estas sejam avaliadas no ovo desidratado para garantir a funcionalidade do pó como ingrediente substituto do ovo *in natura*.

O açúcar (sacarose) retarda a gelatinização do amido e a desnaturação de proteínas (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017; GODEFROIDT et al., 2019) auxiliando no ganho de volume da massa, uma vez que estes eventos estabelecem a estrutura do miolo do bolo, impedindo as bolhas de ar de continuarem se expandindo (MIZUKOSHI; MAEDA; AMANO, 1980; GODEFROIDT et al., 2019). As razões para esta interferência ainda não estão totalmente estabelecidas, porém, alguns argumentos estão disponíveis na literatura.

Algumas das explicações para o retardo da gelatinização incluem: a competição do açúcar com o amido pelo líquido presente na formulação (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017), necessário para a gelatinização; equilíbrio termodinâmico do sistema (LELIEVRE, 1976; EVANS; HAISMAN, 1982; CHIOTELLI; ROLEÉ; LE MESTE, 2000) e a combinação de vários outros fatores tais como a redução da atividade de água, interações sacarose-amido, que estabiliza a estrutura granular do amido e redução da atuação da água como plasticizante (CHIOTELLI; ROLEÉ; LE MESTE, 2000). Já o retardo da desnaturação das proteínas pode ser proveniente da menor afinidade termodinâmica da proteína com a água na presença da sacarose, o que resulta em estabilidade térmica (KULMYRZAEV; BRYANT; McCLEMENTS, 2000). O açúcar também contribui para o aumento da viscosidade da massa, auxiliando na estabilidade das bolhas de ar (PALAV, 2016) e evitando a sedimentação do amido (formação de uma parte densa e pegajosa no fundo e uma parte aerada na superfície), que consiste em defeito no bolo (MILLER, 2016; GODEFROIDT et al., 2019).

Durante o processo de aquecimento no forno, primeiramente ocorre o desenvolvimento da estrutura da massa pela expansão das bolhas e posteriormente a fixação da matriz do bolo, por meio da gelatinização do amido presente na farinha e desnaturação de proteínas, tanto da

farinha quanto do ovo (MIZUKOSHI; MAEDA; AMANO, 1980; DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; GODEFROIDT et al., 2019). O volume do bolo pão de ló depende do aumento das bolhas de ar durante o aquecimento, que ocorre devido à expansão do ar em altas temperaturas, formação de vapor e produção de CO₂ pelo fermento, quando adicionado (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; GODEFROIDT et al., 2019). Com a gelatinização, as bolhas ficam impedidas de se expandirem e com o aumento interno da pressão, ocorre a liberação do ar, e os espaços já estruturados dão origem à estrutura esponjosa do bolo (MIZUKOSHI; MAEDA; AMANO, 1980). A desnaturação promove o desdobramento parcial das proteínas, que expõem grupos hidrofóbicos e grupos sulfidrila, resultando na formação de agregados proteicos por ligações covalentes e não covalentes, que contribui para a estrutura do bolo (GODEFROIDT et al., 2019). Por último, após a estruturação e fixação da matriz, ocorre a formação da cor da crosta (PALAV, 2016).

REFERÊNCIAS

- AKYUREK, H; OKUR, A. A. Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layer hens. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 8, n. 10, p. 1953-1958, 2009.
- ALLEONI, A. C. C. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. **Scientia Agricola** (Piracicaba, Braz.), v. 63, n. 3, p. 291-298, 2006.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000300013>.
- ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 152-156, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.005>.
- ARTHUR, J.; BEJAEI, M. Quail Eggs. In: HESTER, P. Y. (Ed). **Egg Innovations and Strategies for Improvements**, Academic Press, 2017. p. 13-21.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800879-9.00002-0>.
- ATILGAN, M. R; UNLUTURK, S. Rheological Properties of Liquid Egg Products (LEPS). **International Journal of Food Properties**, v. 11, n. 2, p. 296-309, abr. 2008.
<http://dx.doi.org/10.1080/10942910701329658>.
- BAKALIVANOV, S. et al. Characterization of freeze-dried egg melange long stored after irradiation, **Radiation Physics and Chemistry**, v. 77, n. 1, p. 58-63, jan. 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2007.02.005>.
- BELYAVIN, C. G. The Use of Fresh Eggs. In: Caballero, B. (editor). **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**. 2. ed. Academic Press, 2003. p. 1996-2000.
<https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00385-0>.
- BELYAVIN, C. G. Eggs: Use in the Food Industry. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. **Encyclopedia of Food and Health**. Academic Press, 2016. p. 476-479.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00245-2>.
- BERTECHINI, A. G. The quail production. In: WORLD'S POULTRY CONGRESS, XXIV, 2012, Salvador, BA. **Proceedings...** 2012, p.1-4. Disponível em:
 <http://www.facta.org.br/wpc2012-cd/pdfs/plenary/Antonio_Gilberto_Bertechini_.pdf>.
 Acesso em 09 jul. 2020.
- BEZERRA, C. V. et al. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 85, p. 750-755, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.02.027>.
- BHANDARI, B. Introduction to food powders. In: BHANDARI, B. et al. (editores). **Handbook of Food Powders: Processes and Properties**. Woodhead Publishing, 2013, p. 1-25.
<https://doi.org/10.1533/9780857098672.1>.

BÓRQUEZ, R. M.; CANALES, E. R.; REDON, J. P. Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 121–127, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.02.006>.

BRASIL. 1978. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Decreto nº 12.486 de 20 de outubro de 1978. **Diário Oficial da União**. São Paulo, 21 de outubro de 1978. Aprova Normas Técnicas Especiais relativas a Alimentos e Bebidas.

BRASIL. 1990. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretaria de Inspeção de Produto Animal. Portaria nº 1, de 21 de fevereiro de 1990. Portaria nº 01, de 21 de fevereiro de 1990. Oficializa as Normas Gerais de Inspeção de Ovos e Derivados. **Diário Oficial da União**, Brasília, nº. 44, p.4.321, Seção 1, de 06.03.1990.

BRASIL. 1991. 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: <<https://sidago.agrodefesa.gov.br/site/adicionaisproprios/protocolo/arquivos/409894.pdf>> Acesso em: 11 set. 2017.

BRASIL. 2017. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 mar. 2017, Seção 1.

CAMPBELL, L.; RAIKOS, V.; EUSTON, S. R. Modification of functional properties of egg-white proteins Review - Modification of functional properties of egg-white proteins. **Nahrung**, v. 47, n. 6, p. 369-76, 2003. <https://doi.org/10.1002/food.200390084>.

CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152-167, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012>.

CAUVAIN, S. P. CAKES | Methods of Manufacture. In: CABALLERO, B. (editor). **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**. 2. ed. 2003. p. 756-759. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00146-2>.

CPT - CENTRO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS. **Codornas**: manejo de produção. 2019. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/artigos/codornas-manejo-de-producao>>. Acesso em 11 set. 2019.

CHEŁMONSKA, B. et al. Semen collection from Japanese quail (*Coturnix japonica*) using a teaser female. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 19–24, 2008.

CHEN, ZHI-GANG; GUO, XIAO-YU; WU, T. A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 30, p. 28-34, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.026>.

CHIOTELLI, E.; ROLÉE, A.; LE MESTE, M. Effect of Sucrose on the Thermomechanical Behavior of Concentrated Wheat and Waxy Corn Starch-Water Preparations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 1327-1339, 2000. <https://doi.org/10.1021/jf990817f>.

CHOI, S. M. et al. Volatile composition and sensory characteristics of onion powders prepared by convective drying. **Food Chemistry**, v. 231, p. 386–392, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.129>.

CHUMROENPHAT et al. Changes in curcuminoids and chemical components of turmeric (*Curcuma longa L.*) under freeze-drying and low-temperature drying methods. **Food Chemistry**, v. 339, n. 128121, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128121>.

CORRÊA, S. C. et al. Evaluation of dehydrated marolo (*Annona crassiflora*) flour and carpels by freeze-drying and convective hot-air drying. **Food Research International**, v. 44, p. 2385–2390, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.052>.

DESROCHERS, J. L.; SEITZ, K. D.; WALKER, C. E. Cakes, chemistry of manufacture. **Encyclopedia of Grain Science**, p. 129-133, 2004. <https://doi.org/10.1016/B0-12-765490-9/00217-2>.

ESKIN, M.; SHAHIDI, F. **Bioquímica de Alimentos**. Tradução de Claudia Coana. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 518 p.

EVANS, I. D.; HAISMAN, D.R. The Effect of Solutes on the Gelatinization Temperature Range of Potato Starch. **Starch**, v. 34, n. 7, p. 224-231, 1982. <https://doi.org/10.1002/star.19820340704>.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Gateway to poultry production and products: Poultry species**. 2021a. Disponível em: <<http://www.fao.org/poultry-production-products/production/poultry-species/en/>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Gateway to poultry production and products: Products and processing**. 2021b. Disponível em: <<http://www.fao.org/poultry-production-products/products-processing/en/>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. Tradução de Florencia Cladera de Oliveira et al. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERNANDO, W. J. N.; LOW, H. C.; AHMAD, A. L. Dependence of the effective diffusion coefficient of moisture with thickness and temperature in convective drying of sliced materials. A study on slices of banana, cassava and pumpkin. **Journal of Food Engineering**, v. 102, p. 310–316, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.09.004>.

FITZPATRICK, J. Powder properties in food production systems. In: BHANDARI, B. et al. (editores). **Handbook of Food Powders: Processes and Properties**. Woodhead Publishing, 2013. p. 285-308. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.2.285>.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Ingredientes enriquecedores para panificação. Dossiê Panificação. **Food Ingredients Brasil**, n. 42, 2017. Disponível em: <https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201711/2017110916886001512043790.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2021.

FRANKE, K.; KIEBLING, M. Influence of spray drying conditions on functionality of dried whole egg. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, p. 1837-1841, 2002. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1269>.

GARCÍA-ALVARADO, M. A.; PACHECO-AGUIRRE, F. M.; RUIZ-LÓPEZ, I. I. Analytical solution of simultaneous heat and mass transfer equations during food drying. **Journal of Food Engineering**, v. 142, p. 39-45, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.001>.

GIRI, S. K.; PRASAD, S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 512–521, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.021>.

GODEFROIDT, T. et al. Ingredient Functionality During Foam-Type Cake Making: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 0, p. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12488>.

GUHA, S.; MAJUMDERA, K.; MINEB, Y. Egg Proteins. In: MELTON, L.; SHAHIDI, F.; VARELIS, P. (editors). **Encyclopedia of Food Chemistry**, Elsevier, 2019. p. 74-84. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21603-X>.

HAMMERSHØJ; PETERS; ANDERSEN. The significance of critical processing steps in the production of dried egg albumen powder on gel textural and foaming properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 1039–1048, 2004. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1772>.

HENRÍQUEZ, C. et al. Storage stability test of apple peel powder using two packaging materials: High-density polyethylene and metalized films of high barrier. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 121– 127, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.032>.

HOW, YOONG-KONG; SIOW, LEE-FONG. Effects of convection-, vacuum-and freeze-drying on antioxidant, physicochemical properties, functional properties and storage stability of stink bean (*Parkia speciosa*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 12, p. 4637–4648, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04501-7>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da pecuária municipal**, v. 44, Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2016_v44_br.pdf>. Acesso em 11 set. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da Pecuária Municipal**: Tabela 74 - Produção de origem animal, por tipo de produto. 2020a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/74#notas-tabela>>. Acesso em: 21 maio 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da Pecuária Municipal**: Tabela 3939 - Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho (Vide Notas). 2020b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63), p. 125-134, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00135-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00135-3).

JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, D. K. Drying of Fruits and Vegetables. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. CRC Press, 2006. p. 606-631. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

KANDASAMY, P. et al. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2526-2534, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0812-y>.

KAROUI, R. et al. Methods to evaluate egg freshness in research and industry: A review. **European Food Research and Technology**, v. 222, p. 727-732, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0145-4>.

KOÇ, M et al. Functional and physicochemical properties of whole egg powder: effect of spray drying conditions. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 2, p.141-149, 2011a. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0159-1>.

KOÇ, G, Ç.; ÇABUK, B. The effect of different microwave powers on the drying kinetics and powder properties of foam-mat dried egg white powder. **GIDA**, v. 44, n. 2, p. 328-339, 2019. <https://doi.org/10.15237/gida.GD18126>.

KRASAEKOOPT, W.; BHATIA, S. Production of Yogurt Powder Using Foam-Mat Drying. **AU Journal of Technology**, v. 15, n. 3, p. 166-171, 2012.

KUDRE, T. G. et al. Comparative study on physicochemical and functional properties of egg powders from Japanese quail and white Leghorn chicken, *International Journal of Food Properties*, v. 21, n. 1, p. 956-971, 2018. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1466320>.

KULMYRZAEV, A.; BRYANT, C.; McCLEMENTS, D. J. Influence of Sucrose on the Thermal Denaturation, Gelation, and Emulsion Stabilization of Whey Proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, 1593-1597, 2000. <https://doi.org/10.1021/jf9911949>.

KUMARAVEL, S.; HEMA, R.; KAMALESHWARI, A. Effect of Oven drying on the nutritional properties of whole egg and its componentes. **New York Science Journal**, v. 4, n. 11, p. 1-4, 2011.

KUMBÁR, V. et al. On the influence of storage duration on rheological properties of liquid egg products and response of eggs to impact loading – Japanese quail eggs. **Journal of Food Engineering**, v. 166, p. 86-94, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.030>.

LARSEN, D. S. The Structure and Properties of Eggs. In: MELTON, L.; SHAHIDI, F.; VARELIS, P. (editors). **Encyclopedia of Food Chemistry**, v. 3. Elsevier, 2019. p. 27-32. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21686-7>.

LAVELLI, V.; VANTAGGI, C. Rate of Antioxidant Degradation and Color Variations in Dehydrated Apples as Related to Water Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 57, p. 4733-4738 2009. <https://doi.org/10.1021/jf900176v>.

LECHEVALIER, V. et al. Evidence for synergy in the denaturation at the air–water interface of ovalbumin, ovotransferrin and lysozyme in ternary mixture. **Food Chemistry**, v. 92 p. 79-87, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.006>.

LECHEVALIER, V. et al. Processed egg products. In: NYS, Y.; BAIN, M.; IMMERSEEL, F. V. (editores). **Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Egg Chemistry, Production and Consumption**. Woodhead Publishing, 2011. p. 538-581. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.4.538>.

LECHEVALIER, V.; NAU, F.; JEANTET, R. Powdered egg. In: BHANDARI, B. et al. (editores). **Handbook of Food Powders: Processes and Properties**. Woodhead Publishing, 2013. p. 484-512. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.3.484>.

LELIEVRE, J. Theory of gelatinization in a starch-watersolute system. **Polymer**, v. 17, p. 854-858, 1976. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(76\)90250-0](https://doi.org/10.1016/0032-3861(76)90250-0).

LIAPIS, A. I.; BRUTTINI, R. Freeze Drying. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. CRC Press, 2006. p. 257-281. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

LIMA FILHO, T. S. **Codornas: criação e prática**. Porto Alegre: Editora Agropecuária, 1987. 64 p.

LÓPEZ-CÓRDOBA, A.; GOYANES, S. Food Powder Properties. **Reference Module in Food Science**, 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21198-0>.

MA, S. et al. Quality characteristic of spray-drying egg white powders. **Molecular Biology Reports**, v. 40, p. 5677–5683, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11033-013-2669-1>.

MILLER, R. Cakes: Types of Cakes. In: CABALLERO, B; FINGLAS, P. M; TOLDRÁ, F. (editors). **Encyclopedia of Food and Health**. 2016. p. 579-582. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00100-8>.

MINE, Y. Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, n. 7, p. 225-232, 1995. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89083-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89083-4).

MITCHELL, W. R. et al. Mapping the rate-limiting regimes of food powder reconstitution in a standard mixing vessel. **Powder Technology**, v. 270, Part B, January 2015, Pages 520-527. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.08.014>.

MIZUKOSHI, M.; MAEDA, H.; AMANO, H. Model Studies of Cake Baking. II. Expansion and Heat Set of Cake Batter During Baking. **Cereal Chemistry**, v. 57, p. 352-360.

MOSES, J. A. et al. Novel Drying Techniques for the Food Industry. **Food Engineering Reviews**, v. 6, p.43-55, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9078-7>.

MOTEVALI, A.; MINAEI, S.; KHOSHTAGAZA, M. H. Evaluation of energy consumption in different drying methods. **Energy Conversion and Management**, v. 52, p. 1192–1199, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.014>.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V. G. S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I, Optimization of Egg White Foam Stability, **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, n. 4, p. 510-512, abr. 2008a. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930801929581>.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V. G. S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White—Mathematical Modeling Part II: Freeze Drying and Modeling. **Drying Technology**, v. 26, p. 513–518, 2008b. <https://doi.org/10.1080/07373930801929615>.

NDIFE, J. et al. Effect of oven drying on the functional and nutritional properties of whole egg and its componentes. **African Journal of Food Science**, v. 4, n. 5, p. 254- 257, 2010.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Quail. In: **MICROLIVESTOCK: Little-Known Small Animals with a Promising Economic Future**. Washington, DC: The National Academies Press, 1991. p. 147-156. <https://doi.org/10.17226/1831>.

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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.021>.

OLIVEIRA, B. L.; OLIVEIRA, D. D. **Qualidade e tecnologia de ovos**. Lavras: Editora UFLA, 2013. 224 p.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnología de Alimentos: Alimentos de origem animal**. Tradução de Fátima Murad. v. 2. Porto Alegre: Artmed, 2005. 279 p.

ORISHAGBEMI, C. O.; ICHADO, I. B.; SANDA, M. E. Physical, Functional and Sensory Properties of Foam Mat Dehydrated Whole Egg Powder. **Journal of Scientific Research & Reports**, v. 15, n. 3, p. 1-7, 2017. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2017/33305>.

PALAV, T. S. Chemistry of Cake Manufacturing. In: WRIGLEY, C. et al. (editors). **Encyclopedia of Food Grains**. 2. ed. v. 3. 2016. p. 367-374. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00156-X>.

PANDA, B.; SINGH, R. P. Developments in processing quail meat and eggs. **World's Poultry Science Journal**, v. 46, n. 3, p. 219 – 234, 1990. <https://doi.org/10.1079/WPS19900022>.

RAHMAN, M. S. Drying of Fish and Seafood. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. CRC Press, 2006. p. 547-559. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

RAJKUMAR, P. et al. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 1452–1459, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.027>.

RANNOU, C. et al. Effect of spray-drying and storage conditions on the physical and functional properties of standard and n-3 enriched egg yolk powders. **Journal of Food Engineering**, v. 154, p. 58-68, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.002>.

SANGAMITHRA, A. et al. Foam mat drying of food materials: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2014. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12421>.

SCHUCK, P. Dehydrated Dairy Products | Milk Powder: Physical and Functional Properties of Milk Powders. In: FUQUAY, J. W. (editor). **Encyclopedia of Dairy Sciences**. 2. ed. Academic Press, 2011. P. 117-124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00122-9>.

SEAPA - SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS. **Coturnicultura**. 2020. Disponível em: <[http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/coturnicultura_nov_2020\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/coturnicultura_nov_2020[1].pdf)>. Acesso em: 23 fev. 2021.

SEGURA-CAMPOS, M. et al. Physicochemical and Functional Properties of Dehydrated Japanese Quail (*Coturnix japonica*) Egg White. **Food and Nutrition Sciences**, v. 4, p. 289-298, 2013. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.43039>.

SHANAWAY, M. M. **Quail production systems: a review**. Rome (Italy): FAO, 1994. 145 p.

SHARIF, M. K.; SALEEM, M.; JAVED, K. Food Materials Science in Egg Powder Industry. In: GRUMEZESCU, A. M.; HOLBAN, A. M. (editors). **Role of Materials Science in Food Bioengineering**. 2018. p. 505-537. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811448-3.00015-2>.

SOKHANSANJ, S.; JAYAS, D. S. Drying of Foodstuffs. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. CRC Press, 2006. p. 522-545. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

SOUZA-SOARES, L. A.; SIEWERDT, F. **Aves e Ovos**. Pelotas: Ed. Da Universidade UFPEL, 2005. 138 p.

SOUZA, P. M. et al. Functional properties and nutritional composition of liquid egg products treated in a coiled tube UV-C reactor. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.004>.

SRAMEK, M. et al. Preparation of High-Grade Powders from Tomato Paste Using a Vacuum Foam Drying Method. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 8, 2015. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12965>.

SUN, C. et al. Egg quality and egg albumen property of domestic chicken, duck, goose, turkey, quail, and pigeon. **Poultry Science**, v. 98, n. 10, p. 4516-4521, 2019. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez259> 2019.

THIRUPATHI, V.; SASIKALA, S.; RAJKUMAR, P. Studies on foam mat drying of whole egg liquid in cabinet dryer. **Madras Agricultural Journal**, v. 95, n.1-6, p. 141-150, 2008.

URETA, M. M.; OLIVERA, D. F.; SALVADORI, V. O. Influence of baking conditions on the quality attributes of sponge cake. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 2, p. 156–165, 2016. <https://doi.org/10.1177/1082013216666618>.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **FoodData Central Search Results**: Egg, whole, raw, fresh. 2019a. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171287/nutrients>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **FoodData Central Search Results**: Egg, quail, whole, fresh, raw. 2019b. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172191/nutrients>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

VAN DER PLANCKEN, I.; VAN LOEY, A.; HENDRICKX, M. E. G. Changes in Sulfhydryl Content of Egg White Proteins Due to Heat and Pressure Treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 53, p. 5726-5733, 2005. <https://doi.org/10.1021/jf050289+>.

VELIOGLU, S. D. Determination of the foaming and emulsifying properties of lyophilized whole quail egg, egg yolk and egg white. **GIDA**, v. 44, n. 5, p. 919-931, 2019. <https://doi.org/10.15237/gida.GD19113>.

WANG, W.; CHEN, M.; CHEN G. Issues in Freeze Drying of Aqueous Solutions. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 20, n. 3, p. 551-559, 2012. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(11\)60218-8](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(11)60218-8).

WENZEL, M.; SEUSS-BAUM, I.; SCHLICH, E. Influence of Pasteurization, Spray- and Freeze-Drying, and Storage on the Carotenoid Content in Egg Yolk. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 1726–1731, 2010. <https://doi.org/10.1021/jf903488b>.

ZAMORA, R; HIDALGO, F. J. The Maillard reaction and lipid oxidation. *Lipid Technology*, v. 23, n. 3, 2011. <https://doi.org/10.1002/lite.201100094>.

ZAREIN, M.; SAMADI, S. H.; GHOBADIAN, B. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>.

ZIELINSKA, M.; ZIELINSKA, D. Effects of freezing, convective and microwave-vacuum drying on the content of bioactive compounds and color of cranberries. **LWT - Food Science and Technology**, v. 104, p. 202–209, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.041>.

**CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DE OVOS DE CODORNA EM PÓ
PRODUZIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM**

2 CARACTERIZAÇÃO DE OVOS DE CODORNA EM PÓ PRODUZIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

2.1 Introdução

O ovo de codorna é um alimento proteico rico em vitaminas e minerais e fornece todos os aminoácidos essenciais, sendo, portanto, muito nutritivo (SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005). Porém, ainda é um alimento pouco consumido mundialmente, apesar da composição muito semelhante à do ovo de galinha (USDA, 2019a, 2019b), que representa 93% da produção mundial de ovos (FAO, 2021a). O Brasil produziu 4,6 bilhões de dúzias de ovos de galinha em 2019, enquanto 315,6 milhões de dúzias de ovos de codorna foram produzidas neste mesmo período (IBGE, 2020a).

Alguns inconvenientes justificam o menor consumo do ovo de codorna em relação ao ovo de galinha, tais como, pequeno tamanho (aproximadamente 1/5 do ovo de galinha), que inviabiliza sua utilização como ingrediente, especialmente em grande escala, e maior fragilidade da casca (PANDA; SINGH, 1990; SUN et al., 2019), que promove perdas significativas durante a cadeia produtiva.

A secagem é um método de conservação que além de prolongar consideravelmente a vida útil do ovo de codorna, resolve os inconvenientes citados anteriormente, podendo impulsionar seu consumo, visto que o ovo em pó é um alimento muito fácil de transportar, armazenar e ser aplicado em formulações (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013; SANGAMITHRA et al., 2014; BELYAVIN, 2016). A maior praticidade de logística e aplicação do ovo de codorna em pó, pode, portanto, aumentar a demanda por este produto, que tem grande potencial nutricional e funcional (KUDRE et al., 2018) e que pode ser utilizado como ingrediente no desenvolvimento de vários produtos.

A secagem por estufa com circulação forçada de ar é um dos métodos que pode ser empregado na produção de ovo em pó, porém, expõe o alimento a temperaturas relativamente elevadas por um longo período, podendo acarretar perdas significativas de qualidade sensorial e prejuízos na capacidade de reidratação (GIRI; PRASAD, 2007). Neste método, o ar quente circulante promove a secagem do alimento, da superfície até a parte mais interna (BEZERRA et al., 2015).

A liofilização também é uma opção de secagem para produção de ovo em pó. Neste método o alimento é congelado e em seguida submetido à secagem, que ocorre em baixas temperaturas e com aplicação de vácuo, em condições abaixo do ponto triplo da água, promovendo a perda de água por sublimação, ou seja, passagem direta do estado sólido (gelo) para o estado de vapor. As condições de baixa temperatura e vácuo conferem proteção ao alimento com relação à desnaturação proteica e a danos promovidos por reações indesejáveis, como oxidação e escurecimento não enzimático, porém, é um método mais caro e demanda mais tempo (FELLOWS, 2006; JAYARAMAN; DAS GUPTA, 2006; SOKHANSANJ; JAYAS, 2006).

Kudre et al. (2018) produziram ovos de codorna e de galinha (desengordurados) em pó, integrais e fracionados em clara e gema, por liofilização, e encontraram resultados satisfatórios em relação às características do ovo de codorna em pó, que apresentou maior valor nutricional (maiores teores de aminoácidos essenciais e minerais) e maior solubilidade em relação ao ovo de galinha, essencial para uma boa reidratação, o que implica em bom potencial de aplicação do produto e reforça a importância da exploração do ovo de codorna como ingrediente para a produção de alimentos.

As secagens por liofilização e por estufa com circulação forçada de ar podem também ser realizadas com a transformação prévia do alimento em espuma, sendo este método conhecido como secagem em leito de espuma ou *foam-mat drying*. A espuma é formada por meio da batidura do alimento, adicionado de agente espumante ou estabilizante que promove a incorporação de ar na matriz alimentícia (BRYGIDYR, 1976; KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012). A estrutura porosa da espuma aumenta a área de contato do alimento e facilita a passagem de água (RAJKUMAR et al., 2007), além de promover melhor capacidade de reconstituição do pó (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012).

Embora alguns estudos de secagem de ovo de codorna já tenham sido publicados (SEGURA-CAMPOS et al., 2013; KUDRE et al., 2018; VELIOGLU, 2019), ainda há uma grande carência na literatura em relação à secagem e caracterização de ovo de codorna integral. É muito importante que mais estudos sejam realizados envolvendo a produção de ovo de codorna em pó, bem como a avaliação da interferência de diferentes métodos de secagem em suas características físico-químicas, morfológicas e capacidade de reidratação, que refletem na viabilidade do produto como ingrediente.

Tendo em vista que a secagem afeta as propriedades dos alimentos (FELLOWS, 2006), o objetivo deste estudo consiste em produzir ovo de codorna em pó por meio de diferentes métodos de secagem, avaliando de forma comparativa as características físico-químicas e morfológicas dos pós obtidos.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Obtenção da matéria-prima

Os ovos de codorna foram adquiridos no mercado local (Patos de Minas, MG), pertencentes a um único fornecedor, com no máximo 10 dias de postura, visando padronizar a matéria-prima.

2.2.2 Preparo da matéria-prima

Tanto para a realização das análises de caracterização da matéria-prima quanto para o processo de secagem, os ovos foram quebrados individualmente, homogeneizados, peneirados em peneira doméstica, para remoção de chalazas, membranas e possíveis fragmentos de cascas, e por fim, pasteurizados em banho-maria (Q334M-28, Quimis, Diadema, SP). Para a secagem do ovo em leito de espuma, os ovos foram preparados seguindo os mesmos passos, porém, com a separação de clara e gema.

Os ovos líquidos integrais foram pasteurizados a uma temperatura de 60 °C por 3,5 minutos antes de seguirem para os processos de secagem. No caso do ovo fracionado em gema e clara, estas passaram por pasteurização a 61 °C e 57 °C por 3,5 minutos, respectivamente, de acordo com o estabelecido pela Portaria nº 1, de 21 de fevereiro de 1990 (BRASIL, 1990). Após a pasteurização, as amostras foram imediatamente resfriadas em banho de gelo.

2.2.2.1 Umidade do ovo líquido pasteurizado

A umidade do ovo líquido (n = 36) foi determinada gravimetricamente, a 55 °C por 72 horas em estufa com circulação forçada de ar de acordo com metodologia adaptada de Vilela et al. (2016).

2.2.3 Preparo da espuma

Primeiramente a clara foi batida em batedeira planetária (modelo Deluxe, Arno), em velocidade 6 (~612 rpm) por 3 minutos, com adição gradual de 0,3% de goma xantana (m/m), em relação à massa total de ovo (gema + clara), para a formação de uma espuma estável. Após esta etapa, a gema foi adicionada e a mistura, previamente homogeneizada utilizando um fuê doméstico, foi batida em velocidade 1 (~492 rpm) por 1,5 minuto, para uma boa homogeneização.

Imagens da espuma, antes e após a adição de gema são apresentadas na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Clara em neve preparada com adição de 0,3% de goma xantana (A) e espuma final, com adição da gema (B).



Fonte: Autoria própria (2021).

2.2.3.1 Testes preliminares referentes à produção de espuma

Visto que o ovo batido de forma integral na batedeira não formou uma espuma consistente e estável, um novo teste com ovo fracionado foi realizado. Primeiro, a clara foi batida separadamente em velocidade 6 (~612 rpm) por 3 minutos para obter a clara em neve e em seguida a gema foi adicionada aos poucos e a mistura foi homogeneizada com fuê doméstico e por último, batida por mais 1,5 minuto em velocidade 1 (~492 rpm). Apesar de uma espuma consistente e mais volumosa, houve drenagem de líquido em um período inferior a 30 minutos.

Portanto, com a necessidade de obtenção de uma espuma mais estável para o processo de secagem, a goma xantana foi escolhida como estabilizante, com base em resultados satisfatórios obtidos em estudo de estabilidade de espuma de clara de ovo, realizado por Muthukumar, Ratti e Raghavan (2008a).

Nos novos testes, três concentrações (m/m) de goma xantana (0,2%, 0,25% e 0,3%) foram testadas. A goma foi adicionada à clara aos poucos e os tempos e velocidades de batidura se mantiveram iguais.

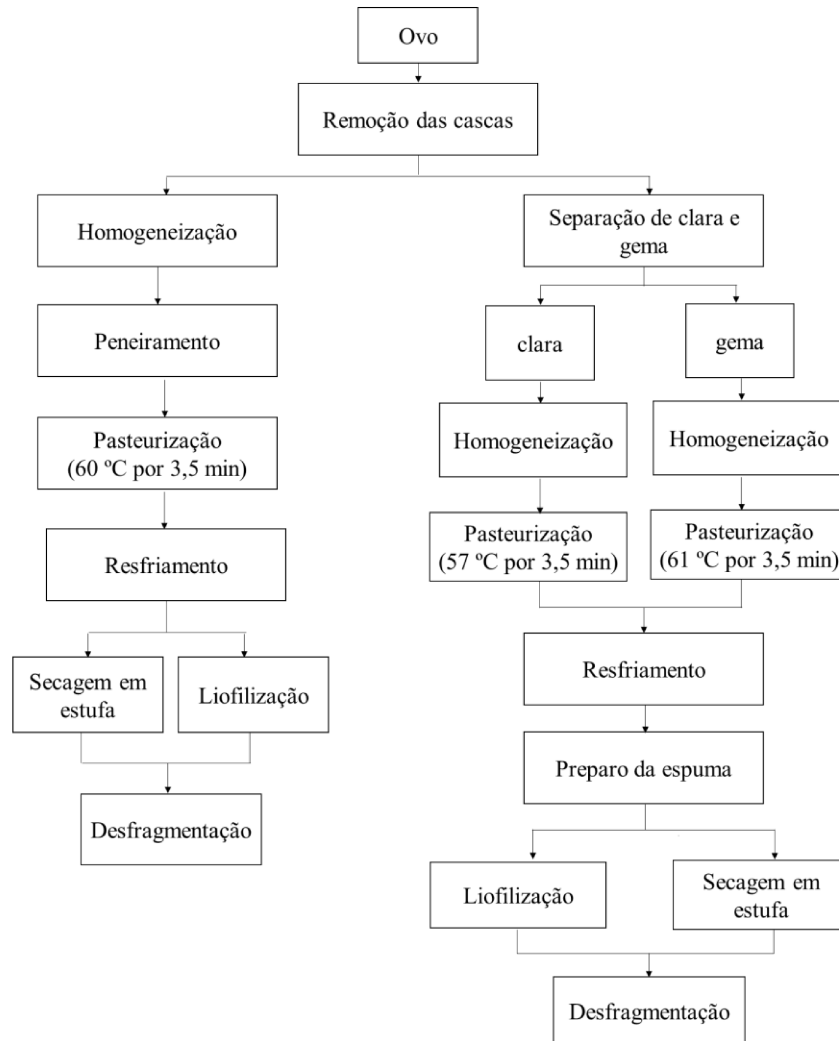
Um período de 2 horas foi estabelecido para a avaliação da estabilidade das espumas. Em temperatura ambiente todas as espumas se mantiveram estáveis, sem drenagem de líquido no período avaliado, porém, dentro da estufa, a única espuma que não apresentou drenagem de líquido foi a preparada com 0,3% de goma xantana, portanto, tal concentração foi adotada.

2.2.4 Secagem do ovo de codorna para produção de pó

Foram empregados quatro diferentes métodos de secagem para a produção de ovo de codorna em pó, sendo eles: (I) secagem do ovo líquido em estufa com circulação forçada de ar, (II) secagem em leito de espuma utilizando estufa com circulação forçada de ar, (III) liofilização do ovo líquido e (IV) liofilização em leito de espuma. Os procedimentos e condições utilizados em cada processo de secagem estão descritos na sequência. Todas as secagens foram realizadas em duplicata. Os valores de umidade relativa e temperatura do ar durante os processos de secagem foram monitorados através de termo-higrômetros digitais (AK28 new, AKSO e PD-003, Tomate).

O fluxograma dos processos de secagem é apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Fluxograma dos processos de preparo da matéria-prima e secagem.



2.2.4.1 *Secagem em estufa com circulação forçada de ar (secagem convectiva)*

Ovo em forma de espuma e ovo líquido, com massas equivalentes (90 g), foram distribuídos uniformemente sobre bandejas (25 cm de diâmetro) de alumínio recobertas com filme de teflon e submetidos à secagem a 70 °C em estufa com circulação forçada de ar (Q314M252, Quimis, Diadema, SP). O tempo de secagem para o ovo líquido foi padronizado em 5,5 h e para o ovo em forma de espuma, 3,5 h, por razão justificada no item 2.2.4.1.1.

Imagens dos ovos na forma líquida e na forma de espuma, antes e após a secagem em estufa com circulação forçada de ar, são apresentadas na Figura 2.3 e na Figura 2.4, respectivamente.

Figura 2.3 – Ovo na forma líquida, antes e após a secagem convectiva.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 2.4 – Ovo em forma de espuma, antes e após a secagem convectiva.



Fonte: Autoria própria (2021).

2.2.4.1.1 Testes preliminares referentes à secagem convectiva

Em testes realizados previamente foi determinado o tempo necessário para que as amostras, após resfriamento e desfragmentação, atingissem umidades inferiores a 4%. Apesar da mesma massa (90 g), a diferença de estrutura e volume entre o ovo líquido e espuma resultaram em uma demanda de tempo diferente para cada uma das amostras. O tempo de secagem necessário para o ovo líquido foi de 5,5 h, e para o ovo em forma de espuma, foi de 3,5 h.

2.2.4.2 Liofilização

As amostras foram congeladas em Ultra Freezer (IULT 335 D, Indrel Scientific, Tiradentes, SP) a $-59,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1,0$), onde permaneceram por pelo menos 12 horas. Posteriormente, foram liofilizadas em Liofilizador (L101, Liotop®, Liobras, São Carlos, SP) com pressão <

500,0 μHg ($25,6 \pm 5,9$ ao final do processo). A liofilização de ovo em forma de espuma foi realizada em 72 horas e de ovo líquido, em 48 horas, por razões justificadas no item 2.2.4.2.1.

Imagens dos ovos na forma líquida e na forma de espuma são apresentadas na Figura 2.5 e Figura 2.6, respectivamente.

Figura 2.5 – Ovo na forma líquida, antes e após a liofilização.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 2.6 – Ovo em forma de espuma, antes (congelado) e após a liofilização.



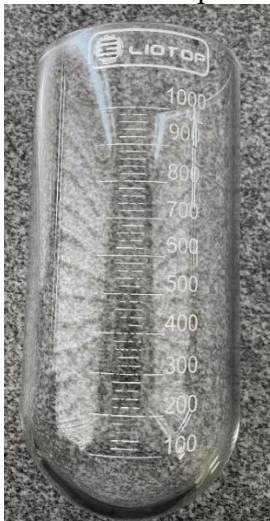
Fonte: Autoria própria (2021).

2.2.4.2.1 Testes preliminares

Em função da própria diferença na estrutura e volume (de uma mesma massa) das amostras (ovo líquido e em forma de espuma), já era esperado que o tempo necessário para a liofilização fosse diferente entre elas. Além disso, o grande volume da espuma tornou inviável sua secagem apenas em bandejas, como ocorreu com as amostras líquidas, pois seriam necessárias várias bateladas para produzir o pó necessário para a realização de todas as análises. Assim, os tubos de vidro (Figura 2.7) que acompanham o equipamento também foram utilizados na secagem do ovo em forma de espuma. Como os tubos são mais estreitos e longos

que as bandejas, e em função do maior volume de amostra a ser liofilizado, era esperado que um tempo maior de liofilização fosse necessário nesse caso, o que foi confirmado com testes utilizando diferentes tempos de secagem (24, 48 e 72 horas).

Figura 2.7 – Tubo de vidro utilizado para liofilização de espuma.



Fonte: A autoria própria (2021).

Para o ovo líquido, foram necessárias 48 horas de liofilização e para o ovo em forma de espuma, foram necessárias 72 horas, portanto, tais tempos foram adotados.

2.2.5 Desfragmentação dos ovos secos

O produto obtido da secagem convectiva de ovo líquido foi triturado utilizando um processador doméstico (mixer) com potência de 400 W (R1136/41, Philips Walita), aplicando pulsos por 40 segundos (em modo normal), devido à sua estrutura mais compacta e rígida. Os demais, com estrutura porosa e frágil, foram desfragmentados utilizando almofariz e pistilo, até obter um material visualmente uniforme.

2.2.6 Caracterização dos pós de ovos de codorna

Em todos os itens a seguir será informado o número de dados total (n) para cada análise, que se refere ao número de replicatas multiplicado pelo número de repetições de cada secagem (= 2).

2.2.6.1 Umidade

A umidade foi determinada gravimetricamente, por secagem em estufa com circulação forçada de ar (Q314M252, Quimis, Diadema, SP) a 105 °C (RANNOU et al., 2015). As análises foram realizadas em quadruplicata (n = 8).

2.2.6.2 Atividade de água

A atividade de água foi mensurada por leitura direta utilizando analisador de atividade de água (LabSwift – aw, Novasina, Lachen, Suíça). As análises foram realizadas em triplicata (n = 6).

2.2.6.3 Cor

A cor dos pós foi determinada por colorímetro (CR-400, Konica Minolta, Ramsey, NJ) com ângulo de visualização de 0° e iluminante C, previamente calibrado. As cores, mensuradas na escala CIE L*a*b* foram expressas em termos de luminosidade (L* = 0: preto e L* = 100: branco) e cromaticidade (- a* = verde e + a* = vermelho; - b* = azul e + b* = amarelo). As análises foram realizadas em sextuplicata (n = 12).

2.2.6.4 Morfologia das partículas por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Os experimentos e análises envolvendo microscopia eletrônica foram realizados no Laboratório Multiusuário do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil. As amostras foram recobertas com ouro a 25 °C e analisadas em microscópio eletrônico de varredura (VEGA 3, TESCAN, Brno – Kohoutovice, Czech Republic). Não houve necessidade de replicatas nesta análise.

2.2.6.5 Densidade bulk inicial e densidade bulk empacotada

A densidade *bulk* inicial foi determinada pela razão entre massa (2 g) e volume de pó, mensurado por meio de proveta graduada, e a densidade *bulk* empacotada (*packed bulk density*), foi determinada batendo a proveta repetidamente sobre uma bancada por 100 vezes a uma altura

de 10 cm para obter a razão entre massa e volume empacotado (GOULA; ADAMOPOULOS; KAZAKIS, 2004). As análises foram realizadas em quadruplicata (n = 8).

2.2.6.6 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com Tonon, Brabet e Hubinger (2008). Amostras com aproximadamente 1 g de cada pó foram acondicionadas em cadinhos codificados e acondicionadas em dessecador com solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) a 25 °C, com atmosfera com 75,29% de umidade relativa. Após sete dias, as amostras foram pesadas novamente e a higroscopicidade foi expressa em percentual de água adsorvida (g de água por 100 g de matéria seca). As análises foram realizadas em quadruplicata (n = 8).

2.2.6.7 Análises referentes às etapas de reidratação dos pós

2.2.6.7.1 Dispersão e dissolução em água

As metodologias de dissolução e dispersão em água dos ovos de codorna em pó foram baseadas em estudo de Tang et al. (2019).

Para a análise visual de dispersão e dissolução em água, 1 g de pó e 100 mL de água destilada, à temperatura ambiente, foram misturados suavemente com 10 movimentos circulares utilizando um bastão de vidro. As misturas foram observadas e fotografadas após 30 segundos, 10 minutos, 30 minutos e 1 hora. As análises foram realizadas em triplicata (n = 6).

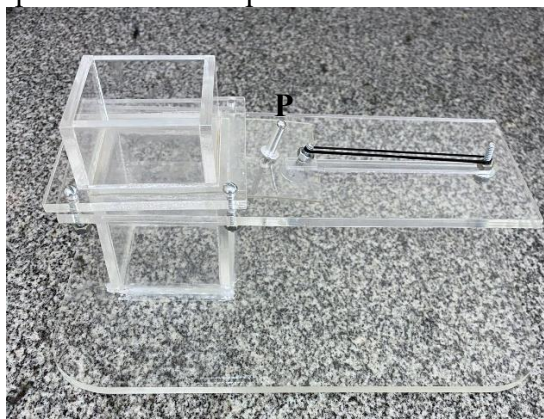
Para a análise quantitativa de dissolução em água (DA), uma suspensão de 0,3 g de ovo em pó em 30 mL de água destilada foi agitada em vórtex (Quimis, Diadema, SP) à velocidade 4 por 5 minutos e centrifugada a 5000 rpm por 10 minutos em centrífuga (Z326K, Lobov Científica, São Paulo, SP). Posteriormente, 10 mL de sobrenadante foi seco a 105 °C por 6 horas em estufa convectiva e a dissolução foi calculada a partir da Equação (1). As análises foram realizadas em quadruplicata (n = 8).

$$DA (\%) = \frac{\text{peso (g) de sólido no sobrenadante} \times 3}{\text{peso (g) da amostra}} \times 100 \quad (1)$$

2.2.6.7.2 Molhabilidade (tempo de molhamento)

A molhabilidade dos pós foi determinada de acordo com metodologia adaptada de Dacanal e Menegalli (2010), utilizando um aparato de acrílico composto por uma lâmina móvel e um reservatório de água (dimensão de $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$), conforme ilustrado na Figura 2.8. Primeiramente, 1 g de pó foi colocado sobre a lâmina, localizada acima do reservatório, contendo 80 mL de água destilada, à temperatura ambiente. Em seguida, a lâmina foi deslocada por meio da remoção do pino (P) e tração exercida pelo elástico preto. A molhabilidade foi expressa como o tempo necessário para que todas as partículas se molhassem e submergissem. As análises foram realizadas em quadruplicata ($n = 8$).

Figura 2.8 – Aparato de acrílico para análise de molhabilidade.



Fonte: Autoria própria (2021).

2.2.6.7.3 Tempo de reidratação

Para mensurar o tempo de reidratação, 0,5 g de pó foi adicionado a 50 mL de água destilada, à temperatura ambiente, em um béquer de 100 mL. A mistura foi agitada em chapa de agitação magnética (C-MAG HS 7, IKA, Campinas, SP) a velocidade 3 com imã de $0,6 \times 2,5 \text{ cm}^2$ por um tempo suficiente para o desaparecimento das partículas a olho nu (DARNIADI; HO; MURRAY, 2018). As análises foram realizadas em quadruplicata ($n = 8$).

2.2.7 Análise estatística

Os dados foram tratados utilizando análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias (Tukey). Foi realizado também um teste de correlação de Pearson entre as variáveis: umidade, densidade inicial, densidade empacotada, higroscopicidade, dissolução,

molhabilidade e tempo de reidratação. As análises foram realizadas com nível de confiança de 95%, utilizando o *software* Statistica 7.0 (StatSoft Inc, Tulsa, OK, USA). Os resultados foram apresentados como média \pm desvio padrão (SD).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Umidade do ovo líquido pasteurizado

A umidade do ovo líquido pasteurizado foi de 72,81% ($\pm 0,36$), semelhante ao valor disposto na tabela de composição de ovos de codorna frescos da United States Department of Agriculture, de 74,35% (USDA, 2019b).

Como o ovo é um alimento com alto percentual de água, sua secagem para a produção de ovo em pó é um processo muito relevante na redução de volume e contribui consideravelmente para a otimização de espaço de embalagem e transporte (LECHEVALIER; NAU; JEANTET, 2013; BELYAVIN, 2016).

2.3.2 Caracterização dos pós

2.3.2.1 Correlação de Pearson

Os coeficientes de correlação de Pearson, dispostos na Tabela 2.1, indicam se há correlação ou não entre as variáveis relacionadas, e se determinada correlação é positiva ou negativa, auxiliando as discussões dos próximos itens.

Tabela 2.1 - Correlação de Pearson.

	Umidade	Densidade inicial	Densidade empacotada	Higroscop.*	Dissolução	Molhabilidade	Tempo de reidratação
Umidade	1,000	0,655	0,622	-0,857	-0,789	-0,228	0,829
	p= ---	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,000	p=,210	p = 0,000
Densidade inicial	0,655	1,000	0,941	-0,762	-0,897	-0,578	0,908
	p = 0,000	p = ---	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,001	p = 0,000
Densidade empacotada	0,622	0,941	1,000	-0,739	-0,874	-0,516	0,835
	p = 0,000	p = 0,000	p = ---	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,002	p = 0,000
Higroscop.*	-0,857	-0,762	-0,739	1,000	0,915	0,316	-0,908
	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,000	p = ---	p = 0,000	p=,078	p = 0,000
Dissolução	-0,789	-0,897	-0,874	0,915	1,000	0,342	-0,967
	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,000	p = ---	p=,055	p=0,000
Molhabilidade	-0,228	-0,578	-0,516	0,316	0,342	1,000	-0,423
	p=,210	p = 0,001	p = 0,002	p = 0,078	p = 0,055	p = ---	p = 0,016
Tempo de reidratação	0,829	0,908	0,835	-0,908	-0,967	-0,423	1,000
	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,000	p = 0,016	p = ---

*Higroscop.: higroscopicidade. Os valores em vermelho ($p < 0,05$) indicam correlação significativa, com 95% de confiança. Coeficientes positivos indicam correlação positiva e valores negativos indicam correlação negativa.

2.3.2.2 Umidade e atividade de água

Os resultados referentes às análises de umidade dos ovos de codorna em pó estão dispostos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Valores de umidade dos ovos de codorna em pó.

Amostras	Umidade b.u. (%)
<i>Ovo em pó</i>	
L-EST	3,17 ± 0,62 ^a
E-EST	2,22 ± 0,13 ^b
L-LIOF	1,11 ± 0,27 ^c
E-LIOF	1,64 ± 0,63 ^{b,c}

b.u.: base úmida; L-EST: produzido por secagem convectiva convencional; E-EST: produzido por secagem convectiva, em leito de espuma; L-LIOF: produzido por liofilização convencional; E-LIOF: produzido por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

Apesar da diferença de umidade entre os pós, até mesmo o pó L-EST, que foi o mais úmido, apresentou umidade final inferior a 4%, limite máximo permitido de acordo com a Resolução nº 5 de 05 de julho de 1991, que trata sobre o Padrão de Identidade e Qualidade para o Ovo Integral (BRASIL, 1991).

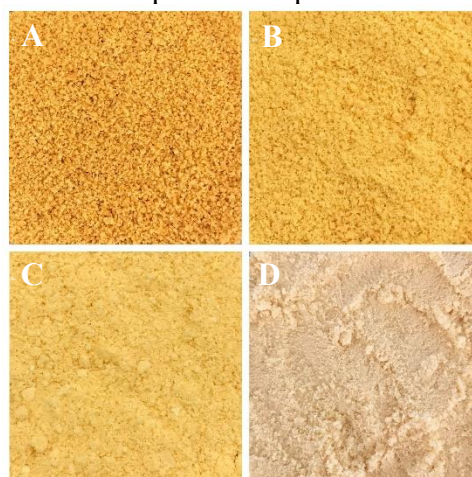
Os valores de atividade de água para todos os pós foram inferiores à 0,2, sem diferença significativa entre os mesmos (resultados não apresentados). De forma geral, para alimentos secos comercializados, valores máximos de 0,3 para atividade de água e 5% de umidade (b.u.) são tomados como referência, pois dificultam o crescimento microbiano, além de evitar escurecimento não enzimático e reações enzimáticas indesejáveis (LAVELLI; VANTAGGI, 2009; HENRÍQUEZ et al., 2013; SANGAMITHRA et al., 2014). Para o ovo integral em pó, valores de umidade de até 5% e atividade de água de até 0,4 geralmente são estabelecidos para uma boa estabilidade do produto (KOÇ et al., 2011a). Embora valores altos de atividade de água possam promover reações indesejáveis, em diversos alimentos, valores de atividade de água inferiores a 0,2, geralmente propiciam reações de oxidação lipídica (VU et al., 2019). Portanto, o ideal seria realizar um estudo detalhado da interferência de diferentes valores de atividade de água na estabilidade do ovo de codorna em pó ao longo do armazenamento para definir um intervalo ideal para comercialização.

Em estudo realizado por Koç et al. (2011b), ovo integral em pó foi produzido por *spray-drying*, com temperatura de ar de entrada de 171,8 °C, com e sem adição de material de parede (lactose, gelatina e pullulan). Os valores de umidade e atividade de água variaram de 1,83% a 3,35% (b.u.) e 0,094 a 0,180, respectivamente, coerentes com os valores obtidos para os ovos de codorna em pó produzidos no presente estudo. Em outro estudo realizado por Orishagbemi, Ichado e Sanda (2017), ovo de galinha poedeira, não fertilizado, seco em leite de espuma (sem estabilizante) a 60 °C por 5 horas, com adição de metabissulfito de sódio e trifosfato de cálcio, apresentou umidade final de 4,8% (b.u.).

2.3.2.3 Cor instrumental

Fotografias dos ovos de codorna em pó obtidos pelos diferentes métodos de secagem são apresentadas na Figura 2.9.

Figura 2.9 – Ovos de codorna em pó obtidos pelos diferentes métodos de secagem.



A, B, C e D correspondem às imagens dos pós L-EST: produzido por secagem convectiva convencional; E-EST: produzido por secagem convectiva, em leito de espuma; L-LIOF: produzido por liofilização convencional; E-LIOF: produzido por liofilização, em leito de espuma.

O pó L-EST apresentou a coloração mais escura dentre os demais, seguido do pó E-EST, como pode ser confirmado pelos resultados dispostos na Tabela 2.3. Os menores valores de L^* destes pós, indicam luminosidade mais baixa (pós mais escuros) e os maiores valores de a^* e b^* indicam coloração avermelhada/amarelada mais acentuada. A cor do ovo em pó é um parâmetro de qualidade muito importante, visto que interfere na cor dos produtos aos quais será adicionado, e conseqüentemente na aceitabilidade pelo público consumidor. Portanto, um pó muito escuro pode causar rejeição sensorial (KOÇ et al., 2011a).

Tabela 2.3 – Resultados das análises de cor dos ovos de codorna em pó.

Amostras	Cor		
	L^*	a^*	b^*
<i>Ovo em pó</i>			
L-EST	$24,28 \pm 0,82^a$	$6,31 \pm 0,31^a$	$23,11 \pm 0,33^a$
E-EST	$30,05 \pm 0,68^b$	$3,79 \pm 0,22^b$	$21,64 \pm 0,61^b$
L-LIOF	$34,10 \pm 0,94^c$	$2,11 \pm 0,17^c$	$19,13 \pm 0,26^c$
E-LIOF	$34,88 \pm 1,33^c$	$1,20 \pm 0,31^d$	$15,88 \pm 0,88^d$

b.u.: base úmida; L-EST: produzido por secagem convectiva convencional; E-EST: produzido por secagem convectiva, em leito de espuma; L-LIOF: produzido por liofilização convencional; E-LIOF: produzido por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

Na secagem em estufa, devido à exposição ao oxigênio e alta temperatura, ocorre oxidação de carotenoides, responsáveis pela cor da gema (JAYARAMAN; DAS GUPTA, 2006; JAN et al., 2018) e formação de compostos escuros, provenientes tanto da reação de Maillard quanto da oxidação lipídica (HAMMERSHØJ; PETERS; ANDERSEN, 2004; ZAMORA; HIDALGO, 2011). A reação de Maillard no ovo ocorre devido à presença de glicose e grupos amina livres, provenientes dos aminoácidos (LAVELLI; VANTAGGI, 2009; RAO; LABUZA, 2012), enquanto a oxidação lipídica ocorre pela interação de lipídeos com o oxigênio (ZAMORA; HIDALGO, 2011). Tais ocorrências podem justificar as colorações mais escuras dos pós obtidos por secagem em estufa convectiva.

O pó E-EST apresentou maior luminosidade e coloração avermelhada/amarelada mais suave em relação ao L-EST, o que pode ser atribuído a diversos fatores, dentre eles, o menor tempo de secagem do ovo em forma de espuma. O ovo em forma de espuma tende a perder água mais rapidamente devido à estrutura alveolar da espuma, que aumenta a área de contato do alimento com o ar quente de secagem, além de facilitar a passagem de água por capilaridade através dos filmes líquidos que circundam as bolhas de ar (RAJKUMAR et al., 2007). As bolhas de ar da espuma também podem ter contribuído com a redução de reações de escurecimento, por meio de uma possível proteção do ovo ao superaquecimento (KANDASAMY et al., 2014).

A presença de goma xantana no pó E-EST também pode ter contribuído para uma cor mais suave, por ser um material de coloração branca, apesar de ter sido adicionada em pouca quantidade (aproximadamente 1%, em base seca, no pó). Outro fator que pode ter contribuído para uma coloração mais clara do pó E-EST em comparação ao L-EST é o teor mais baixo de umidade deste pó (Tabela 2.2), que resulta em menor reflexão de luz pelas partículas e conseqüentemente, menor destaque da coloração dos pigmentos (RAO et al., 2012).

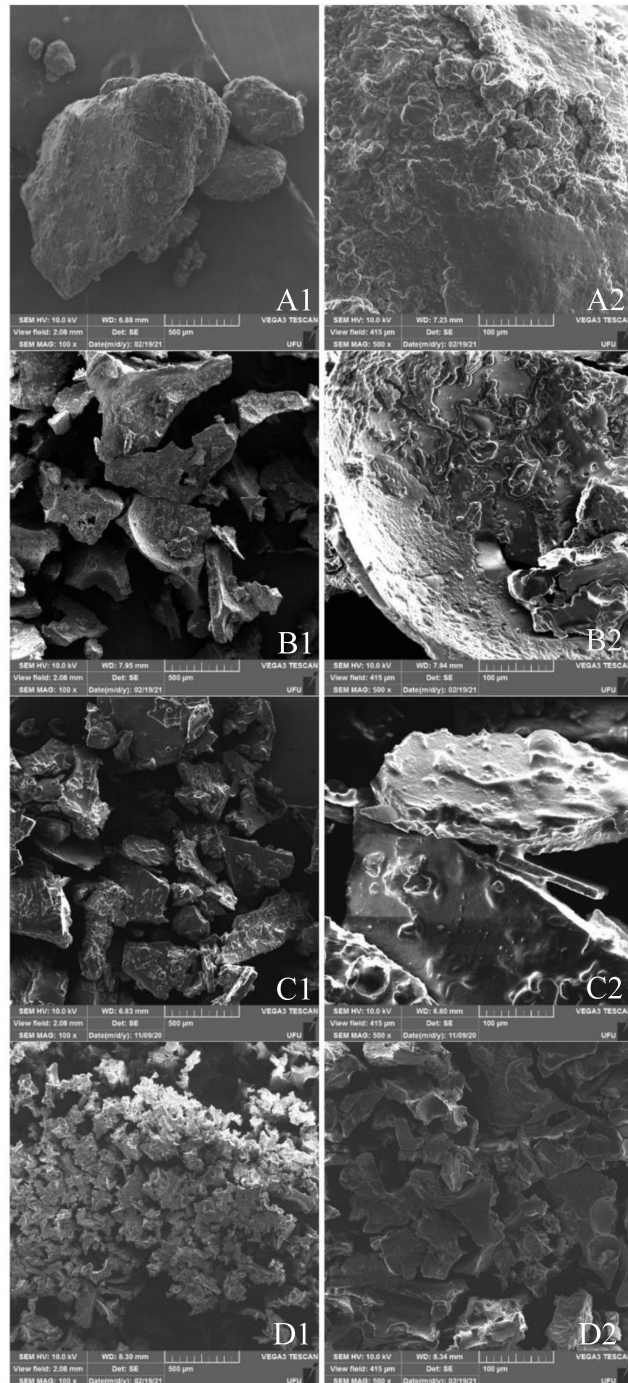
Os pós produzidos por liofilização apresentaram colorações menos escurecidas, o que já era esperado, pois este processo evita reações indesejáveis, como oxidação e reação de Maillard, uma vez que ocorre sob vácuo, em baixas temperaturas e praticamente em ausência de água livre, devido ao congelamento prévio da amostra (HAMMERSHØJ; PETERS; ANDERSEN, 2004; LIAPIS; BRUTTINI, 2006; RAHMAN, 2006).

Comparando os pós L-LIOF e E-LIOF, pode-se notar que a presença de goma xantana não interferiu na luminosidade, mas pode ter sido responsável por valores mais baixos de a^* e b^* (coloração avermelhada/amarelada mais suave).

2.3.2.4 Morfologia das partículas por MEV

As imagens das partículas dos pós, obtidas por microscopia eletrônica de varredura, são apresentadas na Figura 2.10.

Figura 2.10 – Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos ovos de codorna em pó.



A1 e A2, B1 e B2, C1 e C2, D1 e D2, correspondem às imagens dos pós L-EST: produzido por secagem convectiva convencional; E-EST: produzido por secagem convectiva, em leito de espuma; L-LIOF: produzido por liofilização convencional; E-LIOF: produzido por liofilização, em leito de espuma, com ampliações de 100x e 500x, respectivamente.

O pó L-EST apresentou partículas densas e rugosas com formas uniformes. Por outro lado, as partículas dos pós E-EST, L-LIOF e E-LIOF, apesar de também possuírem rugosidades nas superfícies, apresentaram formas mais irregulares e menos densas. Não foi possível visualizar a presença considerável de poros nas partículas dos pós.

As áreas superficiais das partículas, que estão relacionadas às suas formas, estruturas e tamanhos, interferem nas suas interações com um fluido circundante. Quanto menores, mais porosas, menos densas e mais irregulares são as partículas, maiores são as áreas superficiais das mesmas e maior a interação partículas-fluido, o que contribui para uma melhor capacidade de reidratação dos pós (ROGERS et al., 2008; FITZPATRIK, 2013).

A partir das imagens de MEV é plausível supor que as partículas do pó L-EST apresentam as menores áreas superficiais e as partículas do pó E-LIOF apresentam as maiores áreas superficiais.

2.3.2.5 Densidade bulk e densidade bulk empacotada

Os resultados referentes às análises de densidade *bulk* dos ovos de codorna em pó estão dispostos na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Densidade *bulk* dos ovos de codorna em pó.

Amostras	Densidade <i>bulk</i> inicial (g/cm ³)	Densidade <i>bulk</i> empacotada (g/cm ³)
<i>Ovo em pó</i>		
L-EST	0,421 ± 0,041 ^a	0,539 ± 0,026 ^a
E-EST	0,224 ± 0,005 ^b	0,289 ± 0,013 ^b
L-LIOF	0,236 ± 0,015 ^b	0,365 ± 0,023 ^c
E-LIOF	0,149 ± 0,008 ^c	0,256 ± 0,023 ^d

L-EST: produzido por secagem convectiva convencional; E-EST: produzido por secagem convectiva, em leito de espuma; L-LIOF: produzido por liofilização convencional; E-LIOF: produzido por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

A densidade *bulk* inicial e a densidade *bulk* empacotada, que variam conforme tamanhos e formas das partículas, são muito importantes para prever o volume dos leitos dos pós (SCHUCK, 2011; FITZPATRIK, 2013; RANNOU et al., 2015), que influencia diretamente os custos com embalagem, acondicionamento e transporte (LECHEVALIER et al., 2011). O pó

L-EST foi o pó de maior densidade, o que implica em menor volume necessário para embalagem e transporte. Os pós E-EST e L-LIOF apresentaram densidades intermediárias e o pó E-LIOF foi o pó menos denso, o que implica em maior volume por unidade de massa, necessário para embalagem e transporte.

Foi observado que as secagens em leito de espuma resultaram em pós mais volumosos e leves em relação aos pós produzidos pela secagem de ovo de codorna na forma líquida, principalmente em razão das formas mais irregulares e estruturas mais “abertas” das partículas (Figura 2.10), que resultam em mais espaços vazios no leito. Darniadi, Ho e Murray (2018), que produziram mirtilo em pó por liofilização em leito de espuma, também associaram a baixa densidade de pó produzido por liofilização em leito de espuma às estruturas “abertas” das partículas.

A menor densidade do pó E-LIOF em relação ao pó E-EST pode ser proveniente da melhor manutenção da estrutura da espuma no processo de liofilização em comparação à secagem em estufa com circulação forçada de ar, visualmente perceptível, resultando em uma estrutura final mais porosa, conseqüentemente, pós menos densos. A maior preservação da estrutura da espuma na liofilização se deve à rigidez proporcionada pelo processo de congelamento prévio da amostra (LIAPIS; BRUTTINI, 2006).

Além dos fatores relacionados às estruturas das partículas, a umidade também apresenta correlação (positiva) com a densidade dos pós, como apresentado na Tabela 2.1.

Orishagbemi; Ichado e Sanda (2017) relataram densidade *bulk* de 0,450 g/cm³ para ovo de galinha poedeira (não fertilizado), seco em leito de espuma a 60 °C por 5 horas, em secador de bandejas com circulação de ar, com adição de metabissulfito de sódio e trifosfato de cálcio e sem adição de estabilizante. Valor este, próximo ao valor da densidade inicial do ovo de codorna L-EST.

Koç e Çabuk (2019) produziram clara de ovo em pó por secagem em leito de espuma por micro-ondas, com diferentes potências (120-720 W), e obtiveram pós com densidade *bulk* variando de 0,282 g/cm³ a 0,331 g/cm³ e densidade *bulk* empacotada de 0,416 g/cm³ a 0,514 g/cm³.

Ovo integral em pó, sem adição de material de parede, produzido por *spray-drying* em estudo realizado por Koç et al. (2011b) apresentou densidade *bulk* inicial de 0,305 g/cm³ e

densidade *bulk* empacotada de 0,493 g/cm³. Neste mesmo estudo, ovos em pó com diferentes materiais de parede foram obtidos, dentre os quais, o menos denso, microencapsulado com pullulan, apresentou densidades *bulk*, inicial e empacotada, de 0,248 g/cm³ e 0,342 g/cm³ respectivamente, enquanto o mais denso, microencapsulado com lactose, apresentou densidades *bulk*, inicial e empacotada, de 0,340 g/cm³ e 0,543 g/cm³, respectivamente. Tais valores são coerentes com os resultados obtidos para os pós provenientes dos diferentes métodos de secagem no presente estudo.

2.3.2.6 Higroscopicidade

Os resultados referentes às análises de higroscopicidade para os ovos de codorna em pó estão dispostos na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Higroscopicidade dos ovos de codorna em pó.

Amostras	Higroscopicidade (g de água adsorvida/ 100 g de matéria seca)
<i>Ovo em pó</i>	
L-EST	9,36 ± 0,82 ^a
E-EST	10,92 ± 0,29 ^b
L-LIOF	11,79 ± 0,05 ^c
E-LIOF	11,53 ± 0,37 ^{b,c}

L-EST: produzido por secagem convectiva convencional; E-EST: produzido por secagem convectiva, em leito de espuma; L-LIOF: produzido por liofilização convencional; E-LIOF: produzido por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

A higroscopicidade consiste na capacidade de absorção de água e depende de fatores, tais como, estrutura molecular, área superficial e composição das partículas (SCHUCK, 2011; BHANDARI, 2013).

Os resultados de higroscopicidade apontam para maior capacidade de absorção de água dos pós obtidos por liofilização em relação aos pós obtidos por secagem convectiva e para maior capacidade de absorção de água do pó E-EST em relação ao pó L-EST. Os resultados de higroscopicidade estão alinhados aos resultados das análises morfológicas das partículas (item 2.3.2.4), já que os pós mais higroscópicos foram também aqueles que apresentaram partículas

com estruturas menos uniformes e mais “abertas”, associadas a maiores áreas superficiais, que auxiliam a absorção de água.

Além das características das partículas, a presença de goma xantana também pode exercer influência sobre a absorção de água, uma vez que se trata de um componente higroscópico (SHARMA; GAUTAM; WADHAWAN, 2014). A adição de componentes higroscópicos ao ovo antes da secagem, inclusive, pode ser uma alternativa para melhorar a capacidade de reidratação dos pós, já que o ovo carece de componentes higroscópicos (LECHEVALIER; NAU; JEANTET, 2013). Portanto, além das características das partículas, a presença de goma xantana também pode exercer contribuição na maior capacidade de absorção de água observada para o pó E-EST em relação ao pó L-EST.

Nos pós obtidos por liofilização, porém, a goma xantana não exerceu influência na absorção de água, o que indica que as particularidades do método, que acarretam produtos com estruturas mais porosas e não retraídas (LIAPIS; BRUTTINI, 2006), são, por si só, responsáveis por originar produtos mais higroscópicos. Além disso, os ovos liofilizados apresentaram menores teores de umidade (Tabela 2.2), que provavelmente estão relacionados à maior afinidade das partículas por água.

A relação entre umidade e higroscopicidade também foi reportada por outros autores (GOULA; ADAMOPOULOS; KAZAKIS, 2004; TONON; BRABET; HUBINGER, 2008; CAPARINO et al., 2012). Em estudo realizado por Goula, Adamopoulos e Kazakis (2004) foi observada uma relação inversa entre higroscopicidade e umidade para tomate em pó, corroborando os resultados do presente estudo para ovo de codorna. Tonon, Brabet e Hubinger (2008) associaram a maior higroscopicidade de pós menos úmidos à maior capacidade de adsorção de água, promovida pelo maior gradiente de umidade entre produto e ambiente.

De acordo com a correlação de Pearson (Tabela 2.1), a higroscopicidade dos pós se correlacionou negativamente com umidade e densidade, que está relacionada às estruturas das partículas, o que condiz com as discussões acima.

2.3.2.7 Análises referentes às etapas de reidratação dos pós

Os resultados referentes às análises das etapas de reidratação dos pós são apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Análises referentes às etapas de reidratação dos ovos de codorna em pó.

Amostras	Tempo de molhamento (min)	Dissolução em água (%)	Tempo de reidratação (min)
<i>Ovo em pó</i>			
L-EST	6,09 ± 1,75 ^a	42,05 ± 4,95 ^a	> 240,00 ^a
E-EST	0,13 ± 0,03 ^b	82,94 ± 2,93 ^b	81,00 ± 15,22 ^b
L-LIOF	0,84 ± 0,33 ^b	90,37 ± 2,62 ^c	2,11 ± 0,37 ^c
E-LIOF	> 120,00 ^c	89,65 ± 2,42 ^c	4,94 ± 0,70 ^c

L-EST: produzido por secagem convectiva convencional; E-EST: produzido por secagem convectiva, em leite de espuma; L-LIOF: produzido por liofilização convencional; E-LIOF: produzido por liofilização, em leite de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

A reidratação ou reconstituição dos pós é composta pelas etapas de molhamento (absorção de água e submersão), dispersibilidade e dissolução das partículas em água. Portanto, a capacidade de reidratação, ou solubilidade dos pós, é dependente destas etapas. Quanto melhor o pó se dispersar e dissolver, maior é a sua solubilidade (SCHUCK, 2011; MITCHELL et al., 2015). O tempo para que as partículas desapareçam a olho nu, com o auxílio de agitação (tempo de reidratação) pode ser um bom indicativo de capacidade de reidratação de pós.

O pó E-LIOF demandou um tempo significativamente superior aos demais para que as partículas se molhassem e submergissem na água. Apesar da presença de goma xantana, que é um componente higroscópico, e das imagens de MEV indicarem partículas com alto potencial de interação com a água, a densidade deste pó foi muito baixa, o que pode justificar o longo tempo para que estas partículas absorvam água e afundem. De acordo com a correlação de Pearson (Tabela 2.1) a molhabilidade apresentou correlação negativa com a densidade, o que significa que, quanto maior a densidade, menor a molhabilidade. Além disso, há a possibilidade de formação de uma fina camada viscosa na superfície, devido à presença da goma xantana e partículas mais finas de pó, retardando a submersão das demais partículas agregadas. No pó E-EST, este efeito não foi observado, muito provavelmente pela ausência de partículas tão finas quanto aquelas, presentes no pó E-LIOF.

Koç e Çabuk (2019) produziram clara de ovo em pó por secagem em leite de espuma (sem adição de estabilizante) por micro-ondas, com diferentes potências (120-720 W), e a molhabilidade dos pós variou de 17,2 min a 28,7 min, tempos estes, maiores em relação ao pó E-EST e menores em relação ao pó E-LIOF. Vale ressaltar que os métodos de trituração foram similares entre o estudo citado e o presente estudo. Além da diferença em relação à composição

da clara e do ovo integral, a presença ou ausência de goma xantana pode ter contribuído para as diferenças expressivas na molhabilidade dos pós.

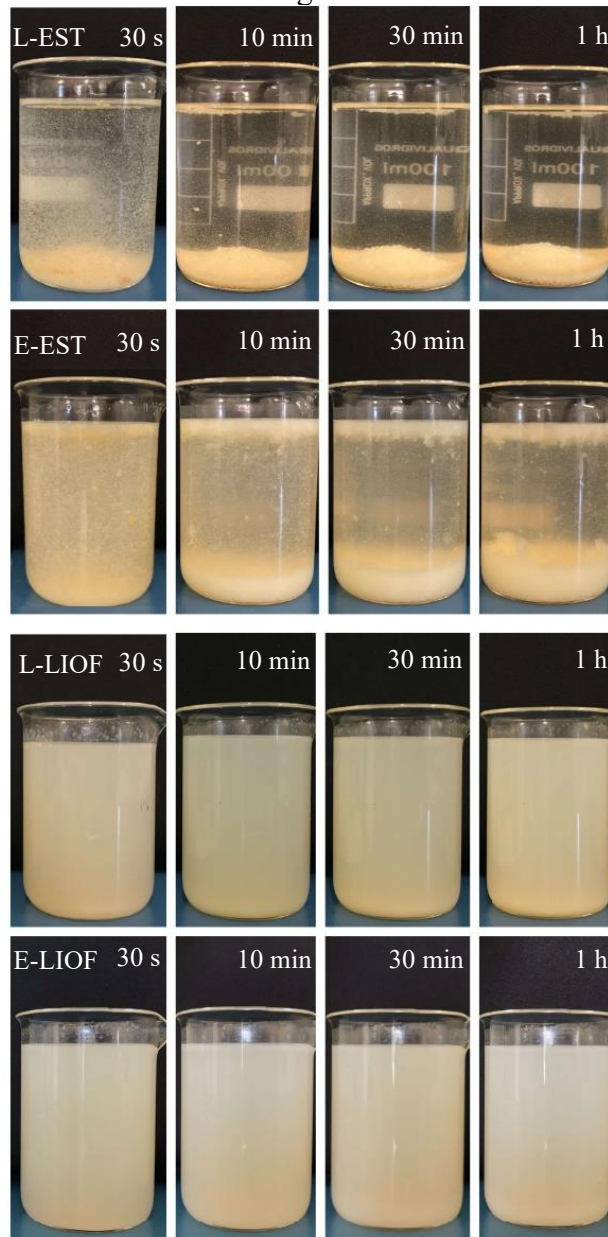
Em relação ao pó L-EST, apesar da sua maior densidade, que induz a uma associação com a rápida submersão, a maior robustez de suas partículas resulta em menor interação com a água (FITZPATRICK, 2013), o que justifica seu maior tempo de molhamento em relação aos pós E-EST e L-LIOF.

Orishagbemi, Ichado e Sanda (2017) reportaram em estudo, que ovo de galinha poedeira, não fertilizado, seco em leito de espuma, em secador de bandeja a 60 °C por 5 horas, sem estabilizante e com adição de metabissulfito de sódio e trifosfato de cálcio (moído), apresentou tempo de molhamento de 7,5 s, coerente com o resultado obtido no presente estudo para o pó produzido por secagem convectiva em leito de espuma (E-EST), que foi de 0,13 min, correspondente a 7,8 s.

Embora a dispersão e dissolução das partículas sejam consideradas duas etapas da reidratação (MITCHELL et al., 2015), enquanto ocorre dispersão, há também dissolução de pó, porém, em um primeiro momento, o processo de dispersão é dominante (FANG et al., 2011). A Figura 2.11, portanto, ilustra a dispersão e dissolução parcial dos pós em água em quatro intervalos diferentes após agitação (30 s, 10 min, 30 min e 1 h).

Os resultados referentes aos pós liofilizados, que apresentaram maior dispersão e dissolução em água, além de menor tempo de reidratação, estão alinhados com os resultados de MEV, que apontam para maiores áreas superficiais das partículas destes pós, como já discutido anteriormente, portanto, maior interação com a água. A menor dispersão e a menor dissolução em água, além do maior tempo de reidratação do pó L-EST eram esperados, visto que suas partículas interagem menos com a água em relação às partículas dos demais pós, por serem robustas, com áreas superficiais menores (FITZPATRICK, 2013). Outro fator importante a ser considerado, é o maior prejuízo à solubilidade das proteínas deste pó, em razão da sua maior exposição a temperaturas elevadas, que promove maior desnaturação, resultando na formação de agregados insolúveis (RANNOU et al., 2015).

Figura 2.11 – Análise qualitativa de dispersão e dissolução dos ovos de codorna em pó em água.



L-EST: produzido por secagem convectiva convencional; E-EST: produzido por secagem convectiva, em leito de espuma; L-LIOF: produzido por liofilização convencional; E-LIOF: produzido por liofilização, em leito de espuma.

Rannou et al. (2015) produziram gema de ovo de galinha em pó por *spray-drying* e relataram efeito negativo da temperatura de secagem na solubilidade das proteínas, indesejável em produtos alimentícios. Portanto, a desnaturação por calor deve ser controlada durante os processos de secagem que envolvem altas temperaturas, evitando perdas drásticas de solubilidade das proteínas (CAMPBELL; RAIKOS; EUSTON, 2003).

A ovalbumina, proteína predominante na clara de ovo, apresenta temperatura de desnaturação em torno de 85 °C, por outro lado, a ovotransferina ou conalbumina, que representa de 12 a 14% das proteínas da clara, se desnatura em temperaturas mais baixas, entre 55 °C e 65 °C (FRANKE; KIEßLING, 2002; SEGURA-CAMPOS et al., 2013; JAN et al., 2018; KUDRE et al., 2018), o que indica que houve desnaturação na secagem por estufa, já que a temperatura usada foi de 70 °C.

Apesar do pó E-EST ter sido produzido na mesma temperatura de secagem do pó L-EST, o tempo de secagem foi inferior (2 horas a menos) e as bolhas de ar presentes na espuma podem ter evitado o superaquecimento do produto (KANDASAMY et al., 2014), como já citado anteriormente, reduzindo prejuízos à solubilidade das proteínas. Outro fato é que a estrutura da espuma promove melhores capacidades de reidratação dos pós (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012). Além disso, a presença da goma xantana no pó E-EST também pode ter exercido papel de proteção à desnaturação das proteínas. Koç et al. (2011c) relataram redução na desnaturação de proteínas na secagem de ovo por *spray-drying* com a adição de pullulan, que assim como a goma xantana, é um polissacarídeo. A formação de ligações de hidrogênio entre carboidratos e proteínas durante a secagem promove maior proteção às suas estruturas, prevenindo a desnaturação (ANANTA; VOLKERT; KNORR, 2005; KOÇ et al., 2011c). Todos estes pontos destacados podem ter contribuído para a maior capacidade de reidratação do pó E-EST em relação ao pó L-EST.

De acordo com a correlação de Pearson (Tabela 2.1), como esperado, o tempo de reidratação apresentou correlação positiva com densidade e umidade e correlação negativa com a higroscopicidade. De forma contrária, a dissolução dos pós apresentou correlação negativa com umidade e densidade e correlação positiva com a higroscopicidade, o que indica que, quanto maior a umidade e a densidade e quanto menor a higroscopicidade, menor a dissolução e maior o tempo de reidratação. Os maiores potenciais de dispersão e dissolução, e consequentemente, menor tempo de reidratação dos pós mais higroscópicos, se deve à rápida absorção de umidade pelas partículas destes pós (BHANDARI, 2013).

2.4 Conclusão

Os ovos de codorna liofilizados apresentaram colorações mais suaves e melhores propriedades de reidratação em relação aos ovos de codorna secos em estufa. Embora o pó E-

LIOF tenha apresentado resistência em absorver água e submergir de forma espontânea, o que na prática poderia ser contornado por agitação mecânica, as demais análises apontaram para um alto potencial de reidratação deste pó. Porém, o pó L-LIOF, teve um desempenho tão bom quanto, ou até mesmo melhor, em relação à capacidade de reidratação, visto que não houve diferença significativa entre os dois pós, em relação à dissolução das partículas e tempo de reidratação, e o tempo para submersão das partículas foi significativamente menor para o pó L-LIOF. Além disso, a menor densidade do pó E-LIOF, que está associada a um pó volumoso, é um ponto negativo em relação à logística. Sendo assim, a liofilização em leito de espuma se torna inviável, uma vez que demanda mais etapas no processo (separação de clara e gema e preparo da espuma), demanda a adição de estabilizante e limita a capacidade de produção, devido ao maior volume da espuma em relação ao ovo líquido. Por outro lado, em relação à secagem convectiva, a secagem em leito de espuma proporcionou diversos benefícios, melhorando significativamente a capacidade de reidratação do ovo de codorna em pó, resultando em partículas menos robustas em comparação às partículas do pó L-EST e otimizando a interação partículas-água. O pó L-EST, além de apresentar uma baixa capacidade de reidratação, o que implica em inviabilidade de aplicação do pó como ingrediente, apresentou coloração escura, em função do maior tempo de exposição a altas temperaturas e ao oxigênio, podendo comprometer a aceitabilidade do produto. De forma geral, é plausível afirmar que o pó L-LIOF apresenta maior potencial de aplicabilidade, além de ter a mesma composição (após reidratação) do ovo de codorna *in natura*, visto que não contém adição de goma xantana.

REFERÊNCIAS

- ANANTA, E.; VOLKERT, M.; KNORR, D. Cellular injuries and storage stability of spray-dried *Lactobacillus rhamnosus* GG. **International Dairy Journal**, v. 15, p. 399–409, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.08.004>.
- BELYAVIN, C. G. Eggs: Use in the Food Industry. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. **Encyclopedia of Food and Health**. Academic Press, 2016. p. 476-479. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00245-2>.
- BEZERRA, C. V. et al. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 85, p. 750–755, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.02.027>.
- BHANDARI, B. Introduction to food powders. In: BHANDARI, B. et al. (editores). **Handbook of Food Powders: Processes and Properties**. Woodhead Publishing, 2013, p. 1-25. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.1>.
- BRASIL. 1990. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretaria de Inspeção de Produto Animal. Portaria nº 1, de 21 de fevereiro de 1990. Portaria nº 01, de 21 de fevereiro de 1990. Oficializa as Normas Gerais de Inspeção de Ovos e Derivados. **Diário Oficial da União**, Brasília, nº. 44, p.4.321, Seção1, de 06.03.1990.
- BRASIL. 1991. 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: <<https://sidago.agrodefesa.gov.br/site/adicionaispropios/protocolo/arquivos/409894.pdf>> Acesso em: 11 set. 2017.
- BRYGIDYR, A. M. **Characterization and Drying of Tomato Paste Foam Utilizing Hot-Air and Microwave Energy**. 1976. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciência). Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade de Manitoba, 1976.
- CAMPBELL, L.; RAIKOS, V.; EUSTON, S. R. Modification of functional properties of egg-white proteins Review - Modification of functional properties of egg-white proteins. **Nahrung**, v. 47, n. 6, p. 369-76, 2003. <https://doi.org/10.1002/food.200390084>.
- CAPARINO, O. A. et al. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 135–148, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>.
- DACANAL, G. C.; MENEGALLI, F. C. Selection of operational parameters for the production of instant soy protein isolate by pulsed fluid bed agglomeration. **Powder Technology**, v. 203, p. 565-573, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.06.023>.

DARNIADI, S.; HO, P.; MURRAY, B. S. Comparison of blueberry powder produced via foam-mat freeze-drying versus spray-drying: evaluation of foam and powder properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 2002-2010, 2018. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8685>.

FANG, Y. On quantifying the dissolution behaviour of milk protein concentrate. *Food Hydrocolloids*, v. 25, p. 503-510, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.07.030>.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Gateway to poultry production and products: Poultry species**. 2021a. Disponível em: <<http://www.fao.org/poultry-production-products/production/poultry-species/en/>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. Tradução de Florencia Cladera de Oliveira et al. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FITZPATRICK, J. Powder properties in food production systems. In: BHANDARI, B. et al. (editores). **Handbook of Food Powders: Processes and Properties**. Woodhead Publishing, 2013. p. 285-308. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.2.285>.

FRANKE, K.; KIEBLING, M. Influence of spray drying conditions on functionality of dried whole egg. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, p. 1837-1841, 2002. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1269>.

GIRI, S. K.; PRASAD, S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 512–521, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.021>

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G.; KAZAKIS, N. A. Influence of Spray Drying Conditions on Tomato Powder Properties. **Drying Technology**, v. 22, n. 5, p. 1129-1151, 2004. <https://doi.org/10.1081/DRT-120038584>.

HAMMERSHØJ; PETERS; ANDERSEN. The significance of critical processing steps in the production of dried egg albumen powder on gel textural and foaming properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 1039–1048, 2004. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1772>.

HENRÍQUEZ, C. et al. Storage stability test of apple peel powder using two packaging materials: High-density polyethylene and metalized films of high barrier. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 121– 127, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.032>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da Pecuária Municipal: Tabela 74 - Produção de origem animal, por tipo de produto**. 2020a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/74#notas-tabela>>. Acesso em: 21 maio 2020.

JAN, S. et al. Spoilage of Egg Products. In: GONÇALVES, O.; LEGRAND, J. Spoilage of Egg Products. Alteration of Ovoproducs: From Metabolomics to Online Control. ISTE Press - Elsevier, 2018, p. 51-156. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-271-7.50002-X>.

JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, D. K. Drying of Fruits and Vegetables. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. CRC Press, 2006. p. 606-631. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

KANDASAMY, P. et al. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2526-2534, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0812-y>.

KOÇ, M et al. Functional and physicochemical properties of whole egg powder: effect of spray drying conditions. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 2, p.141-149, 2011a. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0159-1>

KOÇ, M. et al. Physicochemical Characterization of Whole Egg Powder Microencapsulated by Spray Drying. **Drying Technology: An International Journal**, v. 29:7, p. 780-788, 2011b. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.538820>.

KOÇ, M. et al. Improving Functionality of Whole Egg Powder by the Addition of Gelatine, Lactose, and Pullulan. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 9, p. S508-S515, 2011c. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02420.x>.

KOÇ, G, Ç.; ÇABUK, B. The effect of different microwave powers on the drying kinetics and powder properties of foam-mat dried egg white powder. **GIDA**, v. 44, n. 2, p. 328-339, 2019. <https://doi.org/10.15237/gida.GD18126>.

KRASAEKOOPT, W.; BHATIA, S. Production of Yogurt Powder Using Foam-Mat Drying. **AU Journal of Technology**, v. 15, n. 3, p. 166-171, 2012.

KUDRE, T. G. et al. Comparative study on physicochemical and functional properties of egg powders from Japanese quail and white Leghorn chicken, *International Journal of Food Properties*, v. 21, n. 1, p. 956-971, 2018. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1466320>.

LAVELLI, V.; VANTAGGI, C. Rate of Antioxidant Degradation and Color Variations in Dehydrated Apples as Related to Water Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 57, p. 4733-4738 2009. <https://doi.org/10.1021/jf900176v>.

LECHEVALIER, V. et al. Processed egg products. In: NYS, Y.; BAIN, M.; IMMERSEEL, F. V. (editores). **Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Egg Chemistry, Production and Consumption**. Woodhead Publishing, 2011. p. 538-581. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.4.538>.

LECHEVALIER, V.; NAU, F.; JEANTET, R. Powdered egg. In: BHANDARI, B. et al. (editores). **Handbook of Food Powders: Processes and Properties**. Woodhead Publishing, 2013. p. 484-512. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.3.484>.

LIAPIS, A. I.; BRUTTINI, R. Freeze Drying. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. CRC Press, 2006. p. 257-281. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

MITCHELL, W. R. et al. Mapping the rate-limiting regimes of food powder reconstitution in a standard mixing vessel. **Powder Technology**, v. 270, Part B, January 2015, Pages 520-527. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.08.014>.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V. G. S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I, Optimization of Egg White Foam Stability, **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, n. 4, p. 510-512, abr. 2008a. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930801929581>.

OLIVEIRA, B. L.; OLIVEIRA, D. D. **Qualidade e tecnologia de ovos**. Lavras: Editora UFLA, 2013. 224 p.

ORISHAGBEMI, C. O.; ICHADO, I. B.; SANDA, M. E. Physical, Functional and Sensory Properties of Foam Mat Dehydrated Whole Egg Powder. **Journal of Scientific Research & Reports**, v. 15, n. 3, p. 1-7, 2017. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2017/33305>.

PANDA, B.; SINGH, R. P. Developments in processing quail meat and eggs. **World's Poultry Science Journal**, v. 46, n. 3, p. 219 – 234, 1990. <https://doi.org/10.1079/WPS19900022>.

RAHMAN, M. S. Drying of Fish and Seafood. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. CRC Press, 2006. p. 547-559. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

RAJKUMAR, P. et al. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 1452–1459, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.027>.

RANNOU, C. et al. Effect of spray-drying and storage conditions on the physical and functional properties of standard and n-3 enriched egg yolk powders. **Journal of Food Engineering**, v. 154, p. 58-68, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.002>.

RAO, Q. et al. Accelerated shelf-life testing of quality loss for a commercial hydrolysed hen egg white powder. **Food Chemistry**, v. 135, p. 464-472, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.025>.

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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.107>.

ROGERS, S. et al. Characteristics of Milk Powders Produced by Spray Freeze Drying, **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, n. 4, p. 404-412, 2008. <https://doi.org/10.1080/07373930801929003>.

SANGAMITHRA, A. et al. Foam mat drying of food materials: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2014. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12421>.

SCHUCK, P. Dehydrated Dairy Products | Milk Powder: Physical and Functional Properties of Milk Powders. In: FUQUAY, J. W. (editor). **Encyclopedia of Dairy Sciences**. 2. ed. Academic Press, 2011. P. 117-124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00122-9>.

SEGURA-CAMPOS, M. et al. Physicochemical and Functional Properties of Dehydrated Japanese Quail (*Coturnix japonica*) Egg White. **Food and Nutrition Sciences**, v. 4, p. 289-298, 2013. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.43039>.

SHARMA, A.; GAUTAM, S.; WADHAWAN, S. *Xanthomonas*. In: BATT, C. A.; TORTORELLO, M. L. **Encyclopedia of Food Microbiology**. 2. ed. 2014, p. 811-817. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00359-1>.

SOKHANSANJ, S.; JAYAS, D. S. Drying of Foodstuffs. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. CRC Press, 2006. p. 522-545. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

SOUZA-SOARES, L. A.; SIEWERDT, F. **Aves e Ovos**. Pelotas: Ed. Da Universidade UFPEL, 2005. 138 p.

SUN, C. et al. Egg quality and egg albumen property of domestic chicken, duck, goose, turkey, quail, and pigeon. **Poultry Science**, v. 98, n. 10, p. 4516-4521, 2019. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez259> 2019.

TANG, S. et al. Effect of enzymatic hydrolysis on the solubility of egg yolk powder from the changes in structure and functional properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 110, p. 214-222, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.070>.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying, **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 41-418, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **FoodData Central Search Results**: Egg, whole, raw, fresh. 2019a. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171287/nutrients>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **FoodData Central Search Results**: Egg, quail, whole, fresh, raw. 2019b. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172191/nutrients>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

VELIOGLU, S. D. Determination of the foaming and emulsifying properties of lyophilized whole quail egg, egg yolk and egg white. **GIDA**, v. 44, n. 5, p. 919-931, 2019. <https://doi.org/10.15237/gida.GD19113>.

VILELA, D. R. et al. Qualidade interna e externa de ovos de poedeiras Comerciais com cascas normal e vítrea. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 17, n. 4, p. 509-51, 2016. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v17i421535>.

ZAMORA, R.; HIDALGO, F. J. The Maillard reaction and lipid oxidation. **Lipid Technology**, v. 23, n. 3, 2011. <https://doi.org/10.1002/lite.201100094>.

**CAPÍTULO 3: PROPRIEDADES FUNCIONAIS DE OVOS DE CODORNA EM PÓ
OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM E APLICAÇÃO NA
PRODUÇÃO DE BOLOS**

3 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DE OVOS DE CODORNA EM PÓ OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM E APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE BOLO PÃO DE LÓ

3.1 Introdução

O ovo de codorna é um alimento altamente nutritivo (SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005) e pode ser aplicado na formulação de diversos produtos, porém, apesar da composição muito similar à do ovo de galinha (USDA, 2019a, 2019b), o ovo de codorna ainda é pouco consumido e explorado como ingrediente alimentício (FAO, 2021a).

A criação de codornas também conhecida como coturnicultura, é uma atividade com alto potencial de geração de renda (SHANAWAY, 1994; SOUZA-SOARES; SIEWERDT, 2005), portanto, pode trazer benefícios à economia. Em 2019 o rebanho de codornas no Brasil alcançou o número de 17,4 milhões de cabeças, valor superior aos três anos anteriores (IBGE, 2020b), o que sugere um maior investimento no setor. Neste mesmo ano a produção brasileira de ovos de codorna chegou a 315,6 milhões de dúzias (SEAPA, 2020).

Alguns fatores como a maior fragilidade da casca do ovo de codorna, que acarreta grande perda ao longo da cadeia produtiva, e seu tamanho 5 vezes menor, em relação ao ovo de galinha (PANDA; SINGH, 1990) podem contribuir para o seu menor consumo. Porém, a industrialização dos ovos de codorna pode contornar estes problemas. A secagem, por exemplo, além de estender consideravelmente a vida útil do ovo, que é um produto altamente perecível, facilita sua logística e aplicação, especialmente se tratando de escala industrial (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013; SANGAMITHRA et al., 2014; BELYAVIN, 2016).

O ovo desempenha papel muito importante na manufatura de bolos, devido, especialmente, às suas propriedades aglutinante, gelificante, espumante e emulsificante, contribuindo com a estrutura, maciez e volume, além de agregar cor e *flavor* (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; LECHEVALIER; NAU; JEANTET, 2013). Suas capacidades gelificante e aglutinante são decorrentes de proteínas presentes tanto na clara quanto na gema, enquanto a capacidade espumante se deve especialmente às proteínas da clara e a capacidade emulsificante, se deve principalmente à presença de moléculas de superfície ativa na gema, como os fosfolipídios e lipoproteínas (FRANKE; KIEßLING, 2002; DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; LECHEVALIER et al., 2011).

O bolo pão de ló ou *sponge cake* se enquadra na categoria de bolos de espuma ou *foam cakes*, que possuem textura esponjosa e macia. Os ovos são os ingredientes de maior importância em suas formulações, sendo essenciais para a formação da estrutura característica destes bolos, especialmente pela sua capacidade de formação de espuma estável. Os principais ingredientes do bolo pão de ló são farinha de trigo, ovos e açúcar (CAUVAIN, 2003; MILLER, 2016).

Na manufatura dos bolos, em um primeiro momento, o ovo atua aglutinando os ingredientes e promovendo a incorporação de ar na massa, por meio da batidura. Durante o aquecimento no forno, a capacidade do ovo em formar espuma estável contribui para o ganho de volume da massa e estabelecimento da estrutura esponjosa e macia do miolo. Sua capacidade emulsificante garante uniformidade de sabor, suavidade da massa e auxilia na estabilidade das bolhas de ar, contribuindo para a maior expansão das mesmas durante o aquecimento. A capacidade gelificante, paralelamente à desnaturação proteica, limita a expansão da massa, define a estrutura e contribui para a textura final (CAUVAIN, 2003; DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2017). A retenção de água pelo gel formado no cozimento da massa é importante para manter qualidade sensorial e maciez do bolo ao longo do armazenamento (HAMMERSHØJ; PETERS; ANDERSEN, 2004).

O uso de ovo em pó é muito conveniente, especialmente em indústrias de grande porte, devido à grande quantidade utilizada, mas também para pequenos estabelecimentos comerciais (como restaurantes, padarias, confeitarias, etc.) e para uso doméstico, trazendo vários benefícios em relação ao uso do ovo *in natura*. Em primeiro lugar, o ovo *in natura* exige um maior espaço para acondicionamento, além de possuir vida útil muito curta, enquanto o ovo em pó, ocupa um volume muito menor e possui vida útil consideravelmente estendida. Além disso, o uso do ovo em pó traz segurança microbiológica ao produto final e como consequência, às indústrias e ao próprio consumidor. A praticidade na dosagem e aplicação nas formulações também é uma grande vantagem do ovo em pó (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013; BELYAVIN, 2003, 2016).

A secagem, porém, promove alterações nas propriedades funcionais do ovo (LECHEVALIER et al., 2011). Portanto, é de extrema importância que haja uma análise criteriosa em relação ao método adequado, de modo a minimizar possíveis danos e garantir a funcionalidade do ovo como ingrediente.

Kudre et al. (2018) produziram gema, clara e ovo integral de codorna e galinha em pó (desengordurados) por liofilização e compararam os produtos obtidos em relação a propriedades físico-químicas e funcionais. Neste mesmo estudo, o ovo de codorna em pó apresentou maior valor nutricional (maiores teores de aminoácidos essenciais e minerais) e melhores propriedades funcionais (solubilidade, capacidade espumante e capacidade emulsificante) em relação ao ovo de galinha em pó, o que reforça fortemente o potencial do ovo de codorna na aplicação de diversos alimentos.

Poucos estudos envolvendo a secagem para a produção de ovo de codorna integral em pó estão disponíveis na literatura (KUDRE et al., 2018; VELIOGLU, 2019), ressaltando a grande importância da realização de novas pesquisas nesta área, com o intuito de avaliar a influência dos diversos métodos de secagem disponíveis nas características dos ovos de codorna em pó, incluindo suas propriedades funcionais, bem como sua aplicação como ingrediente na elaboração de produtos.

Tendo em vista a importância do ovo como ingrediente em bolos, o potencial do ovo de codorna como ingrediente e a conveniência do uso do ovo em pó em relação ao ovo *in natura*, este capítulo consistirá na reconstituição dos ovos de codorna em pó obtidos pelos diferentes métodos de secagem tratados no capítulo 2, na avaliação de suas propriedades físico-químicas e funcionais e aplicação na produção de bolo tipo pão de ló, comparando as funcionalidades dos ovos reidratados e do ovo líquido pasteurizado.

3.2 Material e Métodos

Nos itens a seguir será informado o número de dados total (n) para cada análise, que se refere ao número de replicatas multiplicado pelo número de repetições de cada secagem (2).

3.2.1 Reconstituição dos ovos em pó (reidratação)

Os pós foram reconstituídos com água destilada a fim de se alcançar o mesmo percentual de umidade do ovo líquido pasteurizado (72,81%). Os pós diluídos foram homogeneizados em chapa de agitação magnética C-MAG HS 7 (IKA, Campinas, SP).

3.2.1.1 *pH do ovo líquido pasteurizado e dos ovos em pó reconstituídos*

O pH foi mensurado em quadruplicata (n = 8), por leitura direta, utilizando um pHmetro (mPA-210, Tecnoyon, Piracicaba, SP) previamente calibrado.

3.2.1.2 *Cor instrumental do ovo líquido pasteurizado e dos ovos em pó reconstituídos*

A análise de cor foi realizada conforme descrito no item 2.2.6.3. A diferença global de cor (ΔE^*) foi calculada a partir da Equação (2), com o objetivo de expressar a diferença de cor dos ovos em pó reconstituídos em comparação ao ovo líquido antes da secagem. A análise foi realizada em sextuplicata (n = 12).

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

3.2.1.3 *Propriedades funcionais*

3.2.1.3.1 *Capacidade espumante e estabilidade da espuma*

As espumas foram preparadas em quadruplicata (n= 8), batendo 100 g de ovo reidratado em um batedor doméstico com potência de 400 W (R1136/41, Philips Walita), por 3 minutos em modo normal.

A capacidade espumante (C_{ESP}) dos ovos reidratados foi determinada pela razão entre volume final de espuma e massa inicial de ovo líquido, utilizando a Equação (3).

$$C_{ESP} (\%) = \frac{V_f}{M_i} \times 100 \quad (3)$$

V_f é o volume final de espuma formada e M_i é a massa inicial de ovo reidratado.

A estabilidade da espuma foi determinada de acordo com metodologia adaptada de Buhl, Christensen e Hammershøj (2019), utilizando a Equação (4).

$$EE(\%) = \frac{V_{\text{liquido } t=0} - VD_{\text{liquido } t=90\text{min}}}{V_{\text{liquido } t=0} - VD_{\text{liquido } t=1\text{min}}} \times 100 \quad (4)$$

$V_{\text{liquido } t=0}$ corresponde ao volume de ovo antes da batadura, $VD_{\text{liquido } t=1\text{min}}$ corresponde ao volume drenado de líquido após 1 minuto e $VD_{\text{liquido } t=90\text{min}}$ corresponde ao volume drenado de líquido após 90 minutos.

3.2.1.3.2 *Textura instrumental e capacidade de retenção de água (CRA) dos géis*

A produção dos géis e a análise de CRA foram realizadas de acordo com Ayadi et al. (2008) com algumas modificações. Para a produção dos géis, quatro tubos de plástico (2,4 cm de diâmetro) foram preenchidos com 30 mL de ovo reconstituído, aquecidos em um banho termostaticado a 90 °C por 15 minutos e em seguida, resfriados em banho de gelo e acondicionados por 24 h em temperatura de 3 ± 1 °C. Antes da realização das análises, as amostras foram retiradas da geladeira e acondicionadas em ambiente com temperatura controlada de 22 °C por 1 h.

Para a determinação da CRA dos géis, as amostras (~1,5 cm de comprimento por 2,4 cm de diâmetro) foram pesadas e centrifugadas a $10000 \times g$ por 30 minutos em centrífuga (Z326K, Lobov Científica, São Paulo, SP). A capacidade de retenção de água foi expressa pela Equação (5). A análise foi realizada em sextuplicata ($n = 12$).

$$CRA(\%) = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (5)$$

m_f corresponde à massa de gel após a centrifugação e m_i corresponde à massa de gel antes da centrifugação.

A análise de textura instrumental (força dos géis) foi realizada de acordo com Koç et al. (2011c), com algumas modificações. Amostras de géis (2,0 cm de comprimento por 2,4 cm de diâmetro) foram submetidas a um teste de 50 % de compressão a uma velocidade de 1 mm/s, em um texturômetro TA-XT plus (Stable Micro Systems, Godalming, UK) utilizando uma

probe circular plana de 5 cm de diâmetro. A textura foi mensurada pela força máxima (N) registrada durante o teste. A análise foi realizada em quintuplicata (n = 10).

3.2.1.3.3 *Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão*

A capacidade emulsificante dos ovos reconstituídos e a estabilidade das emulsões, foram avaliadas de acordo com Ayadi et al. (2008), com algumas modificações. Para o preparo das emulsões, 20 mL de ovo reconstituído e 50 mL de óleo de soja, adicionados gradualmente, foram homogeneizados em Ultra Turrax (T 25 D S32, IKA, Germany) a 22000 rpm por 6 minutos. A distribuição das gotas de óleo da emulsão foi analisada em microscópio binocular (AAKER Solutions, Porto Alegre, RS) com lentes objetivas de 4× e 10×. A estabilidade das emulsões foi determinada através da Equação (6), após centrifugação das emulsões a 10000 × g por 30 minutos em centrífuga Z326K (Lobov Científica, São Paulo, SP).

$$E_{emulsão} (\%) = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (6)$$

m_f corresponde à massa de emulsão após a centrifugação e m_i corresponde à massa de emulsão antes da centrifugação.

Para a remoção do óleo separado na centrifugação, foi utilizada uma seringa com agulha, comprida o suficiente para alcançar o fundo do tubo. As análises foram realizadas em quadruplicata (n = 8).

3.2.2 **Produção de bolos pão de ló**

Para a produção dos bolos uma nova batelada de ovos de codorna em pó foi produzida, por reprodução das metodologias de secagem do Capítulo 2, seguindo as mesmas condições de processo e obedecendo às mesmas padronizações.

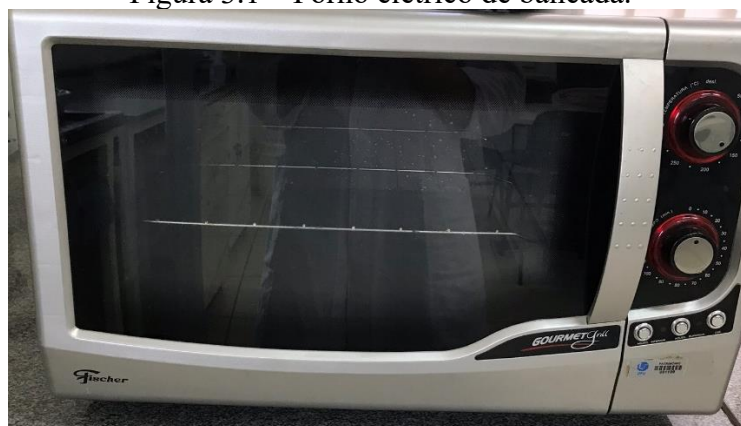
Foram produzidos bolos pão de ló com ovo de codorna líquido pasteurizado, preparado conforme descrito em 2.2.2, e com ovos de codorna em pó reidratados, obtidos pelos diferentes

métodos (secagem de ovo líquido e em leito de espuma utilizando estufa convectiva e liofilização de ovo líquido e em leito de espuma).

Os bolos foram produzidos com base em metodologias de Bustillos et al. (2020) e Goranova, Marudova e Baeva (2019), com modificações. Para a elaboração das massas, a composição (m/m) adotada foi a seguinte: 43,0% de ovo de codorna, 28,5% de farinha de trigo tradicional (Vilma Alimentos) e 28,5% de açúcar. A umidade (base úmida) da farinha (13,4% \pm 0,30) foi mensurada gravimetricamente, a 130 °C, de acordo com metodologia da *American Association of Cereal Chemists* – AACC, 44-15.02 (AACC, 1999), em triplicata, para 5 diferentes amostras (n = 15).

Para a manufatura dos bolos, primeiramente, os ovos de codorna foram batidos em batedeira Planetária (Deluxe, Arno) por 5 minutos em velocidade alta (~630 rpm). Em seguida, a velocidade da batedeira foi reduzida para velocidade média (~564 rpm) e permaneceu nesta velocidade por mais 5 minutos com adição gradual do açúcar. Na sequência, a velocidade foi ajustada novamente para alta e a mistura foi batida por mais 5 minutos. Finalmente, a farinha (peneirada) foi adicionada aos poucos e a massa foi homogeneizada levemente com o auxílio de um fuê, para evitar a perda das bolhas de ar incorporadas. Imediatamente após o preparo, as massas foram distribuídas, em quantidades iguais (220 g), em formas de alumínio (10 cm de diâmetro e 11 cm de altura) untadas com óleo e farinha de trigo e levadas ao forno pré-aquecido a 175 °C. O forno utilizado foi um forno elétrico de bancada Gourmet Grill, 1750 W (9741-13188, Fisher, Santa Catarina, SC), ilustrado na Figura 3.1. Os bolos foram assados por 38 minutos.

Figura 3.1 – Forno elétrico de bancada.



Fonte: Autoria própria (2021).

Assim que os bolos foram levados ao forno, a resistência superior foi desligada, voltando a ser ligada apenas após 15 minutos, para evitar que as crostas dos bolos se queimassem. Depois de assados, os bolos foram resfriados por 1 h em temperatura ambiente, protegidos da circulação de ar, e então, removidos das formas. Os bolos desenformados permaneceram por mais 1 h sem embalagem, para atingirem temperatura ambiente e só então foram embalados, individualmente, em dois sacos plásticos herméticos (fechamento em zíper). Os bolos foram caracterizados após 24 horas de descanso, com base em estudos de Bustillos et al. (2020) e Moiraghi et al. (2013).

Foram produzidas duas bateladas por formulação, cada uma composta por quatro bolos, totalizando 8 bolos por formulação.

3.2.2.1 Caracterização das massas

As massas utilizadas nesta etapa de caracterização, foram preparadas exatamente como descrito em 3.2.2.

3.2.2.1.1 Umidade

A umidade das massas foi mensurada gravimetricamente, a 105 °C, até peso constante (GORANOVA; MARUDOVA; BAEVA, 2019). A análise foi realizada em triplicata (n = 6).

3.2.2.1.2 Gravidade específica das massas

A gravidade específica, ou densidade relativa, foi determinada pela razão entre o peso de um determinado volume de massa e o peso de um volume equivalente de água (Lu et al., 2010). A análise foi realizada em quadruplicata (n = 8).

3.2.2.1.3 Viscosidade aparente das massas

A análise de viscosidade foi realizada em viscosímetro Brookfield DV II + Pro RV (D, Brookfield Engineering Laboratories, Middleboro, USA) com *spindle* T-C (código de entrada 93). Imediatamente após o preparo, 500 mL de massa foram transferidos para um béquer de vidro de mesmo volume e a viscosidade foi mensurada a 6 rpm. A viscosidade aparente foi

reportada como a média dos valores lidos durante o experimento. Para cada formulação foram produzidas duas bateladas de massa ($n = 2$).

3.2.2.2 Avaliação dos bolos

3.2.2.2.1 Peso final e perda de água

Os bolos foram pesados em balança semi-analítica (BL3200H, Shimadzu, Kyoto, Japão) e a perda de água (%) foi determinada pela diferença de peso em relação à massa crua.

3.2.2.2.2 Volume

O volume foi determinado pelo deslocamento de painço, de acordo com metodologia adaptada de Lu et al. (2010). Cada forma utilizada para assar os bolos foi preenchida com painço até o limite. Os painços foram transferidos para uma proveta graduada e o volume da forma vazia foi registrado como V1. Em um segundo momento, cada bolo foi acomodado dentro de uma forma e o espaço vazio foi preenchido com painço. Novamente os painços foram transferidos para uma proveta graduada para averiguar o volume, registrado como V2. A diferença entre V1 e V2 corresponde ao volume do bolo (V3). O volume específico foi calculado pela razão entre o volume do bolo e sua massa. A análise foi realizada em quadruplicata ($n = 8$).

3.2.2.2.3 Cor instrumental

A análise de cor dos miolos ($n = 16$) dos bolos foi realizada conforme descrito no item 2.2.6.3. Em função da desuniformidade de cores e formas das crostas, que impossibilitaram a análise instrumental, suas cores foram avaliadas apenas visualmente.

3.2.2.2.4 Umidade

A umidade foi determinada gravimetricamente de acordo com Deleu et al. (2019), com pequenas modificações. Amostras de aproximadamente 2 g de bolo, previamente pesadas, foram levadas à estufa convectiva (Q314M252, Quimis, Diadema, SP) a 130 °C por 2 horas e

a umidade foi determinada por diferença de peso. A análise foi realizada em triplicata para cada um dos bolos produzidos ($n = 24$).

3.2.2.2.5 *Textura instrumental*

A análise de textura foi realizada de acordo com metodologia de Salehi et al. (2016), com pequenas modificações, utilizando um analisador de textura TA-XT Plus com software Exponent 5.1.1.0 (Stable Micro Systems, Godalming, UK) e uma probe circular plana de 5 cm de diâmetro. Amostras de $2 \times 2 \times 2$ cm, cortadas das regiões medianas de cada bolo, excluindo as crostas, foram submetidas a uma análise 50% de compressão (ciclo duplo) e velocidade de teste de 1 mm/s. Outros parâmetros ajustados foram: velocidades pré-teste e pós-teste de 2 mm/s e força de gatilho de 5 g. Os resultados foram expressos como dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência. A análise foi realizada em quadruplicata para cada um dos bolos produzidos ($n = 32$).

3.3 Análise estatística

Os dados foram tratados utilizando análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias (Tukey). Foi realizado também um teste de correlação de Pearson para as variáveis referentes às análises das massas e dos bolos (exceto massa final do bolo). As análises foram realizadas com nível de confiança de 95%, utilizando o *software* Statistica 7.0 (StatSoft Inc, Tulsa, OK, USA). Os resultados foram apresentados como média \pm desvio padrão (SD).

3.4 Resultados e discussão

3.4.1 Caracterização físico-química dos ovos de codorna em pó reconstituídos

3.4.1.1 pH

Os resultados referentes às análises de pH do ovo de codorna líquido pasteurizado e dos ovos em pó após reconstituição estão dispostos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – pH do ovo de codorna líquido pasteurizado e dos ovos de codorna em pó após reconstituição.

Amostras	pH
<i>Ovo líquido pasteurizado</i>	7,98 ± 0,07 ^a
<i>Ovo em pó reconstituído</i>	
L-EST	8,63 ± 0,01 ^b
E-EST	8,84 ± 0,03 ^c
L-LIOF	9,01 ± 0,04 ^d
E-LIOF	9,03 ± 0,07 ^d

L-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em leito de espuma; L-LIOF: ovo seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: ovo seco por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

Os valores de pH dos ovos de codorna em pó reconstituídos foram superiores ao pH do ovo de codorna líquido pasteurizado, assim como relatado em estudo de Ayadi et al. (2008), que observaram um aumento de pH para ovo integral de galinha após o processo de secagem por *spray-drying*, de 7,61 (ovo fresco), para 8,20 (após a secagem).

A elevação do pH é justificada pela descarbonatação do ovo durante o processo de secagem (HILL et al., 1965; AYADI et al., 2008), que pode ocorrer pela perda de dióxido de carbono na forma de ácido carbônico (HILL et al., 1965). Em pH 7,6, por exemplo, próximo ao valor relatado para o pH do ovo líquido pasteurizado, aproximadamente 6% do dióxido de carbono presente está na forma de ácido carbônico (COTTERILL et al., 1959). A exposição de aminoácidos básicos, em razão das mudanças estruturais das proteínas durante a secagem, como lisina e arginina, também pode contribuir para essa elevação de pH (AYADI et al., 2008).

Em relação aos ovos de codorna em pó reconstituídos, os menores valores de pH dos ovos secos em estufa convectiva, podem estar relacionados à formação de compostos ácidos em função da ocorrência de reação de Maillard, devido à alta temperatura de secagem (MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2001; CEPEDA-VÁZQUEZ et al., 2018).

3.4.1.2 Cor instrumental

Os resultados referentes às análises de cor do ovo de codorna líquido pasteurizado e dos ovos de codorna em pó após reconstituição estão dispostos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Resultados referentes às análises de cor do ovo de codorna líquido pasteurizado e dos ovos de codorna em pó reconstituídos.

Amostras	Cor			ΔE
	L*	a*	b*	
<i>Ovo líquido pasteurizado</i>	57,74 ± 1,05 ^a	1,49 ± 0,23 ^a	26,03 ± 1,00 ^a	na*
<i>Ovo em pó reconstituído</i>				
L-EST	63,21 ± 1,52 ^b	3,96 ± 0,30 ^b	23,50 ± 0,85 ^b	6,62 ± 1,29 ^a
E-EST	61,54 ± 1,04 ^c	3,73 ± 0,14 ^{b,c}	23,16 ± 0,62 ^b	5,36 ± 0,45 ^b
L-LIOF	59,92 ± 0,98 ^d	3,57 ± 0,29 ^c	22,63 ± 1,19 ^b	4,74 ± 0,75 ^b
E-LIOF	60,86 ± 1,28 ^{c,d}	3,58 ± 0,36 ^c	22,54 ± 1,09 ^b	5,32 ± 0,85 ^b

*na: não se aplica; L-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em leito de espuma; L-LIOF: ovo seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: ovo seco por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

Os ovos de codorna em pó reconstituídos apresentaram colorações mais claras, mais avermelhadas e menos amareladas em relação ao ovo de codorna líquido pasteurizado. Houve maior homogeneidade em relação aos valores de a* e b* dos ovos reconstituídos, enquanto os valores de L* foram mais variáveis, sendo o ovo L-EST o mais claro dentre os demais.

Os maiores valores de L* dos pós reconstituídos em relação ao ovo de codorna líquido pasteurizado podem estar relacionados principalmente à solubilidade dos pós em água, apesar da ocorrência de reações de oxidação e reação de Maillard influenciarem a cor dos pós (discutido no item 2.3.2.3). Isso se deve ao fato do pó L-EST, que apresentou coloração mais escura (Tabela 2.3), em função de reações de escurecimento, e a menor capacidade de reidratação (Tabela 2.6), apresentar maior luminosidade após a reconstituição, em comparação aos demais pós. Por outro lado, os pós mais claros, que foram aqueles com maiores capacidades de reidratação (E-EST, L-LIOF e E-LIOF) apresentaram menor luminosidade após reconstituição.

Apesar da goma xantana em solução apresentar coloração esbranquiçada, o que pode contribuir para o aumento no valor de L^* , a fração presente na composição do ovo de codorna reidratado é muito baixa (0,3%), portanto, possivelmente não exerce efeito significativo sobre a luminosidade, o que é reforçado pelos valores de L^* iguais entre os pós L-LIOF e E-LIOF.

Com base nos resultados de variação global de cor (ΔE^*), o pó L-EST reidratado apresentou a coloração mais distante da coloração do ovo de codorna líquido pasteurizado. Sabe-se que quanto maior o tempo de exposição a altas temperaturas, maior é o prejuízo à qualidade do pó obtido e maior é a alteração de cor do alimento (KOC et al., 2010; KOÇ et al., 2011b) o que corrobora os resultados obtidos.

Sramek et al. (2015), em estudo com tomate seco em forma de espuma, também observaram maior variação global de cor promovida pela secagem em estufa com circulação de ar (50 °C, 60 °C e 70 °C por períodos entre 4 e 9 horas) em relação à liofilização.

3.4.2 Propriedades funcionais

Devido à indisponibilidade de estudos na literatura, que avaliem a interferência de parâmetros de secagem nas propriedades funcionais de ovos em pó, produzidos pelos métodos utilizados no presente estudo, as discussões dos itens a seguir foram embasadas em estudos nos quais, ovos em pó foram obtidos por *spray-drying*.

3.4.2.1 Capacidade espumante e estabilidade da espuma

Os resultados referentes às análises de capacidade espumante e estabilidade da espuma, para o ovo de codorna líquido pasteurizado e para os ovos de codorna em pó reconstituídos, estão disponíveis na Tabela 3.3. Os desvios referentes à estabilidade da espuma para os pós L-EST, E-EST e E-LIOF ($\pm 0,00$) são justificáveis, visto que não houve drenagem alguma nestes casos.

Tabela 3.3 – Capacidade espumante e estabilidade da espuma.

Amostras	Capacidade espumante (%)	Estabilidade da espuma (%)
<i>Ovo líquido pasteurizado (LP)</i>	303,25 ± 12,28 ^a	11,31 ± 1,09 ^a
<i>Ovo em pó reconstituído</i>		
L-EST	117,25 ± 3,54 ^b	100,00 ± 0,00 ^b
E-EST	164,50 ± 2,98 ^c	100,00 ± 0,00 ^b
L-LIOF	244,75 ± 4,92 ^d	14,13 ± 2,10 ^c
E-LIOF	202,75 ± 4,53 ^e	100,00 ± 0,00 ^b

L-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em leite de espuma; L-LIOF: ovo seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: ovo seco por liofilização, em leite de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

Ao comparar a capacidade espumante do ovo de codorna LP e dos ovos de codorna em pó reconstituídos, é possível notar um prejuízo, promovido pelos diferentes métodos de secagem empregados, sobre esta propriedade funcional, especialmente pela secagem convectiva. Um fato interessante é que os ovos que apresentaram maior capacidade espumante (LP e L-LIOF), foram os únicos que apresentaram drenagem de líquido na espuma formada em um intervalo de 90 minutos. Portanto, em uma aplicação, na qual a estabilidade da espuma seja tão importante quanto a capacidade espumante, o ovo E-LIOF pode ser a melhor alternativa, uma vez que promove a formação de uma espuma estável e apresenta maior capacidade espumante em relação aos ovos L-EST e E-EST.

A capacidade espessante da goma xantana (MUTHUKUMARAN; RATTI; RAGHAVAN, 2008a) justifica a estabilidade máxima das espumas produzidas com os ovos de codorna em pó E-EST e E-LIOF, porém, a estabilidade da espuma produzida com o ovo de codorna L-EST também foi máxima, mesmo com ausência de goma xantana. Este resultado pode ser decorrente, principalmente, do pequeno aumento da energia livre do sistema em relação às outras espumas, devido à pobre incorporação de ar, que resulta em baixa tendência de separação de fases (DAMODARAN, 2005).

Se por um lado a desnaturação térmica parcial pode contribuir para a melhor formação e estabilização da espuma (DAMODARAN, 2005; SEGURA-CAMPOS et al., 2013), por outro, o aquecimento excessivo promove a formação de agregados proteicos que prejudicam a

formação da mesma (DAMODARAN, 2005; AYADI et al., 2008; SEGURA-CAMPOS et al., 2013), que pode justificar a baixa capacidade espumante do ovo de codorna L-EST, uma vez que foi exposto a uma temperatura elevada (70 °C) por 5h30min.

A maior capacidade espumante do pó E-EST em relação ao pó L-EST pode ser decorrente da menor desnaturação e menor formação de agregados proteicos, devido ao tempo inferior de exposição à alta temperatura (RANNOU et al., 2015). Além disso, na secagem em leite de espuma, tanto a interação da goma xantana com as proteínas, quanto a proteção exercida pelas bolhas de ar da espuma em relação ao superaquecimento do ovo, podem reduzir a desnaturação das proteínas e conseqüentemente, a formação de agregados proteicos (ANANTA; VOLKERT; KNORR, 2005; KOÇ et al., 2011c; KANDASAMY et al., 2014). Por outro lado, no caso dos ovos liofilizados, que não foram submetidos a altas temperaturas, a presença de goma xantana pode ter exercido papel contrário, prejudicando a formação de espuma, visto que a maior viscosidade promovida pela presença de goma xantana dificulta a incorporação de ar na fase líquida (FAEZIAN et al., 2018).

Em estudo realizado por Ayadi et al. (2008), claras de ovo em pó obtidas por *spray-drying* em todas as condições de secagem utilizadas (taxa de alimentação de líquido de 0,2 e 0,3 L/h e temperaturas de ar de entrada de 110 °C, 120 °C e 125 °C), apresentaram maior capacidade espumante em relação à clara fresca. Ainda referente a este estudo, não houve uma relação linear entre temperatura e capacidade espumante e as condições de secagem que resultaram em maior estabilidade de espuma foram: (1) temperatura de entrada de 110 °C e taxa de alimentação de 0,2 L/h e (2) temperatura de entrada de 125 °C e taxa de alimentação de 0,3 L/h.

Por outro lado, Franke e Kießling (2002) produziram ovo integral em pó por *spray-drying* em três diferentes temperaturas de ar de entrada (130 °C, 160 °C e 190 °C) e obtiveram pós com maior capacidade espumante em temperaturas mais baixas de ar de secagem, para todas as pressões de atomização utilizadas (125 bar, 160 bar e 195 bar).

Tais divergências de resultados podem ser justificadas pela interferência de outras variáveis, além da temperatura, em alterações estruturais das proteínas (FRANKE e KIEßLING, 2002; AYADI et al., 2008). Koç et al. (2011b) por exemplo, associaram redução na estabilidade de espumas preparadas com ovos em pó obtidos por *spray-drying* em maiores pressões de atomização com a desnaturação proteica. No presente estudo, portanto, não é

possível avaliar a interferência isolada da desnaturação física na estabilidade das espumas, já que apenas houve agitação mecânica nos ovos E-EST e E-LIOF, que foram adicionados de goma xantana, que atua como estabilizante.

A maior proximidade dos valores de capacidade espumante dos ovos de codorna em pó produzidos por liofilização (L-LIOF e E-LIOF) em relação ao ovo de codorna LP, se deve, possivelmente, à maior manutenção de atividades superficiais das proteínas nos referentes métodos de secagem (CAMPBELL; RAIKOS; EUSTON, 2003).

3.4.2.2 Capacidade gelificante e capacidade de retenção de água (CRA) dos géis

Os resultados referentes às análises de capacidade gelificante (força ou firmeza dos géis) e CRA dos géis, para o ovo de codorna líquido pasteurizado e para os ovos de codorna em pó após reconstituição, estão disponíveis na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Capacidade gelificante (força dos géis) e capacidade de retenção de água (CRA) dos géis.

	Força do gel (N)	CRA (%)
<i>Ovo líquido pasteurizado (LP)</i>	24,60 ± 2,58 ^a	97,62 ± 0,27 ^a
<i>Ovo em pó reconstituído</i>		
L-EST	38,67 ± 1,52 ^b	98,09 ± 0,23 ^b
E-EST	23,23 ± 2,62 ^a	99,00 ± 0,21 ^c
L-LIOF	31,04 ± 3,55 ^c	98,77 ± 0,14 ^c
E-LIOF	28,37 ± 1,30 ^c	98,96 ± 0,16 ^c

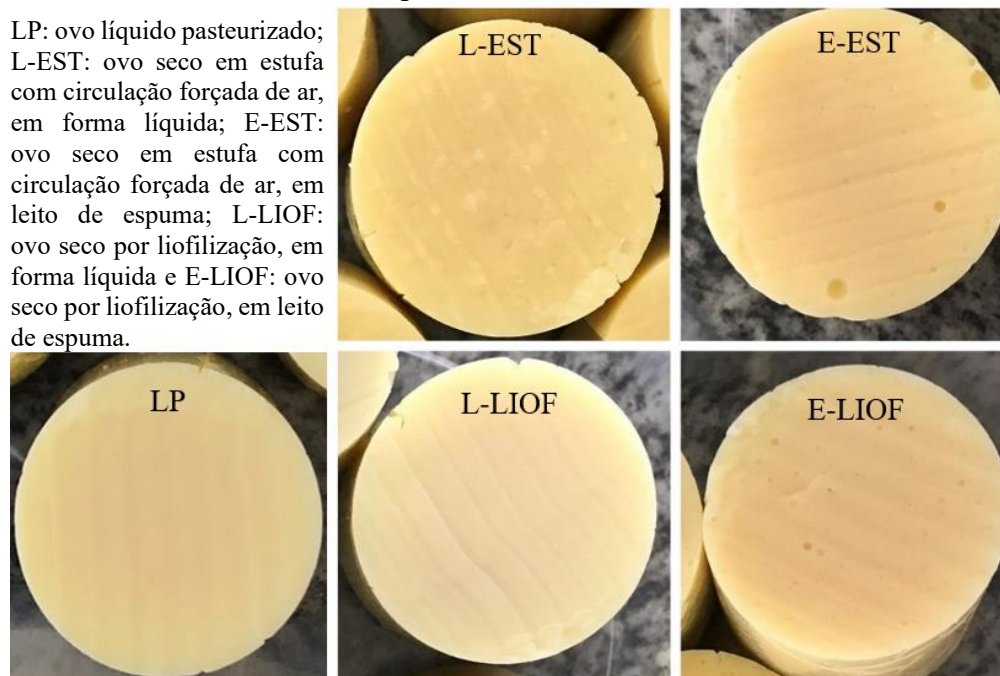
L-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em leito de espuma; L-LIOF: ovo seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: ovo seco por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

Ao contrário do que foi observado para a capacidade espumante, a secagem otimizou a força de gel, com exceção da secagem convectiva em leito de espuma. Todos os ovos de codorna em pó promoveram maior capacidade de retenção de água dos géis produzidos, em comparação ao ovo de codorna LP.

A solubilidade das proteínas é um fator muito importante e com grande interferência sobre as propriedades gelificantes. Para que haja formação de gel, as proteínas devem estar solubilizadas na fase aquosa (FRANKE; KIEßLING, 2002). Porém, como discutido no capítulo anterior, o pó L-EST, que resultou em maior força de gel, apresentou a menor capacidade de reidratação, que está associada à baixa solubilidade das proteínas. As proteínas que não estão solubilizadas, integram o gel, porém, não contribuem com sua firmeza (FRANKE; KIEßLING, 2002).

Uma possível explicação para tais resultados pode ser a temperatura utilizada no preparo dos géis (90 °C), que pode ter contribuído para a desintegração de agregados proteicos formados na secagem convectiva, otimizando a solubilização das proteínas. Como pode ser observado na Figura 3.2, apesar dos outros géis apresentarem maior homogeneidade (sem presença de pontos mais claros), a solubilidade do pó L-EST no gel, parece ter sido consideravelmente melhor do que nas análises de capacidade de reidratação do capítulo anterior, realizadas em temperatura ambiente.

Figura 3.2 – Géis produzidos com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos.



Além disso, não é apenas a solubilidade que interfere na força de gel. Mudanças conformacionais das proteínas, promovidas pela desnaturação parcial também podem interferir

nas interações responsáveis pela formação de gel (CAMPBELL; RAIKOS; EUSTON, 2003; LECHEVALIER et al., 2011; KUDRE et al., 2018), o que pode justificar a maior força dos géis produzidos com ovo L-EST. É provável que as modificações conformacionais das proteínas, promovidas pelas condições de secagem do ovo L-EST, incluindo o aumento da hidrofobicidade superficial, tenham contribuído para a otimização das interações intermoleculares, resultando em géis mais firmes (AYADI et al., 2008; HAMMERSHØJ et al., 2006).

Um fator muito importante que também pode justificar a maior firmeza dos géis produzidos com ovo de codorna L-EST, é a maior formação de bases de Schiff, em razão da maior exposição do ovo à alta temperatura, através das quais, interações covalentes são estabelecidas, podendo contribuir para a maior firmeza dos géis (HAMMERSHØJ et al., 2006; AYADI et al., 2008). As bases de Schiff podem ser provenientes da etapa inicial da reação de Maillard e da reação de produtos da oxidação lipídica com grupos amina de proteínas (GATELLIER et al., 2007; CUI et al., 2021).

Handa e Kuroda (1999) encontraram correlação positiva entre reação de Maillard induzida por aquecimento, sob condições controladas, em clara de ovo seca por *spray-drying*, aumento de grupos superficiais sulfidril e aumento da força de gel, bem como da sua CRA. Estes autores associaram tais resultados à otimização de formação de redes de géis em razão de interações dissulfeto intermoleculares. Ma, Zhao e Chi (2019) também relacionaram a ocorrência de reação de Maillard em clara de ovo em pó (produzida por liofilização), com melhoria da firmeza e CRA de géis. Embora no presente estudo, a CRA dos géis produzidos com ovo de codorna L-EST tenha sido inferior em relação aos demais (estatisticamente), na prática, tal diferença provavelmente possa ser desprezível.

A menor CRA do gel preparado com ovo L-EST em relação aos géis preparados com os demais ovos de codorna em pó, pode estar associada a forças atrativas intermoleculares, decorrentes de mudanças conformacionais das proteínas, que podem forçar a água para fora da rede de gel (SEGURA-CAMPOS et al., 2013).

Polissacarídeos como a goma xantana, apresentam boa capacidade de ligação à água (BRAGA et al., 2006), o que justifica os maiores valores de CRA dos géis produzidos com ovos de codorna secos em leito de espuma (E-EST e E-LIOF) em relação aos géis produzidos com ovos de codorna secos de forma convencional (L-EST e L-LIOF), embora, em relação aos géis

produzidos com ovos liofilizados (L-LIOF e E-LIOF) a diferença não tenha sido estatisticamente significativa.

Franke e Kießling (2002), produziram ovos em pó por *spray-drying* em diferentes temperaturas de ar de entrada (130 °C, 160 °C e 190 °C) e relataram redução na firmeza dos géis com o aumento da temperatura de secagem de 130 °C para 160 °C, sem diferença significativa com o aumento de 160 °C para 190 °C. Os autores associaram a redução da firmeza dos géis à desnaturação da conalbumina, que é mais sensível ao calor em relação à ovalbumina, e a estabilidade da capacidade espumante acima de 160 °C, à desnaturação completa da conalbumina. Em contrapartida, Ayadi et al. (2008) produziram ovos em pó por *spray-drying* em temperaturas de ar de entrada de 110 °C, 120 °C e 125 °C e relataram aumento na firmeza e na CRA de géis com o aumento da temperatura.

Possíveis danos às estruturas das proteínas causados pela agitação mecânica (ação da batedeira) podem estar relacionados à menor firmeza dos géis produzidos com ovos de codorna em forma de espuma, assim como sugerido por KOÇ et al. (2011c), embora, em relação aos ovos liofilizados a diferença não tenha sido significativa. A possível proteção exercida pela goma xantana às estruturas das proteínas do ovo durante o aquecimento (discutido no item 2.3.2.7), também pode ter contribuído para a menor firmeza dos géis produzidos com ovos secos em leito de espuma, no caso das secagens em estufa, já que a desnaturação parcial pode ter influência positiva na formação de géis mais firmes, como já mencionado anteriormente.

3.4.2.3 Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão

Os resultados referentes às análises de capacidade emulsificante e estabilidade de emulsão, para o ovo de codorna líquido pasteurizado e para os ovos de codorna em pó após reconstituição, estão disponíveis na Figura 3.3 e na Tabela 3.5, respectivamente.

Figura 3.3 – Imagens das emulsões preparadas com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos (objetiva de 10×).

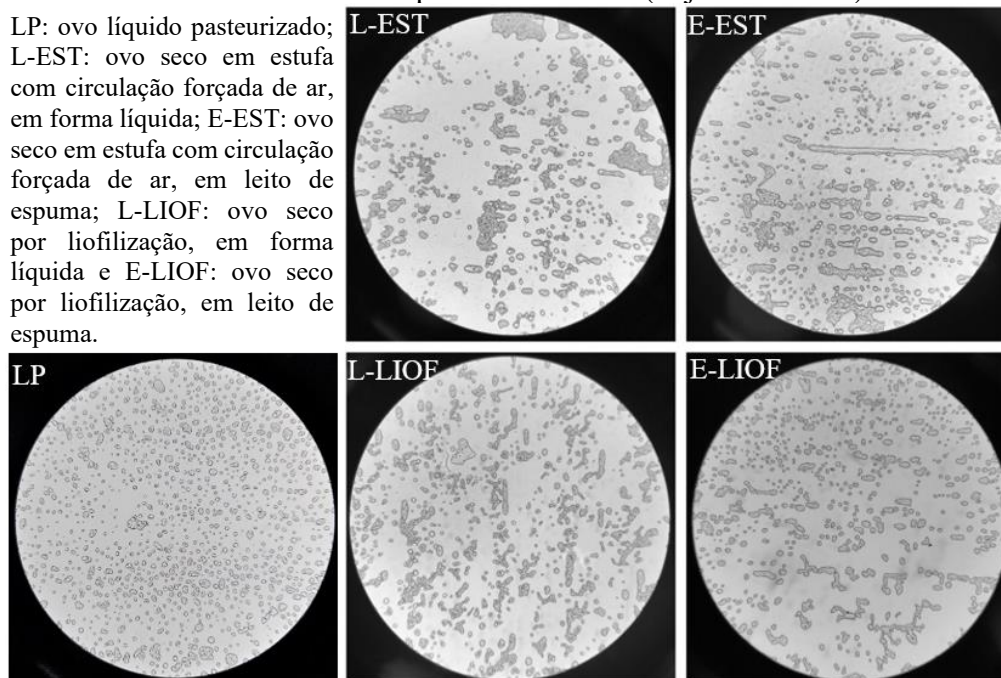


Tabela 3.5 – Resultados referentes às análises de estabilidade das emulsões.

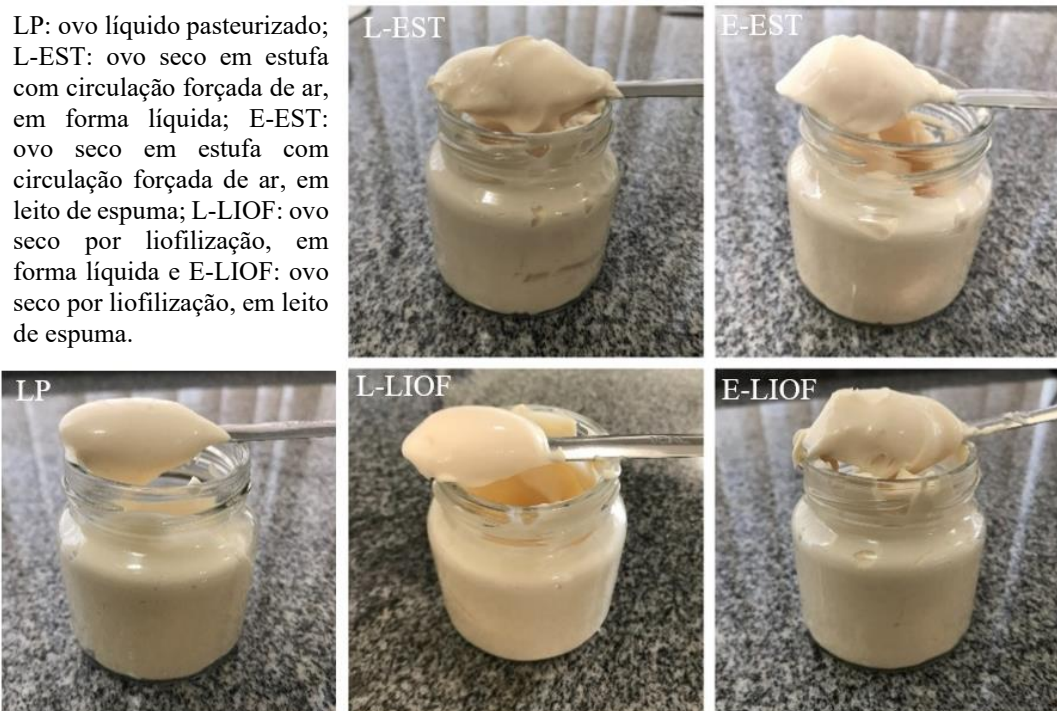
Amostras	Estabilidade da emulsão (%)
<i>Ovo líquido pasteurizado (LP)</i>	95,37 ± 0,77 ^a
<i>Ovo em pó reconstituído</i>	
L-EST	98,03 ± 0,45 ^b
E-EST	99,54 ± 0,15 ^c
L-LIOF	96,61 ± 0,45 ^d
E-LIOF	99,00 ± 0,29 ^c

L-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em leito de espuma; L-LIOF: ovo seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: ovo seco por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

A discussão sobre a capacidade emulsificante com base apenas nas imagens de microscópio se torna imprecisa e desafiadora, considerando que as imagens geradas variam muito entre diferentes observações de uma mesma amostra, e não estão necessariamente relacionadas aos resultados de estabilidade. Como pode ser observado, a emulsão preparada

com ovo LP se mostrou mais uniforme, com gotas de óleo menores e bem distribuídas, porém, a estabilidade foi a menor em relação às demais emulsões. Portanto, para complementar as informações da Tabela 3.5, as imagens das emulsões recém-preparadas são apresentadas na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Emulsões preparadas com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos.



Os processos de secagem exerceram influência positiva na estabilidade de emulsões, visto que as emulsões preparadas com ovo de codorna LP apresentaram menor estabilidade dentre as demais. A partir da Figura 3.4, é possível notar que as emulsões preparadas com ovos LP e L-LIOF apresentaram aparência mais lisa e consistência mais fluida, e correspondem exatamente às emulsões menos estáveis.

As emulsões preparadas com ovos de codorna em pó produzidos por secagem em leite de espuma (E-EST e E-LIOF) apresentaram maior estabilidade, provavelmente associada à presença de goma xantana, que aumenta a viscosidade da fase aquosa contribuindo para a estabilidade da emulsão (GARCÍA-OCHOA et al., 2000; MOSCHAKIS; MURRAY; DICKINSON, 2005).

Os fosfolipídios desempenham papel importante como emulsificante no ovo (FRANKE; KIEBLING, 2002) e são mais efetivos do que as proteínas na redução de tensões interfaciais entre água e óleo. Apesar das proteínas apresentarem grupos hidrofílicos e hidrofóbicos, não apresentam, como nos fosfolipídios, cabeças hidrofílicas e caudas hidrofóbicas bem definidas, o que limita a capacidade emulsificante. Além disso, os fosfolipídios alcançam rapidamente a interface óleo-água e não apresentam restrições quanto a rearranjos conformacionais, como as proteínas (DAMODARAN, 2005). Porém, apesar de não afetarem tão significativamente a capacidade emulsificante, assim como afetam as propriedades espumante e gelificante, as proteínas também possuem certa contribuição (FRANKE; KIEBLING, 2002; SEGURACAMPOS et al., 2013).

A desnaturação parcial de proteínas durante a secagem favorece a formação de um filme viscoelástico na interface óleo-água devido ao aumento da flexibilidade molecular e da hidrofobicidade superficial, que quando bem distribuída, e com energia suficiente, aumenta a chance de adsorção proteínas-interface, aumentando a estabilidade de emulsões (SEGURACAMPOS et al., 2013). Isso explica os resultados do presente estudo, pois emulsões preparadas com ovos de codorna em pó reconstituídos foram mais estáveis em relação às emulsões preparadas com ovo de codorna LP, reforçando a contribuição da desnaturação parcial das proteínas para uma maior estabilidade de emulsão, visto que todos os ovos em pó passaram por algum processo que promove desnaturação parcial das proteínas, sendo por aquecimento ou batadura.

Franke e Kießling (2002) reportaram que ovos em pó obtidos por *spray-drying* em temperaturas de secagem mais altas promoveram maior estabilidade de emulsões, e relacionaram tais resultados com mudanças conformacionais nas proteínas promovidas pelas altas temperaturas, o que corrobora os resultados do presente estudo, referentes aos pós sem goma xantana, já que o pó L-EST resultou na formação de uma emulsão mais estável que o pó L-LIOF.

3.4.3 Produção de bolos pão de ló

3.4.3.1 Correlação de Pearson entre gravidade específica, viscosidade e perda de água das massas, volume e propriedades de textura dos bolos

Os coeficientes de correlação de Pearson, dispostos na Tabela 3.6, indicam se há correlação ou não entre as variáveis relacionadas às massas e aos bolos assados, e se determinada correlação é positiva ou negativa, auxiliando as discussões dos próximos itens.

Tabela 3.6 - Correlação de Pearson.

	Gravidade específica (massa)	Viscosidade aparente (massa)	Perda de água (massa)	Volume (bolos)	Dureza	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade	Resiliência
Gravidade específica (massa)	1,0000 p= ---	-0,1798 p=0,267	-0,9189 p=0,000	-0,9809 p=0,000	0,7786 p=0,000	-0,6759 p=0,000	-0,4280 p=0,006	0,7700 p=0,000	0,7485 p=0,000	-0,5672 p=0,000
Viscosidade aparente (massa)	-0,1798 p=0,267	1,0000 p= ---	0,0879 p=0,589	0,2197 p=0,173	-0,1975 p=0,222	0,2944 p=0,065	-0,1268 p=0,436	-0,2523 p=0,116	-0,2537 p=0,114	0,1015 p=0,533
Perda de água (massa)	-0,9189 p=0,000	0,0879 p=0,589	1,0000 p= ---	0,9212 p=0,000	-0,7783 p=0,000	0,6705 p=0,000	0,4710 p=0,002	-0,7629 p=0,000	-0,7430 p=0,000	0,6381 p=0,000
Volume (bolos)	-0,9809 p=0,000	0,2197 p=0,173	0,9212 p=0,000	1,0000 p= ---	-0,8088 p=0,000	0,7300 p=0,000	0,4700 p=0,002	-0,7969 p=0,000	-0,7732 p=0,000	0,6344 p=0,000
Dureza	0,7786 p=0,000	-0,1975 p=0,222	-0,7783 p=0,000	-0,8088 p=0,000	1,0000 p= ---	-0,8153 p=0,000	-0,5340 p=0,000	0,9886 p=0,000	0,9751 p=0,000	-0,7575 p=0,000
Elasticidade	-0,6759 p=0,000	0,2944 p=0,065	0,6705 p=0,000	0,7300 p=0,000	-0,8153 p=0,000	1,0000 p= ---	0,5152 p=0,001	-0,8008 p=0,000	-0,7181 p=0,000	0,7012 p=0,000
Coesividade	-0,4280 p=,006	-0,1268 p=0,436	0,4710 p=0,002	0,4700 p=0,002	-0,5340 p=0,000	0,5152 p=0,001	1,0000 p= ---	-0,4075 p=0,009	-0,3801 p=0,016	0,8708 p=0,000
Gomosidade	0,7700 p=0,000	-0,2523 p=0,116	-0,7629 p=0,000	-0,7969 p=0,000	0,9886 p=0,000	-0,8008 p=0,000	-0,4075 p=0,009	1,0000 p= ---	0,9900 p=0,000	-0,6778 p=0,000
Mastigabilidade	0,7485 p=0,000	-0,2537 p=0,114	-0,7430 p=0,000	-0,7732 p=0,000	0,9751 p=0,00	-0,7181 p=0,000	-0,3801 p=0,016	0,9900 p=0,000	1,0000 p= ---	-0,6613 p=0,000
Resiliência	-0,5672 p=0,000	0,1015 p=0,533	0,6381 p=0,000	0,6344 p=0,000	-0,7575 p=,000	0,7012 p=,000	0,8708 p=0,000	-0,6778 p=0,000	-0,6613 p=0,000	1,0000 p= ---

Os valores em vermelho ($p < 0,05$) indicam correlação significativa, com 95% de confiança. Coeficientes positivos indicam correlação positiva e valores negativos indicam correlação negativa.

3.4.3.2 Gravidade específica das massas

Os resultados referentes às análises de gravidade específica das massas produzidas com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó após reconstituição são apresentados na Tabela 3.7.

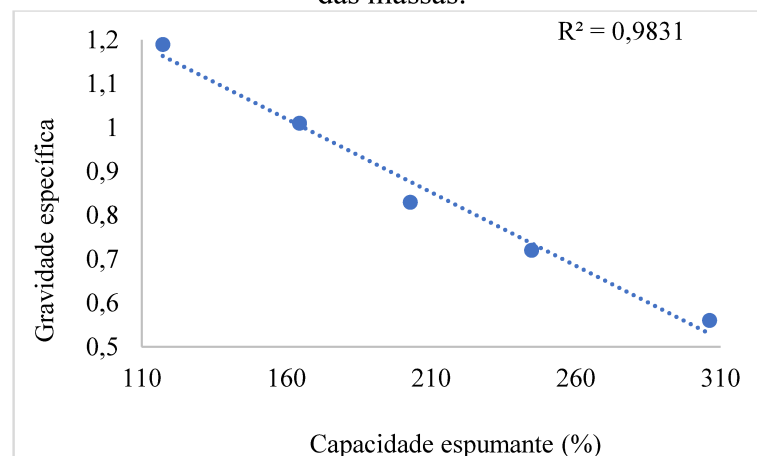
Tabela 3.7 – Resultados referentes às análises de gravidade específica das massas de bolo.

Ovo de codorna utilizado na produção da massa	Gravidade específica
LP	$0,56 \pm 0,02^a$
L-EST	$1,19 \pm 0,03^b$
E-EST	$1,01 \pm 0,02^c$
L-LIOF	$0,72 \pm 0,02^d$
E-LIOF	$0,83 \pm 0,02^e$

LP: ovo líquido pasteurizado; L-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: ovo seco em estufa com circulação forçada de ar, em leite de espuma; L-LIOF: ovo seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: ovo seco por liofilização, em leite de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

A gravidade específica depende da composição da formulação e da etapa de mistura dos ingredientes, sendo um indicativo da quantidade de ar incorporado à massa no momento da batedura (MILLER, 2016). Quanto maior a incorporação de ar, mais leve é a massa e menor é a gravidade específica. Como pode ser observado na Figura 3.5, quanto maior a capacidade espumante apresentada pelo ovo utilizado na formulação (3.4.2.1), menor foi a gravidade específica da massa produzida.

Figura 3.5 - Relação entre capacidade espumante dos ovos de codorna e gravidade específica das massas.



A massa preparada com o ovo de codorna LP foi mais leve em relação às demais, em função da maior incorporação de ar, que acarreta maior volume por unidade de massa. Por outro lado, as massas preparadas com ovos de codorna secos em estufa foram mais pesadas, em função da baixa incorporação de ar, que acarreta menor volume por unidade de massa. A formulação que apresentou gravidade específica mais próxima à da massa com ovo LP foi a massa com ovo L-LIOF.

Em estudo realizado por Gómez et al. (2007) a adição de 1% de goma xantana em massa de bolo de camada resultou em um aumento na densidade (diretamente proporcional à gravidade específica) de $1,02 \text{ g/cm}^3$ para $1,80 \text{ g/cm}^3$. Noorlaila et al. (2020) também observaram um aumento na gravidade específica de massas de bolo pão de ló com adição de 1% de goma xantana. Estes resultados condizem apenas ao observado para as massas produzidas com ovos liofilizados, no presente estudo.

Huang e Yang (2019) prepararam uma massa para bolo pão de ló, composta por farinha, ovos, açúcar, emulsificante de bolo e óleo de canola, com gravidade específica de 0,505, valor próximo à gravidade específica da formulação preparada com ovo de codorna LP. De outra forma, Çelik et al. (2007) obtiveram massas de bolo pão de ló preparadas com farinha, ovos, açúcar e fermento em pó, com gravidade específica de 0,710, valor muito próximo ao valor da massa preparada com ovo de codorna L-LIOF.

3.4.3.3 Viscosidade das massas

A viscosidade das massas não apresentou correlação com a gravidade específica (Tabela 3.6). Os resultados referentes às análises de viscosidade das massas produzidas com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó após reconstituição são apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Resultados referentes às análises de viscosidade das massas.

Ovo utilizado na produção da massa	Viscosidade aparente (Pa.s)
LP	24,08 ± 2,37 ^a
L-EST	53,04 ± 9,72 ^b
E-EST	96,37 ± 10,39 ^c
L-LIOF	23,64 ± 2,89 ^a
E-LIOF	87,40 ± 5,75 ^c

LP: líquido pasteurizado; L-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em leito de espuma; L-LIOF: seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: seco por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

Soluções de goma xantana, que é um agente espessante, apresentam alta viscosidade (GARCÍA-OCHOA et al., 2000), o que justifica a interferência significativa da sua presença na viscosidade das massas, já que as mais viscosas foram aquelas preparadas com ovos de codorna secos em leito de espuma (E-EST e E-LIOF).

Em relação às formulações sem presença de goma xantana, é possível observar que a massa com menor incorporação de ar foi também a mais viscosa, que corresponde àquela produzida com ovo L-EST, o que corrobora os resultados obtidos por Gómez, Doyagüe e De La Hera (2012), que também associaram a maior viscosidade de massa de bolo pão de ló à menor incorporação de ar.

Noorlaila et al. (2020) observaram um aumento de viscosidade em massas de bolo pão de ló com adição de 1% de goma xantana (72,57 Pa.s) em relação à massa controle (22,33 Pa.s), o que também corrobora os resultados do presente estudo.

A partir da Figura 3.6 é possível perceber o aspecto mais espesso e viscoso das massas com ovos de codorna E-EST e E-LIOF em relação às demais.

Figura 3.6- Aspectos visuais de massas recém-produzidas, preparadas com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos.



3.4.4 Avaliação dos bolos

3.4.4.1 *Peso final dos bolos e perda de água*

Os resultados referentes aos pesos das massas cruas e dos bolos assados, bem como da perda de água pelas massas durante o cozimento, estão dispostos na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Peso final dos bolos e variação em relação à massa crua (perda de água).

Ovo utilizado na produção do bolo	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de água (%)
LP	220,00	196,03 ± 1,28 ^a	10,91 ± 0,57 ^a
L-EST	220,00	203,46 ± 2,05 ^b	7,53 ± 0,93 ^b
E-EST	220,00	202,56 ± 0,47 ^b	7,94 ± 0,21 ^b
L-LIOF	220,00	198,19 ± 0,54 ^c	9,92 ± 0,25 ^c
E-LIOF	220,00	201,26 ± 0,77 ^d	8,53 ± 0,36 ^d

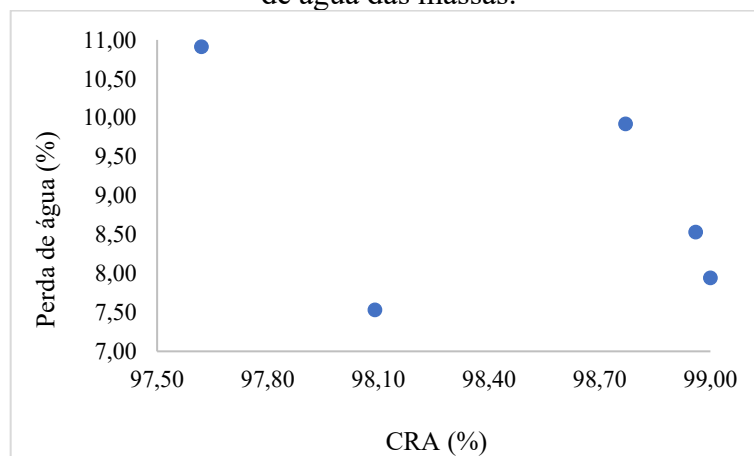
LP: líquido pasteurizado; L-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em leite de espuma; L-LIOF: seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: seco por liofilização, em leite de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

O bolo que apresentou o menor peso, portanto, a maior perda de água durante o cozimento, foi o bolo preparado com ovo de codorna LP, cuja massa apresentou a menor gravidade específica.

De acordo com a correlação de Pearson (Tabela 3.6), gravidades específicas das massas se correlacionaram negativamente com a perda de água durante o cozimento. Isso possivelmente ocorre, pois, a aeração promove maior área de contato da massa com o ar quente, e os filmes que circundam as bolhas de ar facilitam a passagem de água, por capilaridade (RAJKUMAR et al., 2007).

Apesar da massa de bolo produzida com ovo LP, que resultou em géis com menor CRA (Tabela 3.4), ter apresentado maior perda de água durante o cozimento, a massa produzida com ovo L-EST, que resultou em géis com CRA inferior aos demais pós, apresentou a menor perda de água. Portanto, de acordo com os resultados, é plausível afirmar que não existe relação entre CRA e perda de água, como pode ser observado na Figura 3.7.

Figura 3.7 – Relação entre CRA dos géis produzidos com os diferentes tipos de ovos e perda de água das massas.



Huang e Yang (2019) relataram uma perda de aproximadamente 13% de água para bolo pão de ló, assado a 180 °C por 30 minutos, em relação à massa crua (250 g), valor próximo ao da formulação preparada com ovo LP, no presente estudo.

O menor percentual de perda de água do bolo produzido com ovo E-LIOF em relação ao bolo produzido com ovo L-LIOF pode ser justificado pela capacidade de retenção de água dos hidrocolóides, incluindo a goma xantana (BRAGA et al., 2006; GÓMEZ et al., 2007). A

possível explicação para o mesmo percentual de perda de água dos bolos produzidos com ovos L-EST e E-EST é a alta gravidade específica da massa produzida com ovo L-EST, que pode dificultar a difusão da água, assim como dificulta a difusão de bolhas de ar (GÓMEZ et al., 2007).

Em estudo realizado por Gómez et al. (2007), massa de bolo de camada adicionada de 1% de goma xantana, apresentou menor perda de umidade durante o cozimento em relação à massa de bolo preparada sem adição da goma, corroborando os resultados obtidos no presente estudo, em relação aos bolos produzidos com ovos de codorna liofilizados.

3.4.4.2 *Volume e volume específico*

Os volumes mensurados para os bolos produzidos com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos estão dispostos na Tabela 3.10.

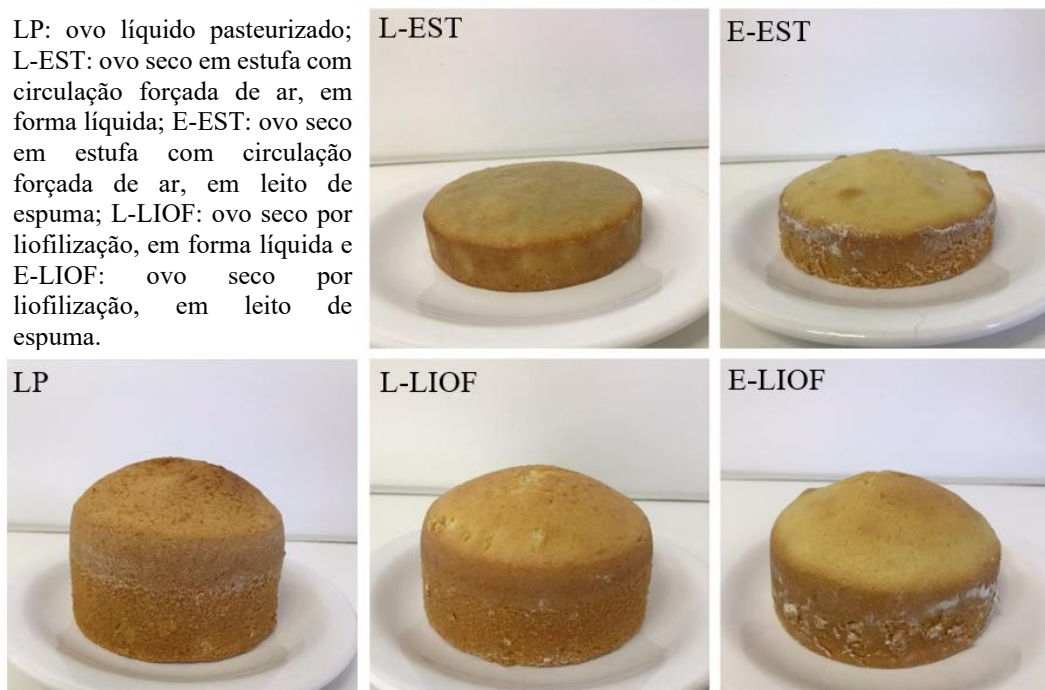
Tabela 3.10 – Volumes dos bolos assados.

Ovo utilizado na produção do bolo	Volume do bolo (cm ³)	Volume específico do bolo (cm ³ /g)
LP	654,87 ± 33,05 ^a	3,34 ± 0,16 ^a
L-EST	228,37 ± 24,63 ^b	1,12 ± 0,13 ^b
E-EST	341,12 ± 9,61 ^c	1,68 ± 0,05 ^c
L-LIOF	507,00 ± 26,80 ^d	2,56 ± 0,14 ^d
E-LIOF	428,88 ± 16,92 ^e	2,14 ± 0,09 ^e

LP: líquido pasteurizado; L-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em leito de espuma; L-LIOF: seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: seco por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

Bolos preparados com ovos de codorna em pó apresentaram volumes inferiores aos bolos preparados com ovo de codorna líquido pasteurizado, embora o ovo L-LIOF tenha resultado em bolos com volumes satisfatórios, como também pode ser observado na Figura 3.8.

Figura 3.8 – Bolos produzidos com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reidratados.



O bolo de maior volume foi o bolo preparado com ovo LP, cuja massa apresentou a menor gravidade específica. Houve uma correlação negativa entre gravidade específica das massas e volume dos bolos, portanto, quanto menor a gravidade específica (maior incorporação de ar) apresentada pela massa, maior foi o volume do bolo (Tabela 3.6), assim como também demonstraram os resultados de Schirmer et al. (2012).

O volume do bolo depende, além da incorporação de bolhas de ar na massa, da retenção destas bolhas durante o cozimento (MILLER, 2016). Portanto, os resultados indicam que houve boa retenção das bolhas incorporadas nas massas preparadas no presente estudo.

Gómez et al. (2007) relataram maior volume para bolos de camada produzidos com massas mais densas (maior gravidade específica), porém, com adição de fermento em pó, o que justifica a diferença de resultado em relação ao presente estudo.

Apesar da viscosidade das massas e volume dos bolos não terem apresentado correlação (Tabela 3.6), as massas menos viscosas resultaram nos bolos mais volumosos (preparados com ovo LP e ovo L-LIOF), o que pode estar relacionado, dentre os outros motivos já citados, à menor resistência à expansão das bolhas de ar durante o cozimento nas massas menos viscosas (SAHI; ALAVA, 2003).

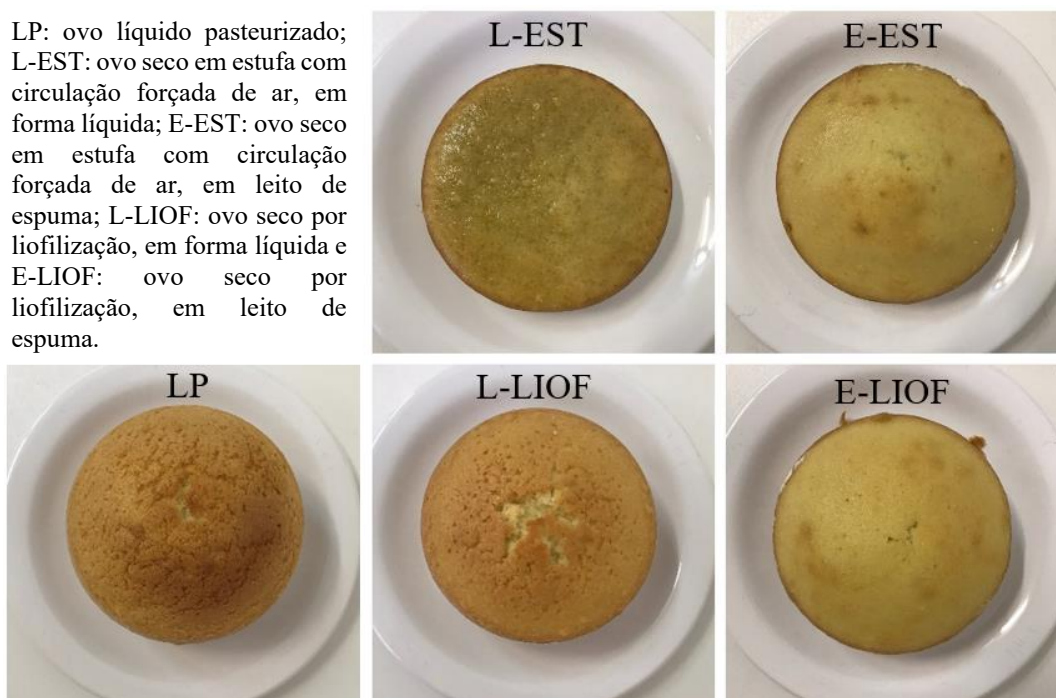
Embora a goma xantana contribua para a retenção de bolhas de ar durante o cozimento devido ao aumento da viscosidade das massas (PALAV, 2016), sua presença na formulação não confere, necessariamente, maior volume ao bolo, já que na ausência de fermento, como é o caso dos bolos preparados no presente estudo, a expansão da massa se deve apenas à expansão das bolhas incorporadas durante a batidura e mistura dos ingredientes (GODEFROIDT et al., 2019).

Noorlaila et al. (2020) relataram maior volume de bolos pão de ló controle em relação a bolos com adição de 1% de hidrocolóide (goma xantana e hidroximetilpropilcelulose). De acordo com estes autores, a gelatinização do amido e desnaturação e agregação de proteínas precocemente, aliadas às interações goma xantana/proteínas/amido, que reduzem o inchaço do amido, pode justificar o menor volume dos bolos com goma xantana.

3.4.4.3 *Cor instrumental*

O bolo preparado com ovo de codorna L-EST apresentou crosta com coloração mais escurecida em relação aos demais, como pode ser observado na Figura 3.9. A cor mais escura pode estar associada a fatores, tais como, coloração mais escura do pó (Tabela 2.3), menor crescimento do bolo, que resulta em uma massa mais compacta, além da maior umidade, já que apresentou menor perda de água em relação aos demais.

Figura 3.9 – Fotografias superiores dos bolos para avaliação visual das cores das crostas.



Em relação aos demais, especialmente aos bolos preparados com ovos LP, L-LIOF e E-LIOF, houve uma relação entre volume do bolo e cor das crostas, já que os bolos mais volumosos, são por consequência, mais altos e ficam mais próximos à resistência superior do forno, o que gera maior escurecimento das crostas.

Os resultados referentes às análises de cor dos miolos dos bolos produzidos com ovo de codorna líquido pasteurizado e ovos de codorna em pó reconstituídos estão dispostos na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Resultados referentes às análises de cor dos miolos dos bolos.

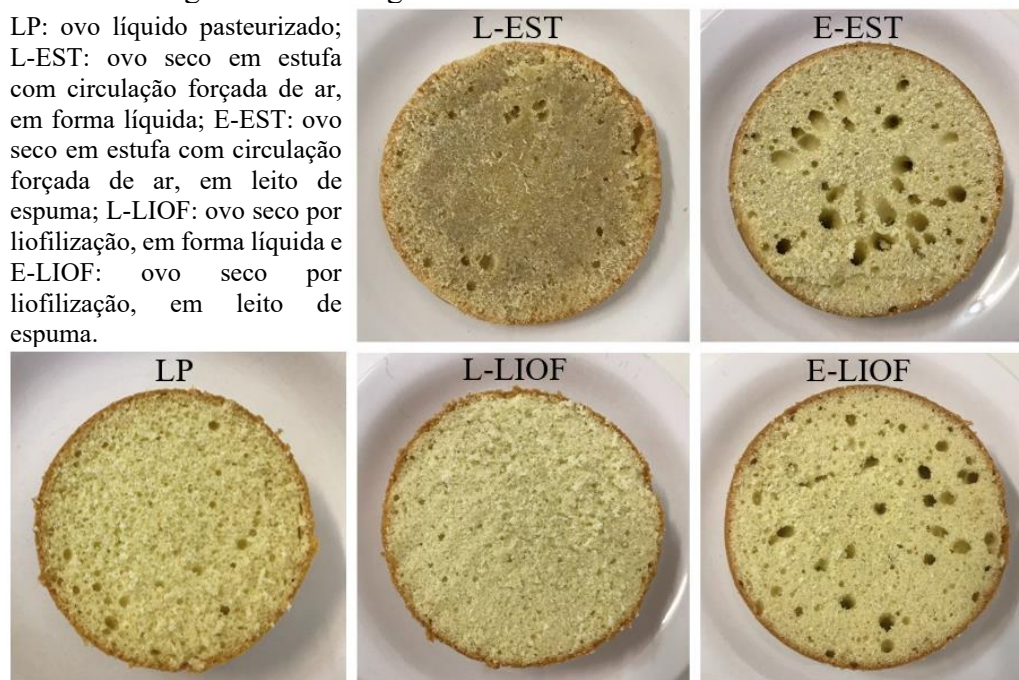
Amostras	Cor do miolo		
	L*	a*	b*
LP	50,06 ± 2,46 ^a	-2,86 ± 0,12 ^a	16,78 ± 0,58 ^a
L-EST	28,01 ± 2,14 ^b	0,19 ± 0,19 ^b	16,33 ± 0,84 ^a
E-EST	42,08 ± 5,70 ^c	-1,51 ± 0,31 ^c	17,74 ± 1,24 ^{b,c}
L-LIOF	47,84 ± 2,25 ^a	-2,65 ± 0,12 ^{a,d}	16,85 ± 0,83 ^{a,b}
E-LIOF	51,11 ± 5,08 ^a	-2,53 ± 0,25 ^d	18,20 ± 1,18 ^c

LP: líquido pasteurizado; L-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em leito de espuma; L-LIOF: seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: seco por liofilização, em leito de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

O parâmetro de cor com maior variação entre os miolos dos diferentes bolos foi o L^* (luminosidade). Os resultados referentes ao parâmetro a^* indicam colorações variando de levemente avermelhado (L-EST) a levemente esverdeado (E-EST, L-LIOF e E-LIOF) e os resultados referentes a b^* , apontam para colorações mais amareladas para os miolos dos bolos preparados com ovos de codorna em pó produzidos por secagem em leito de espuma (E-EST e E-LIOF).

Assim como a crosta, o bolo preparado com ovo L-EST apresentou miolo mais escurecido em relação aos demais, visualmente perceptível, como apresentado na Figura 3.10, seguido do bolo preparado com o ovo E-EST.

Figura 3.10 – Imagens das estruturas internas dos bolos.



As colorações mais escuras dos miolos dos bolos produzidos com ovos L-EST e E-EST podem estar relacionadas às colorações mais escuras destes pós, em função da formação de compostos escuros durante a secagem convectiva, decorrente de reações de oxidação e reação de Maillard (HAMMERSHØJ; PETERS; ANDERSEN, 2004; JAYARAMAN; DAS GUPTA, 2006; ZAMORA; HIDALGO, 2011), conforme discutido no capítulo 2 (2.3.2.3). Em relação ao bolo produzido com ovo L-EST, o menor valor de L^* também pode estar relacionado à sua estrutura compacta, em função da não expansão da massa, que associada à gelatinização do amido, resultou em uma coloração escura.

Huang e Yang (2019) obtiveram valores de 81,16 (\pm 0,34) para L*, 0,29 (\pm 0,01) para a* e 25,25 (\pm 0,32) para b*, para bolo pão de ló (controle) assado em forno pré-aquecido a 180 °C por 30 minutos, porém, com adição de ingredientes não presentes nas formulações referentes ao presente estudo, incluindo emulsificante de bolo e óleo de canola, que podem influenciar na cor.

3.4.4.4 Umidade

A umidade média dos miolos dos bolos foi de 34,00% (\pm 0,39), portanto, estatisticamente igual à umidade média das massas, que foi de 34,34% (\pm 0,27), o que corrobora o resultado obtido por Deleu et al. (2019), que produziram massa de bolo de libra com 26,9% de umidade e relataram umidade de 26,0% no miolo do bolo assado, de forma convencional.

Deleu et al. (2019) avaliaram o movimento da massa de bolo durante o cozimento, através de uma sobreposição de massas de cores diferentes, e concluíram que a massa quente, da parte inferior, sobe pelas laterais da forma, enquanto a massa fria, da parte superior, desce pelo centro, o que justifica os valores tão próximos de umidade das massas cruas e dos miolos dos bolos assados. Este movimento da massa ocorre em função do aquecimento do fundo e das laterais da forma primeiro (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004).

3.4.4.5 Textura instrumental e estrutura interna dos bolos

Os resultados referentes às análises de textura dos bolos produzidos com ovo de codorna líquido pasteurizado e com ovos de codorna em pó reconstituídos estão dispostos na Tabela 3.12. As imagens das estruturas internas dos bolos foram anteriormente apresentadas na Figura 3.10.

Tabela 3.12 – Resultados referentes às análises de textura dos bolos.

	Textura instrumental					
	Dureza (g)	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade	Resiliência
LP	365,51 ± 72,20 ^a	0,91 ± 0,01 ^a	0,73 ± 0,02 ^a	268,13 ± 58,56 ^a	243,75 ± 53,24 ^a	0,34 ± 0,02 ^a
L-EST	6980,86 ± 1313,68 ^b	0,74 ± 0,04 ^b	0,62 ± 0,03 ^b	4348,73 ± 820,61 ^b	3219,06 ± 579,12 ^b	0,21 ± 0,02 ^b
E-EST	2410,41 ± 236,11 ^c	0,86 ± 0,01 ^c	0,68 ± 0,01 ^c	1627,27 ± 150,13 ^c	1402,17 ± 129,43 ^c	0,27 ± 0,01 ^c
L-LIOF	605,98 ± 60,57 ^{a,d}	0,89 ± 0,02 ^d	0,72 ± 0,01 ^{a,d}	434,58 ± 42,30 ^{a,d}	385,27 ± 37,59 ^a	0,31 ± 0,01 ^d
E-LIOF	949,83 ± 147,11 ^d	0,88 ± 0,02 ^d	0,71 ± 0,03 ^d	677,30 ± 108,23 ^d	599,04 ± 95,48 ^d	0,30 ± 0,02 ^d

LP: líquido pasteurizado; L-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em forma líquida; E-EST: seco em estufa com circulação forçada de ar, em leite de espuma; L-LIOF: seco por liofilização, em forma líquida e E-LIOF: seco por liofilização, em leite de espuma. Letras diferentes indicam diferença significativa entre as amostras, com 95% de confiança.

Os conceitos dos parâmetros mensurados na análise de textura instrumental são (LAU; TANG; PAULSON, 2000; ZHU et al., 2008; SALEHI et al., 2016):

- Dureza: indica o quão resistente à compressão é a estrutura do bolo;
- Elasticidade: se refere à razão entre a extensão pela qual o bolo foi comprimido na segunda compressão e a altura inicial da amostra, que se relaciona à capacidade do bolo de se “recuperar” da primeira compressão;

- Coesividade: mensura a resistência do bolo ao rompimento da sua estrutura interna;
- Gomosidade: produto da dureza com a coesividade, pode ser também um indicativo complementar de resistência à compressão;
- Mastigabilidade: produto da gomosidade com a elasticidade, consiste na energia necessária para desintegrar o bolo o suficiente para a deglutição;
- Resiliência: mensura a energia recuperável após a primeira compressão.

Os bolos mais volumosos apresentaram menor dureza e os bolos menos volumosos apresentaram maior dureza, o que era esperado, uma vez que os bolos mais volumosos são mais aerados e menos compactos. Quanto menores os valores de dureza dos bolos, menores foram os valores de gomosidade e mastigabilidade e maiores foram os valores de elasticidade, coesividade e resiliência. Os coeficientes de correlação estão dispostos na Tabela 3.6, apresentada anteriormente.

Huang e Yang (2019) avaliaram a textura de bolo pão de ló em relação à dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade e resiliência, e os resultados referentes ao bolo controle foram, 300,42 g ($\pm 9,73$), 0,96 ($\pm 0,01$), 0,79 ($\pm 0,01$), 228,74 ($\pm 6,25$) e 0,38 ($\pm 0,01$), respectivamente, valores estes, próximos aos obtidos no presente estudo para o bolo preparado com ovo LP.

A maior dureza dos bolos produzidos com ovos L-EST e E-EST está relacionada à pouca incorporação de ar na massa durante a batida, que acarreta em pouco crescimento do bolo durante o cozimento, já que o aumento de volume no forno, quando não há adição de fermento, se deve unicamente ao aumento das bolhas de ar incorporadas à massa, por expansão térmica e liberação de vapor, que gera pressão interna nas bolhas. Portanto, se uma quantidade insignificante de bolhas foi incorporada, especialmente no caso do bolo preparado com ovo L-EST, a massa praticamente não cresce e os únicos fenômenos significativos que ocorrem para definir a estrutura do bolo são a desnaturação de proteínas da farinha e do ovo, gelificação das proteínas do ovo e gelatinização do amido, o que resulta em uma estrutura compacta e gelatinosa (DESROCHERS; SEITZ; WALKER, 2004; GODEFROIDT et al., 2019), como pode ser observado na Figura 3.10, apresentada anteriormente.

Como a dureza remete uma sensação de bolo velho, os bolos produzidos com ovos L-EST e E-EST possuem um grande potencial de rejeição sensorial (PEHLIVANOGLU et al.,

2018), enquanto o bolo com maior potencial de aceitabilidade é o bolo produzido com ovo LP, seguido do bolo produzido com ovo L-LIOF.

Levando em consideração que bolos tipo espuma, incluindo o bolo pão de ló, são caracterizados por estrutura leve, macia e esponjosa (MILLER, 2016), e avaliando os resultados de textura, juntamente aos volumes das diferentes formulações, bem como os aspectos visuais da estrutura interna dos bolos, é plausível afirmar que as formulações preparadas com ovos L-EST, E-EST e E-LIOF resultaram em bolos com características que não se alinham às características de bolos pão de ló.

Os bolos produzidos com massas mais viscosas, ou seja, aqueles cujas massas foram preparadas com ovos E-EST e E-LIOF, apresentaram poros maiores em relação aos demais, assim como também observado em estudo de García-Segovia et al. (2016). Massas viscosas conferem maior resistência ao crescimento de bolhas de ar durante o aquecimento no forno e previnem a ocorrência de coalescência (SAHI; ALAVA, 2003; PALAV, 2016). Portanto, partindo do pressuposto de que em massas mais viscosas as bolhas crescem menos e ocorre menos fusão entre elas, em comparação a massas menos viscosas, é provável que o motivo dos maiores poros nestes bolos seja a incorporação de bolhas de ar maiores nas respectivas massas durante os processos de mistura, embora menos numerosas.

Em estudo realizado por Noorlaila et al. (2020), o surgimento de grandes poros em bolos preparados com massas mais viscosas também foi observado, especialmente no bolo produzido com massa contendo 1% de goma xantana, com viscosidade aparente de 72,57 Pa.s, que apresentou estrutura semelhante às dos bolos produzidos com ovos E-EST e E-LIOF.

3.5 Conclusão

Os resultados apontam para a maior relevância da capacidade espumante, em relação às demais funcionalidades do ovo de codorna, no preparo e cozimento das massas dos bolos. Os bolos produzidos com ovos de codorna em pó obtidos por secagem convectiva, especialmente de forma convencional, apresentaram características associadas à rejeição sensorial, como alta dureza e gomosidade. Os ovos de codorna em pó, obtidos por secagem em leite de espuma, tanto por secagem convectiva quanto por liofilização, com goma xantana na composição, deram origem a massas mais viscosas, que resultaram em miolos com grandes poros, o que também é sensorialmente indesejável para bolo pão de ló. Em contrapartida, os resultados apontam para

um bom potencial de aplicação do ovo L-LIOF, que resultou em bolos com características mais próximas às dos bolos produzidos com ovo LP, que apresentaram as características mais desejáveis, especialmente, maior volume e maciez, decorrentes principalmente da maior incorporação de ar na massa, associada à menor gravidade específica. Portanto, os resultados sugerem que ovo de codorna liofilizado de forma convencional pode ser usado na produção de bolos pão de ló, como substituto do ovo de codorna líquido pasteurizado e possivelmente do ovo de codorna *in natura*.

4 CONCLUSÃO GERAL

De modo geral, o ovo de codorna liofilizado de forma convencional se destacou positivamente dentre os demais ovos em pó, em relação às características físico-químicas, de reidratação e morfológicas avaliadas, bem como no desempenho como ingrediente na manufatura de bolo pão de ló. Os ovos de codorna que apresentaram maior capacidade espumante (*in natura* e liofilizados) resultaram em massas mais leves, associadas a menores gravidades específicas e bolos mais volumosos e macios. Os resultados também indicam que a menor estabilidade das espumas, bem como a menor estabilidade de emulsões, não resultaram em prejuízo no preparo e cozimento das massas, já que os bolos produzidos com ovos LP e L-LIOF, que apresentaram espumas e emulsões menos estáveis, resultaram nos bolos com características mais desejáveis, como estrutura mais esponjosa, devido à maior incorporação de ar na massa e maior maciez. Os demais pós, que não desempenharam uma boa função como ingrediente em bolo pão de ló, podem ser indicados para a elaboração de outros produtos, a depender da funcionalidade mais importante para cada um deles. O ovo L-EST, por exemplo, que apresentou baixa capacidade de reidratação e resultou em um bolo de baixíssima qualidade, apresentou a maior força de gel, portanto, pode ser aplicado na formulação de um produto que requer esta propriedade. Por outro lado, os pós produzidos por secagem em leito de espuma, resultaram nas mais estáveis emulsões e em estabilidade máxima das espumas, portanto, podem desempenhar importante papel no preparo de alimentos que requerem estas características. Sendo assim, é muito importante que mais estudos envolvendo a aplicabilidade de ovo de codorna em pó obtido por estes e outros métodos de secagem sejam realizados, a fim de explorar sua viabilidade como ingrediente e estimular seu consumo, visto que ainda é um alimento pouco explorado pela indústria de alimentos, especialmente na forma de pó.

REFERÊNCIAS

- AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **AACC Approved Methods of Analysis**, 11. ed., 1999. AACC Method 44-15.02: Moisture -Air-Oven Methods.
- ANANTA, E.; VOLKERT, M.; KNORR, D. Cellular injuries and storage stability of spray-dried *Lactobacillus rhamnosus GG*. **International Dairy Journal**, v. 15, p. 399–409, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.08.004>.
- AYADI, M. A. et al. Effect of Moderate Spray Drying Conditions on Functionality of Dried Egg White and Whole Egg. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 6, p. E281-E287, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00811.x>.
- BELYAVIN, C. G. The Use of Fresh Eggs. In: Caballero, B. (editor). **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**. 2. ed. Academic Press, 2003. p. 1996-2000. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00385-0>.
- BELYAVIN, C. G. Eggs: Use in the Food Industry. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. **Encyclopedia of Food and Health**. Academic Press, 2016. p. 476-479. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00245-2>.
- BRAGA, A. L. M. et al. Interactions between soy protein isolate and xanthan in heat-induced gels: The effect of salt addition. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 1178–1189, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.01.003>.
- BUHL, T. F.; CHRISTENSEN, C. H.; HAMMERSHØJ, M. Aquafaba as an egg white substitute in food foams and emulsions: Protein composition and functional behavior. **Food Hydrocolloids**, v. 96, p. 354-364, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.041>.
- BUSTILLOS, M. A. et al. Rheological and microstructural characterization of batters and sponge cakes fortified with pea proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 101, n. 105553, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105553>.
- CAMPBELL, L.; RAIKOS, V.; EUSTON, S. R. Modification of functional properties of egg-white proteins Review - Modification of functional properties of egg-white proteins. **Nahrung**, v. 47, n. 6, p. 369-76, 2003. <https://doi.org/10.1002/food.200390084>.
- CAUVAIN, S. P. CAKES | Methods of Manufacture. In: CABALLERO, B. (editor). **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**. 2. ed. 2003. p. 756-759. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00146-2>.
- ÇELİK, I. et al. Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters. **Food Chemistry**, v. 101, p. 907-911, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.063>.
- CEPEDA-VÁZQUEZ, M. et al. How ingredients influence furan and aroma generation in sponge cake. **Food Chemistry**, v. 245, pp. 1025-1033, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.069>.

COTTERILL, O. J. et al. Titration Curves and Turbidity of Whole Egg White. Titration Curves and Turbidity of Whole Egg White. **Poultry Science**, v. 38, n. 4, p. 836-842, 1959. <https://doi.org/10.3382/ps.0380836>.

CUI, H. et al. Formation and fate of Amadori rearrangement products in Maillard reaction. **Trends in Food Science & Technology**, v. 115, p. 391–408, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.055>.

DAMODARAN, S. Protein Stabilization of Emulsions and Foams. **Journal of food Science**, v. 70, n. 3, p. R54 - R66, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07150.x>.

DELEU, L. J. et al. Ohmic versus conventional heating for studying molecular changes during pound cake baking. **Journal of Cereal Science**, v. 89, n. 102708, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.008>.

DESROCHERS, J. L.; SEITZ, K. D.; WALKER, C. E. Cakes, chemistry of manufacture. **Encyclopedia of Grain Science**, p. 129-133, 2004. <https://doi.org/10.1016/B0-12-765490-9/00217-2>.

FAEZIAN, A.; Yeganehzad, S.; Tighchi, H. A. A simplified model to describe drainage of egg white powder foam containing additives. **Chemical Engineering Science**, v. 195, p. 631-641, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.10.008>.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Gateway to poultry production and products: Poultry species**. 2021a. Disponível em: <<http://www.fao.org/poultry-production-products/production/poultry-species/en/>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Ingredientes enriquecedores para panificação. Dossiê Panificação. **Food Ingredients Brasil**, n. 42, 2017. Disponível em: <https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201711/2017110916886001512043790.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2021.

FRANKE, K.; KIEBLING, M. Influence of spray drying conditions on functionality of dried whole egg. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, p. 1837-1841, 2002. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1269>.

GARCÍA-OCHOA, F. et al. Xanthan gum: production, recovery, and properties. **Biotechnology Advances**, v. 18, n. 7, p. 549-579, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00050-1).

GATELLIER, P. et al. Use of a fluorescence front face technique for measurement of lipid oxidation during refrigerated storage of chicken meat. **Meat Science**, v. 76, p. 543-547, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.01.006>.

GARCÍA-SEGOVIA, P. et al. Effect of Replacement Wheat Flour by a Composite Mix Flour in Sponge Cakes. **Journal of Culinary Science & Technology**, v. 15, n. Issue 2, 2016. <https://doi.org/10.1080/15428052.2016.1220340>.

GODEFROIDT, T. et al. Ingredient Functionality During Foam-Type Cake Making: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 0, p. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12488>.

GÓMEZ, M. et al. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. **Food Hydrocolloids**, v. 21, 167–173, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.012>.

GÓMEZ, M.; DOYAGÜE, M. J.; DE LA HERA, E. Addition of pin-milled pea flour and air-classified fractions in layer and sponge cakes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, p. 142-147, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.014>.

GORANOVA, Z.; MARUDOVA, M; BAEVA, M. Influence of functional ingredients on starch gelatinization in sponge cake bater. **Food Chemistry**, v. 297, n. 124997, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124997>.

HAMMERSHØJ; PETERS; ANDERSEN. The significance of critical processing steps in the production of dried egg albumen powder on gel textural and foaming properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 1039–1048, 2004. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1772>.

HAMMERSHØJ, M. et al. Dry-pasteurization of egg albumen powder in a fluidized bed. II. Effect on functional properties: gelation and foaming. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 263–274, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01059.x>.

HANDA, A.; KURODA, N. Functional Improvements in Dried Egg White through the Maillard Reaction. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 1845-1850, 1999. <https://doi.org/10.1021/jf9811018>.

HILL, W. M. et al. Spray-Drying Egg White at Various pH Levels. **Poultry Science**, v. 44, n. 5, p. 1155-1163, 1965. <https://doi.org/10.3382/ps.0441155>.

HUANG, M.; YANG, H. Eucheuma powder as a partial flour replacement and its effect on the properties of sponge cake. **LWT - Food Science and Technology**, v. 110, p. 262-268, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.087>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da Pecuária Municipal**: Tabela 3939 - Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho (Vide Notas). 2020b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, D. K. Drying of Fruits and Vegetables. In: Mujumdar, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. CRC Press, 2006. p. 606-631. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

KANDASAMY, P. et al. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2526-2534, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0812-y>.

KOC, B. et al. Spray Drying of Yogurt: Optimization of Process Conditions for Improving Viability and Other Quality Attributes, **Drying Technology**, v. 28, n. 4, p. 495-507, 2010. <https://doi.org/10.1080/07373931003613809>.

KOÇ, M. et al. Physicochemical Characterization of Whole Egg Powder Microencapsulated by Spray Drying. **Drying Technology: An International Journal**, v. 29:7, p. 780-788, 2011b. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.538820>.

KOÇ, M. et al. Improving Functionality of Whole Egg Powder by the Addition of Gelatine, Lactose, and Pullulan. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 9, p. S508-S515, 2011c. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02420.x>.

KUDRE, T. G. et al. Comparative study on physicochemical and functional properties of egg powders from Japanese quail and white Leghorn chicken, **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 956-971, 2018. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1466320>.

LAU, M.H.; TANG, J.; PAULSON, A.T. Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels. **Food Research International**, v. 33, p. 665-671, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00111-3](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00111-3).

LECHEVALIER, V. et al. Processed egg products. In: NYS, Y.; BAIN, M.; IMMERSEEL, F. V. (editores). **Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Egg Chemistry, Production and Consumption**. Woodhead Publishing, 2011. p. 538-581. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.4.538>.

LECHEVALIER, V.; NAU, F.; JEANTET, R. Powdered egg. In: BHANDARI, B. et al. (editores). **Handbook of Food Powders: Processes and Properties**. Woodhead Publishing, 2013. p. 484-512. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.3.484>.

LU, TSONG-MING. et al Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. **Food Chemistry**, v. 119, p. 1090–1095, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.015>.

MA, Y.; ZHAO, Y.; CHI, Y. Changes in the gel characteristics of two hen egg white powders modified by dry heating and the Maillard reaction during long-term storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 109, p. 123-129, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.003>

MARTINS, S. I. F. S.; JONGEN, W. M. F.; van BOEKEL, M. A. J. S. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, n. 9–10, p. 364-373, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00022-X).

MILLER, R. et al. Cakes: Types of Cakes. In: CABALLERO, B; FINGLAS, P. M; TOLDRÁ, F. (editors). **Encyclopedia of Food and Health**. 2016. p. 579-582. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00100-8>.

MOIRAGHI, M. et al. Effect of wheat flour characteristics on sponge cake quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, p. 542–549, 2013. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5821>.

MOSCHAKIS, T.; MURRAY, B. S.; DICKINSON, E. Microstructural evolution of viscoelastic emulsions stabilised by sodium caseinate and xanthan gum. **Journal of Colloid and Interface Science**, 284, p. 714–728, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.10.036>.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V. G. S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I, Optimization of Egg White Foam Stability, **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, n. 4, p. 510-512, abr. 2008a. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930801929581>.

NOORLAILA, A. et al. The effects of xanthan gum and hydroxypropylmethylcellulose on physical properties of sponge cakes. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19 128–135, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.08.001>.

OLIVEIRA, B. L.; OLIVEIRA, D. D. **Qualidade e tecnologia de ovos**. Lavras: Editora UFLA, 2013. 224 p.

PALAV, T. S. Chemistry of Cake Manufacturing. In: WRIGLEY, C. et al. (editors). **Encyclopedia of Food Grains**. 2. ed. v. 3. 2016. p. 367-374. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00156-X>.

PANDA, B.; SINGH, R. P. Developments in processing quail meat and eggs. **World's Poultry Science Journal**, v. 46, n. 3, p. 219 – 234, 1990. <https://doi.org/10.1079/WPS19900022>.

PEHLIVANOGLU, H. et al. Investigating the usage of unsaturated fatty acid-rich and lowcalorie oleogels as a shortening mimetics in cake. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 46, n. 6, e13621, 2018. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13621>.

RAJKUMAR, P. et al. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 1452–1459, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.027>.

SAHI, S. S.; ALAVA, J. M. Functionality of emulsifiers in sponge cake production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, p. 1419–1429, 2003. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1557>.

SALEHI, F. et al. Improvement of quality attributes of sponge cake using infrared dried button mushroom. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 3, p.1418-1423, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2165-9>.

SANGAMITHRA, A. et al. Foam mat drying of food materials: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2014. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12421>.

SCHIRMER, M. et al. Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake. **Food Research International**, v. 48, p. 291–298, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.003>.

SEAPA - SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS. **Coturnicultura**. 2020. Disponível em: <[http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/coturnicultura_nov_2020\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/coturnicultura_nov_2020[1].pdf)> . Acesso em: 23 fev. 2021.

SEGURA-CAMPOS, M. et al. Physicochemical and Functional Properties of Dehydrated Japanese Quail (*Coturnix japonica*) Egg White. *Food and Nutrition Sciences*, v. 4, p. 289-298, 2013. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.43039>.

SHANAWAY, M. M. **Quail production systems**: a review. Rome (Italy): FAO, 1994. 145 p.

SOUZA-SOARES, L. A.; SIEWERDT, F. **Aves e Ovos**. Pelotas: Ed. Da Universidade UFPEL, 2005. 138 p.

SRAMEK, M. et al. Preparation of High-Grade Powders from Tomato Paste Using a Vacuum Foam Drying Method. *Journal of Food Science*, v. 80, n. 8, 2015. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12965>.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **FoodData Central Search Results**: Egg, whole, raw, fresh. 2019a. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171287/nutrients>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **FoodData Central Search Results**: Egg, quail, whole, fresh, raw. 2019b. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172191/nutrients>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

VELIOGLU, S. D. Determination of the foaming and emulsifying properties of lyophilized whole quail egg, egg yolk and egg white. *GIDA*, v. 44, n. 5, p. 919-931, 2019. <https://doi.org/10.15237/gida.GD19113>.

ZAMORA, R; HIDALGO, F. J. The Maillard reaction and lipid oxidation. *Lipid Technology*, v. 23, n. 3, 2011. <https://doi.org/10.1002/lite.201100094>.

ZHU, JIAN-HUA et al. Rheological properties of j-carrageenan and soybean glycinin mixed gels. *Food Research International*, v. 41, p. 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.11.009>.