



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS**

**ESTUDO DA SECAGEM DA CLARA DE OVO EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM-
MAT DRYING*)**

Tamires dos Santos Pereira

Orientadora: Prof. D. Sc Josilene de Assis Cavalcante

Pombal -PB

2015

TAMIRES DOS SANTOS PEREIRA

ESTUDO DA SECAGEM DA CLARA DE OVO EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*)

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Sistemas Agroindustriais.

Orientadora: Prof. D. Sc Josilene de Assis Cavalcante

Pombal -PB

2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

P436e Pereira, Tamires dos Santos.
Estudo da secagem da clara do ovo em camada de espuma (*foam-mat drying*) / Tamires dos Santos Pereira. – Pombal, 2015.
96 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2015.

"Orientação: Prof^a. Dr^a. Josilene de Assis Cavalcante".

Referências.

1. Cinética de Secagem.
2. Curvas de Secagem - Ajuste.
3. Ovoprodutos. I. Cavalcante, Josilene de Assis. II. Título.

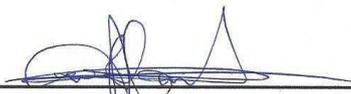
CDU 664.8.047(043)

**ESTUDO DA SECAGEM DA CLARA DO OVO EM CAMADA DE ESPUMA
(FOAM-MAT DRYING)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal-PB, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre (M. Sc.) em Sistemas Agroindustriais.

Aprovada em 17 / 12 / 2015

COMISSÃO EXAMINADORA



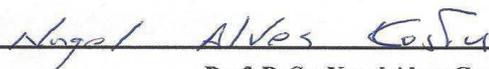
Prof.ª D.ª Sc. Josilene de Assis Cavalcante
Orientadora



Prof.ª D.ª Sc. Mércia Melo de Almeida Mota
Examinadora Interna



Prof. D. Sc. Flávio Luiz Honorato da Silva – DEQ/UFPB
Examinador Externo



Prof. D. Sc. Nagel Alves Costa
Examinador Externo – DEQ/UFPB

POMBAL-PB

DEZEMBRO-2015

*Nunca se afaste dos seus sonhos, pois
se eles se forem, você continuará
vivendo, mas terá deixado de existir.*

(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela proteção, saúde, determinação e fé, e principalmente por nunca soltar minha mão.

Aos meus pais Francisco e Francisca e ao meu irmão Ailton pelo zelo e contribuição para que eu seguisse sempre meus objetivos e me tornasse uma pessoa determinada e independente.

A minha orientadora Josilene e a Nagel pela compreensão, apoio, dedicação e carinho, tornando meu caminho mais fácil e me ajudando a carregar minhas pedrinhas.

Aos meus chefes Leonardo e Félix pelo apoio e compreensão da ausência, aos meus amigos que o IBGE me deu de presente, João Paulo, Bruna, João Antônio, Wélío e Raphaella por me agüentarem e estarem sempre na torcida.

Aos “meus meninos” de engenharia química da UFPB que me auxiliaram desde o início: Williane, Christian; Luíz, Carliston, Eduardo, Jéssica e Tatiana, sem vocês esse momento não seria possível.

Aos meus amigos que nunca falharam em me ajudar, me acolher e me escutar: Thiago, Rafael e Anderson Vandré muito obrigada.

As minhas sempre amigas Flávia pela ajuda, apoio e por me ajudar a segurar a onda nos momentos de desespero; Ítala que mesmo longe sei que sempre está rezando por mim; Anna Cláudia pelo ombro amigo nos momentos de tormenta; Geane por sempre estar comigo e me aconselhar, Gilliana pelo apoio incondicional e por me dar de presente Davi.

A Jandilson (Mô) pelo carinho, por me apoiar, acreditar em mim e me mostrar que eu tenho mais paciência do que eu imagino.

A Família Cascão de Jiu-jitsu por me fazer perceber que por maior que seja a batalha, sempre é possível alcançar a vitória.

A toda a equipe e coordenação do Programa de Pós Graduação em Sistemas Agroindustriais da UFCG pela oportunidade e apoio.

Muito obrigada!!!

RESUMO

O ovo em sua forma integral ou a clara e gema apresentam-se como ingrediente fundamental em inúmeros produtos alimentares ao agregar propriedades nutricionais e funcionais. A secagem é uma maneira bem sucedida de conservação dos ovos, considerando algumas vantagens como: ocupar menos espaço no estoque; facilidade de transporte; boa uniformidade; utilização mais fácil e ter qualidade microbiológica estável. Uma vantagem considerável na secagem em camada de espuma é a sua capacidade de manter a alta qualidade dos produtos, apresentando grandes possibilidades para a indústria alimentícia, além da baixa temperatura empregada e com tempo de desidratação reduzido devido à maior área de contato com o ar. Este trabalho tem como objetivo estudar a cinética de secagem em camada de espuma das claras dos ovos de granja e de capoeira (caipira), bem como ajustar os dados experimentais das curvas de secagem com modelos cinéticos como o de Henderson e Pabis, Midilli e Kucuk, Page e um modelo linear. Foram determinadas características da espuma, como densidade, expansão, capacidade de incorporação de ar e estabilidade da espuma. O estudo da influência das variáveis independentes sobre a secagem foi feito de acordo com um planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 4$ pontos centrais. As variáveis operacionais a serem estudadas (variáveis de entrada) foram: espessura da camada de espuma; tempo de agitação da espuma e temperatura de secagem. E as variáveis dependentes do processo (variáveis de saída) foram tempo de secagem e umidade final, teor de proteínas e luminosidade (cor). Foi realizada a caracterização físico-química, microscópica e de cor do pó obtido. A clara de ovo, por conter naturalmente propriedades espumantes devido ao alto teor e estrutura de suas proteínas apresentou resultados satisfatórios em relação à caracterização física da espuma. Todos os experimentos apresentaram uma boa reprodutibilidade, com curvas representadas caracteristicamente pela taxa constante e a taxa decrescente. Para o ajuste dos dados da clara de capoeira os modelos não lineares que melhor representaram os dados experimentais foram o de Midilli e Kucuk e o modelo de Page seguidos do modelo linear que foi utilizado para o ajuste dos dados até os 150 minutos de secagem. O modelo de Midilli e Kucuk apesar de apresentar o melhor coeficiente de determinação (R^2) não foi estatisticamente significativo. Para a clara de granja o modelo linear apresentou o melhor ajuste considerando o tempo máximo de 130 minutos de secagem, seguido pelos modelos não lineares de Midilli e Kucuk e o de Page respectivamente. O processo de secagem da clara de ovo pelo método de camada de espuma mostrou-se satisfatório quanto aos parâmetros avaliados, sendo que as condições testadas não influenciaram de forma significativa em características tecnológicas importantes do produto final, como o teor de proteínas.

Palavras-Chave: cinética de secagem; ajuste de curva; ovo produtos.

ABSTRACT

The egg in their entirety form or the white and the yolk present as essential ingredient in many food products by adding nutritional and functional properties. Drying is a successful way of conservation of eggs, whereas some advantages as to occupy less space ease of transport, good uniformity, easier to use and be stable microbiological quality. A considerable advantage in the foam-mat drying is its ability to maintain high product quality, presenting great opportunities for the food industry, besides the low temperature employed and reduced dehydration of time due to the larger area of contact with air. This work aims to study the drying kinetics in foam-mat drying the white of the farm eggs and capoeira (caipira) and to adjust the experimental data of the curves of dryness with the kinetic model obtained as Henderson and Pabis, Midilli and Kucuk , Page and a linear model. The study of the influence of the independent variables about dryness was made according to an experimental factorial plan complete $2^3 + 4$ central points. The operational variables to be studied (input variables) were: thickness of the foam layer; shaking time of foam and drying temperature. And the dependent variables of the process (output variables) were drying time and final moisture content, protein content and brightness (color). It was made physicochemical characterization, and microscopic color of the powder obtained was performed. Egg whites to contain naturally foaming properties due to the high content and structure of its proteins showed satisfactory results regarding the physical characteristics of the foam. All experiments showed good reproducibility with curves represented by the characteristically constant rate and decreasing rate. For the adjustment of the data of the capoeira white data nonlinear models that best represent the experimental data were of Midilli and Kucuk and followed by Page linear model was used to fit the data until 150 minutes drying. The model of Midilli and Kucuk despite having the best coefficient of determination (R^2) was not statistically significant. For the white of the farm linear model showed the best fit considering the maximum time of 130 minutes drying, followed by non-linear models and Midilli and Kucuk and the Page respectively. The process of drying the egg white froth layer method was satisfactory for the evaluated parameters, and the conditions tested did not influence significantly on important technological characteristics of the final product as the protein.

Key words: drying kinetics; curve fitting; egg products.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do ovo.....	19
Figura 2 – Curva de secagem convectiva típica.....	33
Figura 3 – Curva de taxa de secagem.....	33
Figura 4 – Avaliação da densidade e expansão das espumas de clara de ovo.....	43
Figura 5 – Avaliação da capacidade de incorporação de ar (<i>over-run</i>).....	44
Figura 6 – Espuma disposta na bandeja para posterior secagem.....	45
Figura 7 – Sistema de peneiras e retenção dos pós.....	49
Figura 8 – Acondicionamento das claras em pó.....	50
Figura 9 – Densidade das claras de ovo da variedade capoeira e granja e espumas para diferentes tempos de agitação (tag).....	51
Figura 10 - Percentual de expansão das espumas da clara de ovo da variedade capoeira e granja para diferentes tempos de agitação (tag) em minutos.....	54
Figura 11 - Incorporação de ar (<i>over-run</i>) das espumas da clara de ovo capoeira e granja para diferentes tempos de agitação (tag) em minutos.....	56
Figura 12 - Estabilidade da espuma da clara de ovo da variedade capoeira para diferentes temperaturas.....	58
Figura 13 - Estabilidade da espuma da clara de ovo da variedade granja para diferentes temperaturas.....	59
Figura 14 - Curvas da cinética de secagem das espumas da clara de ovo da variedade capoeira e granja nos pontos extremos: (a) Experimento 1 e (b) Experimento 8.....	60
Figura 15 - Curvas da cinética de secagem das espumas da clara de ovo capoeira e granja nos pontos centrais do planejamento fatorial completo.....	61
Figura 16 - Ajustes dos modelos propostos para a secagem de clara de ovo da variedade capoeira.....	63
Figura 17 - Ajustes dos modelos propostos para a secagem de clara de ovo de granja.....	66
Figura 18 – Diagrama de Pareto para o tempo de secagem da clara de capoeira.....	68

Figura 19 – Diagrama de Pareto para o tempo de secagem da clara de granja.....	69
Figura 20 – Diagrama de Pareto para a umidade final da clara em pó de capoeira.....	70
Figura 21 – Diagrama de Pareto para a umidade final da clara em pó de granja.....	71
Figura 22 – Diagrama de Pareto para o teor de proteína da clara em pó de capoeira.....	71
Figura 23 – Diagrama de Pareto para o teor de proteína da clara em pó de granja.....	72
Figura 24 – Diagrama de Pareto para a luminosidade da clara em pó de capoeira exposta à luz.....	73
Figura 25 – Diagrama de Pareto para a luminosidade da clara em pó de capoeira protegida da luz.....	73
Figura 26 – Diagrama de Pareto para a luminosidade da clara em pó de granja exposta à luz.....	74
Figura 27 – Diagrama de Pareto para a luminosidade da clara em pó de granja protegida luz.....	74
Figura 28 – Pó da clara obtido após a secagem em camada de espuma.....	75
Figura 29. Distribuição granulométrica dos pós obtidos das espumas da clara de ovo da variedade capoeira (a) e granja (b) para diferentes tempos de agitação.....	76
Figura 30 - Microscopia óptica com aumento de (a) 40 e (b) 100 vezes para a clara em pó de capoeira.....	79
Figura 31 - Microscopia óptica com aumento de (a) 40 e (b) 100 vezes para a clara em pó de granja.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nutrientes constituintes do ovo grande fresco e cru.....	23
Tabela 2 – Possibilidade de utilização de ovoprodutos.....	26
Tabela 3 – Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem.....	32
Tabela 4 – Valores codificados e reais das variáveis independentes.....	46
Tabela 5 – Matriz do planejamento fatorial $2^3 + 4$ pontos centrais.....	46
Tabela 6 – Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem.....	47
Tabela 7 – Modelos de ajuste para a clara de ovo da variedade capoeira nos pontos centrais.....	64
Tabela 8 – Modelo de Midilli e Kucuk a 95% de confiança para a variedade capoeira.....	65
Tabela 9 - Modelos de ajuste para a clara de ovo da variedade granja nos pontos centrais.....	66
Tabela 10 - Valores de luminosidade (L) para a clara em pó de capoeira e granja.....	78

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 Ovo.....	18
3.1.1 Estrutura e composição do ovo.....	18
3.2 Alterações durante o armazenamento.....	19
3.3 Utilização de ovos na elaboração de produtos alimentícios.....	22
3.4 Ovoprodutos.....	24
3.4.1 Classes de ovoprodutos.....	25
3.4.2 Uso dos ovoprodutos.....	25
3.5 Formação de espuma.....	26
3.6 Secagem em camada de espuma (<i>foam-mat drying</i>).....	28
3.7 Modelos matemáticos para secagem.....	31
3.7.1 Curva de secagem.....	32
3.7.1.1 Curva da taxa de secagem.....	33
3.8 Ovoprodutos desidratados.....	35
3.8.1 Escurecimento em ovoprodutos.....	36
3.8.2 Reidratação e reconstituição do ovo em pó.....	38
3.9 Estado da arte.....	38
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.1 Matéria-prima.....	42
4.2 Aparato experimental.....	42
4.3 Metodologia.....	43
4.3.1 Produção da espuma.....	43
4.3.2 Caracterização da espuma.....	43
4.3.2.1 Densidade e percentual de expansão.....	43

4.3.2.2 Capacidade de incorporação de ar (<i>over-run</i>).....	44
4.3.2.3 Avaliação da estabilidade da espuma.....	45
4.3.3 Secagem em camada de espuma.....	45
4.3.3.1 Análise estatística.....	47
4.3.4 Ajustes dos dados experimentais da secagem de clara de ovo com modelos matemáticos.....	47
4.3.5 Caracterização do pó obtido.....	48
4.3.5.1 Granulometria.....	48
4.3.5.2 Determinação da proteína.....	49
4.3.5.3 Análise objetiva de cor.....	49
4.3.5.4 Análise microscópica do pó obtido.....	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1 Caracterização física da espuma.....	51
5.1.1 Densidade.....	51
5.1.2 Expansão.....	53
5.1.3 Incorporação de ar (<i>over run</i>).....	55
5.1.4 Estabilidade.....	57
5.2 Análise dos dados de secagem.....	60
5.3 Verificação da influência das variáveis independentes (espessura, tempo de agitação e temperatura) sobre a secagem.....	62
5.3.1 Tempo de secagem.....	67
5.3.2 Umidade final.....	67
5.3.3 Teor de proteína.....	69
5.3.4 Análise objetiva de luminosidade.....	71
5.4 Caracterização da partícula do pó obtido.....	72
5.4.1 Granulometria.....	75
5.4.2 Umidade final.....	77
5.4.3 Valores da proteína.....	77
5.4.4 Análise objetiva de luminosidade.....	78
5.4.5 Análise microscópica do pó.....	79

6. CONCLUSÕES.....	80
Referências Bibliográficas.....	81
APÊNDICE A.....	91

1. INTRODUÇÃO

O ovo é considerado um dos alimentos mais nutritivos da dieta humana, sendo sua composição rica em vitaminas, minerais, ácidos graxos e proteínas de excelente valor biológico (RÊGO et al., 2012). O ovo em sua forma integral ou a clara e gema apresentam-se como ingrediente fundamental em inúmeros produtos alimentares ao agregar propriedades nutricionais e funcionais, além de conter substâncias promotoras de saúde e preventiva de doença.

O tempo de estocagem, temperatura dos ovos, linhagem e idade da poedeira como o manejo nutricional e estado sanitário são fatores que apresentam grande influência na qualidade do ovo como um todo (ALLEONI, ANTUNES 2001; BERARDINELLI et al., 2003). Quando os ovos apresentam qualidade insatisfatória pode ocasionar prejuízos econômicos às indústrias e a saúde do consumidor.

A produção de ovos de galinha no Brasil alcançou a marca de 725,72 milhões de dúzias no 2º trimestre de 2015, sendo um recorte da evolução da produção de ovos, alcançando no 2º trimestre de 2015, o nível mais alto da série desde 1987, quando a pesquisa foi iniciada pelo IBGE (IBGE, 2015).

No comparativo com o mesmo período de 2014, todas as Regiões Geográficas apresentaram aumento na produção de ovos de galinha, tendo peso importante o aumento registrado no Sul do país (8,7%), no Nordeste (6,5%) e no Sudeste (1,5%) (IBGE, 2015).

A Pesquisa da Produção de Ovos de Galinha investiga ainda a informação cadastral da finalidade da produção dos ovos (consumo ou incubação), sendo que 78,3% da produção nacional de ovos são destinados ao consumo (IBGE, 2015).

Ainda segundo o IBGE (2015), no período de um ano (jul/2014 a jun/2015) foram produzidas no Estado da Paraíba 24.564 mil dúzias de ovos, havendo no mês de Julho/2015, no estado, um total de 973.161 galinhas poedeiras.

Embora crescente apenas 5% do total de ovos produzidos são submetidos a algum tipo de processamento industrial (MARTINS, 2002), enquanto na Europa esse percentual chega a 20%, nos Estados Unidos 31% e no Japão 50% (HAMMERSHOJ et al., 2004).

A secagem é um procedimento em que a água é retirada do produto, através de um processo simultâneo de transferência de calor e massa. Os termos secagem

e desidratação não são necessariamente sinônimos. Para o Departamento de Agricultura dos EUA, o termo desidratação é atribuído ao produto no qual o teor de umidade final não ultrapassa 2,5% (b.s.), enquanto que a secagem é designada quando o produto final apresenta mais que 2,5% (b.s.) de umidade (VEJA-MERCADO et al., 2001).

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) se sobressai por ser um procedimento em que os alimentos líquidos ou semilíquidos são transformados em espumas estáveis, por meio de forte agitação e incorporação de agentes espumantes para, em seguida, serem desidratados (SILVA et al., 2008).

Uma vantagem considerável na secagem em camada de espuma é a sua capacidade de manter a alta qualidade dos produtos, apresentando grandes possibilidades para a indústria alimentícia, sendo atualmente aplicados em café, sucos de laranja, uva, carambola, abacaxi e outros produtos instantâneos (SANKAT, CASTAIGNE, 2004).

Diferentes teorias tentam explicar a cinética de secagem de materiais porosos. O principal objetivo é descrever como a umidade é transferida do interior do sólido para evaporar na sua superfície e qual mecanismo de transferência controla o processo de secagem. Os modelos matemáticos tradicionalmente utilizados para representar a cinética de secagem são dois: os modelos puramente convectivos e os modelos difusivos. A formulação desses modelos, desenvolvida a partir da análise do comportamento de secagem de uma única partícula, geralmente considera todos os parâmetros de transporte constantes, possibilitando uma descrição similar da taxa de secagem (MAYTA et al., 1996).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a cinética de secagem em camada de espuma das claras dos ovos de granja e de capoeira (caipira), bem como fazer os ajustes de curvas dos dados experimentais levantados.

2.2. Objetivos específicos

- Produzir e caracterizar a espuma das claras de ovos em termos de densidade, expansão, capacidade de incorporação de ar e estabilidade;
- Realizar o ajuste das curvas de secagem obtidas a partir de modelos matemáticos.
- Realizar o estudo cinético de secagem da clara do ovo de granja e de capoeira (caipira), baseado no planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 4$ pontos centrais (total de 12 experimentos) e avaliar a influência das variáveis de entrada (tempo de agitação, espessura e temperatura de secagem) sobre a resposta (tempo de secagem, umidade final, proteínas e luminosidade com e sem exposição à luz);
- Caracterizar o pó obtido por meio de análises físicas, físico-químicas, microscópicas e de luminosidade.

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 Ovo

Sob a denominação geral de ovo são entendidos apenas aqueles provenientes de galinha e os demais devem ser indicados segundo a espécie de que procedem (ORNELLAS, 2001).

O ovo comercial é o produto de uma hábil transformação biológica feita pela galinha de postura. Esta ave transforma recursos alimentares de menor valor biológico em um produto com alta qualidade nutricional para o consumo humano. A transformação depende de fatores biológicos relacionados à fisiologia da ave e é influenciada pelo aporte nutricional e práticas de manejo e ambiente adequados para a sua criação (BERTECHINI, 2004).

3.1.1 Estrutura e composição do ovo

A proteína do ovo é considerada uma proteína padrão pela Organização para Alimentos e Agricultura da Organização Mundial de Saúde (FAO-OMS) (VIEIRA, 2000), já que sua proteína é de fácil digestibilidade, contendo uma elevada taxa de utilização líquida de nitrogênio (SALINAS, 2002; SGARBIERI, 1996) e é considerada de alto valor biológico por conter aminoácidos essenciais, necessários ao crescimento e manutenção do organismo humano (SGARBIERI, 1996). Contém vitaminas lipossolúveis, A, D, E e K, além das vitaminas do complexo B como tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina e cianocobalamina. Dentre os minerais, estão presentes, o ferro, cálcio, potássio, sódio, fósforo, zinco, dentre outros. O ovo é uma importante fonte de colesterol e de ácido graxo insaturado, principalmente o oléico (STALDEMAN e COTERRIL, 1995; SOUZA-SOARES e SIEWERDT, 2005).

Na clara existe a distinção de três frações, que variam quanto à viscosidade: sendo a fração externa fluida e fina que corresponde a 23% da clara, uma intermediária, espessa e densa que corresponde a 57% e uma interna fluida e fina que representa 20%. Junto à clara também encontra as calazas (SEIBEL, 2005).

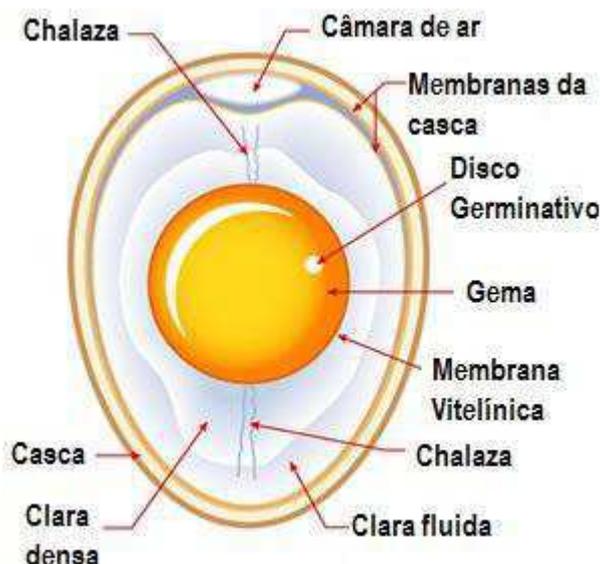
A clara de um ovo apresenta aproximadamente 60% do seu peso total (SALINAS, 2002). É composta, sobretudo de substâncias albuminóides e água. A

gema de um ovo com aproximadamente 50g tem em torno de 15g. É constituída por aproximadamente 50% de água, 30% de lipídios e 20% de proteínas.

Fundamentalmente a clara de ovo consiste em uma complexa mistura de proteínas, sendo a ovoalbumina a que está presente em maior quantidade (~54%), seguida pela ovotransferrina (~12%) e a ovomucina (~11%). Alterações das propriedades estruturais das proteínas induzidas por processamentos térmicos, como a secagem, levaram a mudanças de propriedades funcionais que podem prejudicar ou melhorar a qualidade do produto final (FRANKE, KILBLING, 2002).

A estrutura física do ovo pode ser observada na Figura 1.

Figura 1- Estrutura do ovo



Fonte: Góes, 2013

3.2 Alterações durante o armazenamento

Por ser rico em nutrientes e ser de alta digestibilidade o ovo exige alguns cuidados para que não se transforme em fonte de contaminação, ocasionando casos de intoxicação alimentar e para que chegue ao consumidor com um bom padrão de qualidade. Devido a sua perecibilidade, deveria ser mantido sob refrigeração desde

a produção até o consumo. Contudo, este procedimento gera um aumento do custo de produção e conseqüentemente este recai sobre os consumidores (FIGUEIREDO, 2012).

Vários fatores intrínsecos são preponderantes para a manutenção da qualidade do ovo, dentre eles destacam-se o valor nutricional, sabor, odor, cor da gema, palatabilidade e aparência não sendo facilmente determinados na aquisição do produto (SCATOLINI-SILVA, 2013).

A alteração mais comum na qualidade acontece em decorrência da perda de água através dos poros da casca pela evaporação, que influencia diretamente no tamanho da câmara de ar. A taxa de evaporação depende do ambiente em que o ovo encontra-se armazenado, da temperatura, da umidade relativa e da ventilação (MORENG, AVENS, 1990).

Assim, o prazo de validade de ovos em relação à qualidade físico-química e microbiológica é proporcional aos fatores extrínsecos como condições ambientais de produção e armazenamento; e intrínsecos como seus nutrientes, principalmente as proteínas, pH e atividade de água (FIGUEIREDO, 2012).

No decorrer do tempo de armazenamento do ovo, ocorre um aumento da câmara de ar, a clara torna-se mais fluida pela alteração dos coloides em função da perda de CO₂ e mudanças no valor de pH, permitindo que a gema oscile facilmente (BRAKE et al., 1997; FRANCO, LANDGRAF, 1996). Quimicamente, há aumento do ácido fosfórico, devido à ação das enzimas sobre as fosfoproteínas, a desaminação leva a formação do amoníaco e o pH da clara passa de 7,6 para 9,5 (FRAZIER, WEESTHOFF, 1993).

No decorrer do armazenamento de ovos, acontece a transformação de ovoalbumina em S-ovoalbumina alterando algumas características do albúmen, como a estabilidade de espuma (albúmen batido) e, conseqüentemente, interferindo no processamento de alguns alimentos como bolos, pães, merengues e sorvetes. Com a elevação do pH no decorrer da estocagem de ovos, parte do albúmen é transformado em S-ovoalbumina e com o aumento desta, aumenta o volume de líquido drenado após 30 minutos do processamento (bateção) e diminui a estabilidade do albúmen batido (ALLEONI, ANTUNES, 2004).

Com o aumento da demanda de ovos processados originando produtos como albúmen, gema e ovo líquido e em pó, a indústria está cada vez mais interessada na

proporção relativa dos constituintes do ovo. Assim, o conteúdo de sólidos totais dos ovos tem se evidenciado um importante parâmetro, uma vez que essa variável determina o rendimento de produtos originados da secagem de ovos (AHN et al., 1997).

Os ovos são protegidos do meio externo e de contaminações pela casca; à medida que são quebrados, deve ser utilizado o mais rápido possível, já que os ovos são uma excelente fonte de nutrientes e com isso facilmente contaminado por microrganismos. Tanto na quebra manual, quanto na mecânica, há riscos de contaminação pelo contato com as mãos, utensílios ou equipamentos inadequadamente limpos ou sanificados; deve-se também evitar o contato da clara e da gema com a casca. Assim, o ovo começa a perder qualidade interna momento após a postura, caso não sejam tomadas medidas adequadas para sua conservação. A perda de qualidade ocorre de forma contínua ao longo do tempo e pode ser agravado por diversos fatores (BARBOSA et al., 2008).

Os diversos tipos de alterações de ovos têm diferentes designações. Podem ser destacadas as alterações causadas por *Pseudomonas fluorescens* que se desenvolve em temperatura de refrigeração e deixa a clara com uma coloração verde brilhante. Outras espécies de *Pseudomonas*, *Achromobacter* e algumas bactérias do grupo coliformes causam alterações incolores, onde a gema se desintegra ou desenvolve uma incrustação branca e a alteração no odor muitas vezes não é percebida. Outra série de alteração caracteriza-se pelo surgimento de uma cor negra, as gemas se desintegram e enegrecem, dando lugar a um odor pútrido, comumente esta alteração é produzida pelo gênero *Proteus* e algumas vezes por *Pseudomonas* e *Aeromonas*. A mancha rosada nos ovos é ocasionada pelo desenvolvimento de algumas cepas de *Pseudomonas* e às vezes se trata de uma fase avançada das manchas verdes (FRAZIER, WEESTHOFF, 1993).

Os ovos líquidos pasteurizados ou desidratados oferecem uma maior garantia, além de maior facilidade e segurança, pois os fornecedores realizam análises microbiológicas necessárias ao controle desta matéria-prima. O ovo líquido pasteurizado é um produto que sofreu um tratamento térmico para eliminar os microrganismos patogênicos (principalmente *Salmonellas*), e deve ser armazenado sob refrigeração, em temperaturas não superiores a 3°C. Já os ovos desidratados

oferecem a vantagem de serem estocados à temperatura ambiente e incorporados diretamente à farinha (GUERREIRO, 2006).

O armazenamento de produtos secos, desidratados e concentrados deve ser feito em recipientes que impeçam a permeação de vapor d'água do ambiente, mesmo que as condições ambientais sejam de diminuição de umidade relativa (BARUFFALDI, 1998).

O armazenamento tem papel fundamental na conservação dos ovos, pois é durante este período que ocorrem trocas de origem física, química e microbiana, portanto, o tempo e a temperatura devem estar ligados a outros fatores para garantir, assim, uma boa preservação.

A clara em pó é estável durante o armazenamento, já o ovo inteiro pode perder por falta de glicose, tanto em sabor como em solubilidade, assim como em suas qualidades de cocção. Os sólidos de ovos inteiros são mais bem conservados se o seu conteúdo de umidade inicial for baixo e se o produto for conservado em recipiente fechado (AQUINO, 2007).

Para conservação da qualidade do ovo inteiro é importante manter temperaturas baixas de armazenamento. Em temperaturas abaixo de 16°C o ovo desidratado conserva sua qualidade durante 13 meses, enquanto que em temperaturas acima de 21°C, suas qualidades resistem apenas seis meses, baixando para apenas um mês ou menos, quando a temperatura de armazenamento é de 30°C (GRISWOLD, 1972). Os ovos desidratados podem ser embalados em sacos plásticos, a vácuo ou em caixas.

3.3. Utilização de ovos na elaboração de produtos alimentícios

O ovo dispõe de uma considerável porção de nutrientes para a dieta humana, abrangendo todas as faixas etárias, particularmente durante o crescimento, e pode contribuir expressivamente para as necessidades diárias de nutrientes essenciais, fornecendo uma baixa quantidade de calorias (Tabela 1). O complexo de proteínas do ovo serve como fonte expressiva de 18 aminoácidos, conferindo-lhe assim um alto valor biológico (BENITES et al., 2005; USDA, 2012).

Tabela 1 - Nutrientes constituintes do ovo grande fresco e cru.

Nutrientes	2010	2012
Energia (Kcal)	72	143
Proteína (g)	6,3	12,56
Carboidrato (g)	0,4	0,72
Gordura total (g)	4,8	9,51
Monoinssaturada (g)	1,8	3,6
Polinssaturada (g)	1	1,9
Gordura saturada (g)	1,6	3,1
Gordura trans (g)	0	0
Colesterol (mg)	186	372
Colina (mg)	126	293
Riboflavina (B2) (mg)	0,2	0,45
Cianocobalina (B12) (mg)	0,5	0,89
Ácido fólico (B5) (mg)	24	0
Vit. D	41	82
Vit. A	270	540
Pirodoxina (B6) (mg)	0,1	0,17
Tiamina (B1) (mg)	0	0,04
Vit. E (mg)	0,5	1,05
Selênio (mg)	15,4	30,7
Fósforo (mg)	99	198
Ferro (mg)	0,9	1,75
Zinco (mg)	0,7	1,29
Cálcio (mg)	28	56
Sódio (mg)	71	142
Potássio (mg)	69	138
Magnésio (mg)	6	12

Legenda: Kcal=quilocaloria; g=grama; mg=miligramma; UI=unidade internacional.

Fonte: Adaptado USDA (2010; 2012)

A proteína do ovo é considerada padrão quando comparada às outras fontes proteicas apresentando 93,7% em valor biológico, a mais significativa entre as fontes

de proteína disponíveis na natureza, sendo que em 100g de ovo cozido tem em média 13g de proteína. São proteínas completas, pois dispõem dos oito aminoácidos essenciais da dieta humana: lisina, metionina, triptofano, valina, histidina, fenilalanina, leucina, isoleucina e treonina. Sendo que esses aminoácidos estão distribuídos em todos os componentes do ovo, e sua maioria, encontrados na clara e em menor proporção na gema (KOVACSNOLAN, 2005; USDA, 2012).

A quantidade de ovos que deve ser adicionada aos produtos é variável de um país para outro, de acordo com a legislação vigente. No Brasil, para a expressão com ovos, o produto deve ter no mínimo 450 mg de colesterol por quilo de massa, expresso em base seca, o que corresponde em média, a 3 ovos inteiros ou 135 gramas de ovos por quilograma de farinha.

Os ovos inteiros devem ser armazenados em ambiente fresco, de preferência temperatura de 10°C e umidade relativa entre 60 e 80%. Quando for utilizado o ovo inteiro in natura, devem-se tomar cuidados como fazer inspeção e seleção para eliminar os ovos deteriorados ou com rachaduras na casca; fazer desinfecção com solução clorada, de preferência com um residual de cloro livre de no mínimo 100 mg/ml e tempo de contato de pelo menos 30 segundos; fazer a secagem da casca; na quebra manual, tomar cuidado para evitar a contaminação do produto com pedaços da casca (GUERREIRO, 2006).

3.4. Ovoprodutos

Ovoprodutos são os ovos que se tenha removido a casca para algum processamento. Essencialmente os ovoprodutos compreendem o ovo inteiro, claras, gemas e várias combinações destes que são processados, ou seja, refrigerados, pasteurizados e/ou que foram submetidos à secagem e acondicionados em embalagens. Assim, eles podem ser apresentados na forma líquida, congelada ou desidratada (USDA, 2005). Segundo Pelaez et al., (2003) os ovoprodutos podem ser classificados de acordo com seus componentes, com sua forma física e o tratamento, de acordo com seu emprego ou de acordo com a sua vida de prateleira.

A industrialização do ovo ainda é pequena no País, pois cerca de 5% da produção total passa por algum processo de transformação, sendo predominantemente no estado de São Paulo. O potencial dessa indústria pode ser

avaliado pelo fato de que em outros países, como o Japão, a parcela industrializada chega a 50% do ovo consumido, e esta é utilizada basicamente na indústria alimentícia. Assim a indústria poderá vir a ter um importante papel como estabilizadora de preços do produto *in natura*, ao absorver os excessos ocasionais de oferta (MARTINS, 2002).

3.4.1 Classes de ovoprodutos

De acordo com seus componentes, o ovoproduto é classificado em líquidos ou primários, como ovo inteiro, gema, clara e misturas diversas de ambas; secos concentrados (20-25% de umidade) ou desidratados (3-5% de umidade) e compostos que incorporam outros ingredientes distintos (AQUINO, 2007).

De acordo com sua forma física e tratamento, podemos classificar em líquidos frescos/refrigerados, pasteurizados ou não pasteurizados; líquidos concentrados, pasteurizados ou não pasteurizados; congelados (normalmente ultracongelados) e dessecados ou desidratados, seja por calor ou por liofilização (AQUINO, 2007).

Os produtos desidratados de ovos atingiram um nível de qualidade que permite o emprego, com vantagens, em quase todas as formulações em que estes eram tradicionalmente usados na forma líquida (DIVAIR, 2006).

Dentre estas vantagens pode-se citar a redução da atividade de água, o que dificulta o desenvolvimento de microrganismos e reações bioquímicas secundárias indesejáveis; redução do volume e massa originais; facilidade de manuseio, estocagem e transporte com a consequente redução de perdas; manutenção de melhor qualidade durante a estocagem (DIVAIR, 2006).

3.4.2 Uso dos ovoprodutos

Os ovos são empregados em vários produtos alimentícios, pois quando batidos sob intensa agitação formam uma película que ajuda a incorporação de ar em formulações alimentícias, fornecendo características desejáveis de textura e aparência. O ovo é o único alimento que apresenta características polifuncionais, tais como poder de coagulação, capacidade de formação de espuma, propriedades de geleificação e emulsificação (MINE, 1995). Do ponto de vista industrial, o ovo é

bastante utilizado tanto na forma integral, como na forma de clara ou gema dependendo do tipo de aplicação e das características finais desejáveis.

O uso de ovoprodutos é diverso, podem ser classificados em função de diversos critérios de uso e estão listados na tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 - Possibilidade de utilização dos ovoprodutos

TIPO DE OVO (PRODUTO)	INTEIRO	GEMA	CLARA
Confeitaria	X	X	
Pastelaria	X	X	
Padaria	X	X	
Produtos lácteos	X	X	X
Sorvetes	X	X	X
Bebidas	X	X	X
Alimentos infantis	X	X	X
Crems e sopas	X	X	X
Maioneses e molhos	X	X	X
Massas alimentícias	X	X	
Pratos preparados	X	X	
Charcutaria	X	X	
Produtos cosméticos			X
Colas	X	X	X
Curtidos		X	X
Indústria farmacêutica			X

Fonte: PELAEZ et al. (2003)

3.5 Formação de Espuma

A espuma de claras desempenham um importante papel em inumeros produtos alimentares pois os torna leves em textura e contribui para seu crescimento. A clara batida é um colóide constituído de bolhas de ar, cercadas de albumina, que passou por uma desnaturação da superfície líquido-ar. Essa desnaturação, que é devida à desidratação e ao estiramento da albumina durante o

batimento, torna parte dessa proteína insolúvel, endurecendo e estabilizando a espuma. Durante a desnaturação, as moléculas de proteína se desdobram e suas cadeias polipeptídicas se distendem com seus eixos longos, paralelos à superfície. O batimento em excesso incorpora muito ar, distendendo a proteína de modo a torná-la fina e menos elástica. A elasticidade é necessária, especialmente nas espumas que vão ser assadas, de modo que, antes da proteína ser coagulada pelo calor do forno, o ar incorporado possa expandir-se sem romper as paredes celulares (GRISWOLD, 1972; FENNEMA, 1993).

Ao incorporar o ar, dentro da clara de ovo se forma uma espuma estabilizada pelas proteínas de globulina, que incluem cerca de 10% das proteínas da clara de ovo, e a ovomucina. Essas proteínas têm a capacidade de desenvolver-se e formar um filme em volta das bolhas de ar à medida que são empurradas para dentro da clara de ovo. Este filme é como o emulsionador que envolve uma gotícula de gordura na água, fixando as gotículas e impedindo-as de se separarem da mistura. Quando o produto é cozido, a proteína é completamente desnaturada e conserva uma estrutura de espuma. Qualquer traço de gordura, mesmo gordura da gema do ovo, interferirá com o desenvolvimento do filme em volta das bolhas de ar. Neste caso, será impossível para as proteínas do ovo estabilizar a espuma produzida ao bater (PROUDLOVE, 1996).

A clara de ovo é sensível ao batimento excessivo. Um batimento da clara de ovo ou de ovoalbumina que ultrapasse a faixa de 6 a 8 minutos provoca uma agregação-coagulação parcial das proteínas na interfase ar/água. Estas proteínas não-solubilizadas não são adsorvidas corretamente na interfase e não formam uma película coerente interfacial. Tratamentos térmicos moderados aplicados antes da formação da espuma melhoram as propriedades espumantes de numerosas proteínas entre as que se encontram nas claras de ovos; entretanto, os tratamentos severos de secagem alteram sensivelmente as propriedades esponjantes devido à diminuição de solubilidade que provocam (LINDEN E LORIENT, 1996).

Segundo Miquelim (2010) as espumas são difíceis de estudar, pois são sistemas dinâmicos. As fases gasosa e líquida são propostas como uma fase líquida contínua que permanece nos contornos da fase gasosa dispersa de cada bolha. Cada bolha dentro da espuma assume uma forma diversa, conferindo mínima tensão à área de interface.

A clara de ovo em pó provém de um sistema complexo contendo mais de 40 tipos de proteínas, entre elas a ovoalbumina e globulinas, envolvidas na capacidade de formação de espuma, com diferentes características de carga interagindo eletrostaticamente, reduzindo interações repulsivas no filme protéico e estabilizando a espuma (MLEKO et al., 2006).

A determinação da densidade pode ser de grande utilidade em diversos processos industriais, onde esta variável é utilizada na padronização e no controle do processo e da qualidade do produto processado (RAPHAEL; ROHANI, 1996).

3.6 Secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*)

Secagem é a retirada de água de um alimento pelo calor, produzida artificialmente em condições de temperatura, umidade e corrente de ar cuidadosamente controlado (GAVA, SILVA e FRIAS, 2008).

O ar é o meio de secagem mais utilizado por sua abundância, conveniência e por que o seu controle no aquecimento do alimento não apresenta maiores problemas. Não é necessário nenhum sistema de recuperação da umidade como nos outros gases (GAVA, SILVA e FRIAS, 2008).

Na secagem adiabática é utilizada a condução de calor por meio de ar quente. Como exemplo tem-se o secador de cabine, secador de túnel, atomizador (spray-dryer), leite fluidizado, fornos secadores, puff-dryer e secador de colchão de espuma (foam-mat dryer) (GAVA, 1984).

O método de secagem geralmente utilizado é realizado em secadores com circulação forçada de ar quente, podendo ser na forma de silos ou túneis. O material a ser desidratado deve ser previamente preparado com geometria e tamanho convenientes, sendo usualmente acondicionado em bandejas, para facilitar a passagem de ar. O fluxo de ar pode ser contra corrente, em paralelo, em transversal, ou a combinações dos dois primeiros fluxos (duplo estágio), ou mesmo dos três fluxos (múltiplo estágio) (SANTOS, 1998).

A secagem inibe o crescimento microbiano e a atividade enzimática, mas a temperatura de processamento costuma ser insuficiente para provocar sua inativação. Portanto, qualquer aumento no teor de umidade durante a estocagem, devido, por exemplo, a uma embalagem defeituosa, resultará em uma rápida

deterioração. A redução no peso e no volume do alimento diminui os custos de transporte e armazenamento. Para alguns tipos de alimento, a secagem oferece um produto conveniente para o consumidor ou ingredientes mais facilmente manuseados para processadores de alimentos (FELLOWS, 2006).

A secagem é uma maneira bem sucedida de conservação dos ovos, considerando algumas vantagens como: ocupar menos espaço no estoque, facilidade de transporte, boa uniformidade, utilização mais fácil (produto pronto para o uso) e ter qualidade microbiológica estável (BERGQUIST, 1994; FELLOWS, 1994).

A combinação de pasteurização com algum outro tratamento térmico do líquido antes da secagem assegura um produto final com uma baixíssima população de microrganismos. Esta combinação é recomendada principalmente em relação à destruição de *Salmonella*, como forma de prevenção, já que se utilizarão métodos de conservação combinados (STADELMAN, COTERRIL, 1995).

Conforme a portaria n. 01 de 21 de fevereiro de 1990 do Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 1990), a pasteurização ou secagem deverá começar o mais rápido possível após a quebra dos ovos, para impedir a degradação do produto, indicando-se no período máximo de 72 horas a partir da quebra dos ovos, desde que mantidos sob refrigeração (2 a 5°C). De acordo com a mesma portaria, os ovos devem ser pasteurizados em pasteurizadores de placas e obedecer aos requisitos de tempo e temperatura específicos para cada parte do ovo. A clara do ovo deve ser pasteurizada a 56,7°C por 3,5 minutos, a gema por 3,5 minutos em temperatura de 61°C e o ovo integral a 60°C também por 3,5 minutos.

Devido à possibilidade da presença de *Salmonella* no ovo desidratado que não tenha passado pela pasteurização, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos recomenda que este tipo de produto seja empregado somente em produtos que dependam de completa cocção (GRISWOLD, 1972).

O método mais utilizado para produzir ovo em pó é o processo denominado spray-dryer ou secagem por atomização, onde o produto é atomizado por uma corrente de ar quente e, com uma evaporação muito rápida (BERGQUIST, 1994).

Segundo Domingues et al., (2002), quando conduzida de forma correta, a secagem por atomização gera um produto com um valor nutritivo satisfatório, é estável do ponto de vista microbiológico e também versátil em sua utilização por ocupar menos espaço no estoque, ter facilidade de transporte e apresentar boa

uniformidade. Portanto, este processo constitui-se uma maneira bem sucedida de preservação dos ovos.

Para pequenas agroindústrias, a secagem é uma técnica que permite aproveitar toda a produção, permitindo a comercialização de produtos na entressafra ou épocas de menor produção, facilita também o armazenamento de excedentes e aproveita toda a mão de obra familiar. Para tal, a secagem de alimentos com circulação forçada de ar sob condições controladas oferece inúmeras vantagens como: concentração do sabor dos alimentos; facilidade de transporte, manipulação e preparo, além de aumentar a vida útil.

O método de secagem em leito de espuma (foam-mat drying) foi desenvolvido na década de 1950 por Morgan e sua equipe na Califórnia (MORGAN et al., 1959) e patenteada em 1961. Esta técnica é aplicada à secagem de alimentos líquidos ou semilíquidos, os quais são transformados em uma espuma estável pela incorporação de ar em sua estrutura e adição de agente emulsificante/estabilizante (RAJKUMAR et al., 2007; THUWAPANICHAYANAN et al., 2008).

Na secagem em camada de espuma o material líquido ou semilíquido é transformado em uma espuma estável utilizando o processo de batidura e incorporação de ar ou outro gás, sendo esta submetida à secagem com ar aquecido, até uma baixa atividade de água que impeça o crescimento de microrganismos, reações químicas e/ou enzimáticas. Dentre as vantagens deste método, destacam-se as menores temperaturas no processo e o menor tempo de secagem devido à maior área superficial exposta ao ar, o que aumenta a velocidade de remoção de água, além do baixo custo se comparado às técnicas usuais. Com isso, obtém-se um produto final poroso e de fácil reidratação (KARIM; CHEEWAI, 1999).

De modo geral, a capacidade de expansão e a estabilidade da espuma desempenham um papel importante na circulação de água durante a secagem e, por consequência, na qualidade do produto final (BAG; SRIVASTAV; MISHRA, 2011).

As espumas que não colapsarem durante pelo menos 1 hora a temperatura ambiente são considerada mecanicamente ou termicamente estáveis para o processo inteiro de secagem. Termicamente, espumas estáveis conservam a sua estrutura porosa, o que ajuda na melhoria das propriedades de reconstituição do produto seco (BAG; SRIVASTAV; MISHA, 2011).

A secagem em camada de espuma consiste basicamente de três etapas: modificação na consistência líquida do suco ou polpa em uma espuma estável, pela adição de agentes espumantes, secagem do material em camada fina e pulverização do material desidratado (TRAVAGLINI et al., 2001). Durante o processo de secagem em camada de espuma, a estrutura, a capacidade de expansão e a estabilidade da espuma desempenham um papel importante na movimentação de água durante a secagem e, conseqüentemente, na qualidade do produto final (BAG et al., 2011). Para espumas naturais, tais como clara de ovo e suco de abacaxi, não há necessidade de adicionar quaisquer agentes de formação de espuma.

As espumas utilizadas neste método de secagem devem ser capazes de suportar diversas operações mecânicas, incluindo bombeamento, espalhamento, assim como a própria secagem.

Diversos estudos têm sido conduzidos a fim de caracterizar os produtos obtidos e determinar as melhores condições de operação. A secagem em camada de espuma tem a vantagem de manter alta qualidade dos produtos, oferecendo grandes possibilidades comerciais, sendo já aplicados em café, sucos de laranja, uva, carambola, abacaxi e outros produtos instantâneos (SANKAT, CASTAIGNE, 2004).

3.7 Modelos matemáticos para a secagem

Diferentes teorias tentam explicar a cinética de secagem de materiais porosos. O principal objetivo é descrever como a umidade é transferida do interior do sólido para evaporar na sua superfície e qual mecanismo de transferência controla o processo de secagem. Os modelos matemáticos tradicionalmente utilizados para representar a cinética de secagem são dois: os modelos puramente convectivos e os modelos difusivos. A formulação desses modelos, desenvolvida a partir da análise do comportamento de secagem de uma única partícula, geralmente considera todos os parâmetros de transporte constantes, possibilitando uma descrição similar da taxa de secagem (MAYTA et al., 1996).

Na Tabela 3 são listados alguns modelos matemáticos empregados para representar as curvas de secagem, ajustados por regressão não-linear mediante um programa computacional.

Tabela 3 - Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem

Modelo	Representação matemática
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$
Midilli e Kucuk	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$
Page	$RX = \exp(-kt^n)$

em que:

RX – razão do teor de água do produto (adimensional);

t – tempo de secagem (h);

k – coeficientes de secagem,

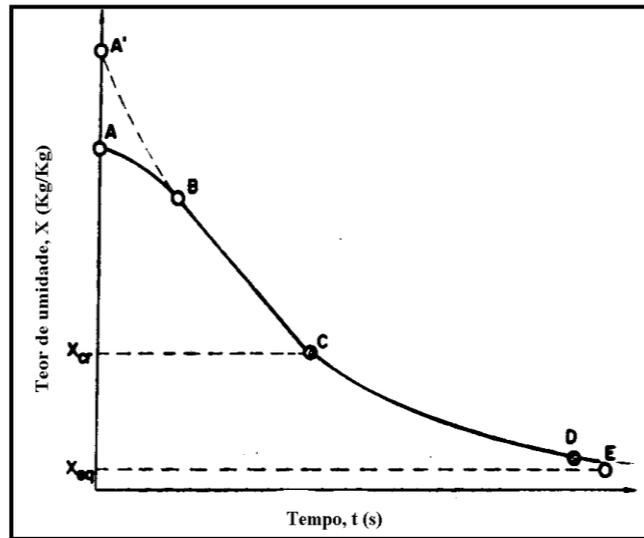
a, b, n – constantes dos modelos.

3.7.1 Curva de secagem

Na Figura 2 é apresentada uma curva típica de secagem convectiva. No período inicial da secagem, a mudança do teor de umidade do sólido com o tempo é ilustrado pelo segmento AB. Decorrido certo tempo a relação $X = f(t)$ assume uma forma linear. Neste período, segmento BC, a taxa de secagem que corresponde à inclinação da reta, permanece constante. A diminuição linear do teor de umidade com o tempo ocorre continuamente até atingir o ponto C, chamado ponto crítico. A partir do ponto C, segmento CD, ocorre o aparecimento de uma curva que aproxima-se assintoticamente do teor de umidade de equilíbrio do material X_{eq} (STRUMILLO e KUDRA, 1986).

O período de secagem correspondente ao segmento BC da Figura 2 é chamado período de secagem à taxa constante. Após o ponto crítico, ponto C, inicia-se o segundo período de secagem denominado período de secagem à taxa decrescente.

Figura 2 - Curva de secagem convectiva típica

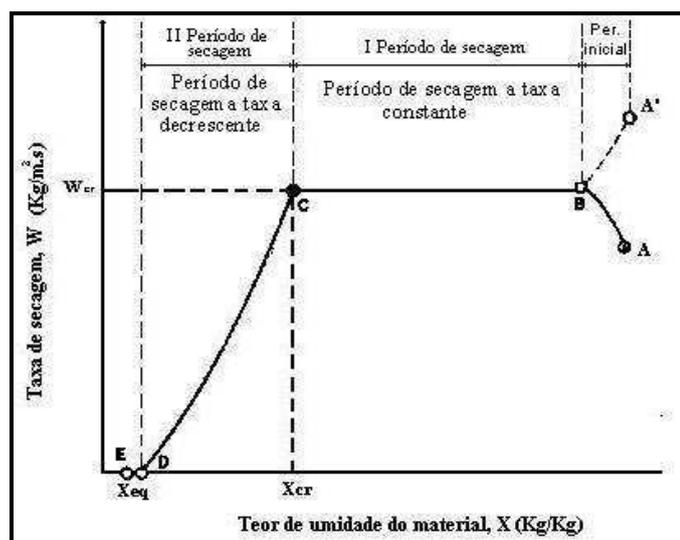


Fonte: STRUMILLO e KUDRA (1986).

3.7.1.1 Curva da taxa de secagem

Na prática, o diagrama da taxa de secagem, curva $W = f(X)$ representada pela Figura 3, é muito útil.

Figura 3- Curva de taxa de secagem



Fonte: STRUMILLO e KUDRA (1986).

A taxa de secagem é definida como sendo a quantidade de umidade removida a partir do material na unidade de tempo por unidade de superfície de secagem. A Figura 3 pode ser separada nos dois períodos característicos da secagem. A explicação da curva de secagem dessa forma está intimamente ligada aos fenômenos de transferência de calor e massa (STRUMILLO e KUDRA, 1986).

- Período inicial da secagem (AB): no período inicial da secagem, o sólido e sua superfície estão cobertos por uma camada líquida que tem uma temperatura menor que a temperatura de equilíbrio; como resultado, a taxa de secagem no intervalo entre os pontos A e B aumentará até a temperatura da superfície atingir o valor correspondente à linha BC. O período inicial da secagem é representado pelo segmento A'B, quando o secador é alimentado com material úmido que apresenta $T > T_g$ (Figura 3). Normalmente, o período de secagem inicial é curto e na prática pode ser desprezado.
- Período de secagem à taxa constante (BC): considerando a resistência à transferência de massa, os fatores limitantes da taxa de secagem são as condições externas e a camada limite gasosa. A taxa de evaporação pode ser expressa por um coeficiente de transferência de massa e um gradiente de umidade.

$$W = K(Y_g - Y) \quad (1)$$

onde Y_g e Y são as umidades do gás na superfície da camada líquida e a média na corrente gasosa, respectivamente.

- Período de secagem à taxa decrescente (CD), quando $X < X_{cr}$ a quantidade de umidade que chega à superfície do material decresce gradualmente. Como resultado, a pressão de vapor na superfície do material também decresce e de acordo com a Equação 3, a taxa de secagem também decresce. Tem-se então o período de secagem à taxa decrescente (curva CD da Figura 3). Neste período a taxa de secagem é controlada pelo transporte de umidade (condições internas) que depende do gradiente de concentração de umidade no interior do material.

O comportamento das curvas do período de secagem à taxa decrescente depende da constituição do material, enquanto que, a forma das curvas de secagem no primeiro e segundo períodos de taxa de secagem, bem como as relações entre os dois períodos, dependem das condições de transferência de massa na camada limite.

3.8 Ovoprodutos desidratados

Durante muito tempo o processo de secagem de ovos foi realizado sem os conhecimentos dos conceitos teóricos básicos desta operação. Nos Estados Unidos, a idéia de secagem de ovos surgiu por volta de 1800. Contudo, o sucesso comercial da operação de secagem do ovo só foi averiguado na China, em 1900, quando alguns engenheiros alemães introduziram este processo naquele país.

As secagens industriais do albúmen, gema e ovo integral líquido já eram efetuadas desde a última década do século XIX, mas com capacidade muito limitada. No início do século XX, indústrias de vários países se instalaram na China plantada para a secagem destes produtos. A secagem do albúmen era feita em tachos (pan-drying), e a gema e ovo integral líquido em secadores de esteira (belt-drying) (LABUZA, 1976).

Durante muitos anos, a secagem do albúmen continuou a ser feita em tachos, mas por volta de 1940, a demanda por um produto de melhor qualidade, principalmente pelas fábricas de bolos, introduziu a secagem por atomização (spray-drying), sendo o processo mais utilizado pelas indústrias até os dias de hoje. No Brasil, a obtenção destes produtos desidratados apresenta um grande potencial de crescimento, pois nosso país possui um dos menores consumos per capita de ovos no mundo (GUEDES, 2005).

Diversas dificuldades, envolvendo estabilidade, propriedades físico-químicas, microbiológica e aspectos de qualidade em geral, confrontaram a indústria da secagem de ovos, durante todo o período de seu desenvolvimento. No entanto, graças à intensa pesquisa desenvolvida no sentido de solucionar estes problemas, os produtos de ovo seco são comumente aceitos pelas populações em todo o mundo (CORRÊA et al., 2002).

Após a secagem algumas das propriedades funcionais são mantidas tais como a de emulsificante, espessante e flavor (se inibida a reação de escurecimento). Quanto às propriedades físicas, como a viscosidade, podem modificar-se principalmente na gema e no ovo integral em pó, a não ser que ocorra um tratamento prévio para a retirada da glicose existente, sendo que o aumento da viscosidade é acompanhado da diminuição da solubilidade das proteínas. A densidade dos ovoprodutos não é afetada pela secagem, desde que o ovoproduto

desidratado seja reconstituído de acordo com a quantidade de sólidos totais presentes no ovo *in natura* (STADELMAN, COTERRIL, 1995).

Nas propriedades químicas dos ovoprodutos desidratados, pode ocorrer exposição do grupo sulfidrila (mais reativo) de algumas proteínas e com isto modificações nas propriedades, sobretudo no albúmen. Os ácidos graxos que antes da secagem estavam emulsificados na gema, após o processo tornam-se ácidos graxos livres, os quais se espalham formando uma camada de partículas secas, reduzindo a propriedade espumante do ovo reconstituído.

O aumento da temperatura de secagem apresenta efeito adverso nas propriedades de geleificação do albúmen, pois a temperaturas superiores a 95 °C a clara não forma gel devido à desnaturação severa das proteínas (LEE, CHEN, 1999). Sendo assim, a temperatura deve ser cuidadosamente controlada no processamento do ovo, de maneira a não haver perdas na qualidade do produto.

3.8.1 Escurecimento em ovoprodutos

Naturalmente há presença de glicose em ovos, o que pode ocasionar reações de escurecimento durante o processo de secagem, assim como durante o armazenamento do produto. Estas reações, além de provocar mudanças na cor, também diminuem a solubilidade do produto (STADELMAN, COTERRIL, 1995).

No ovo desidratado várias das propriedades funcionais são mantidas tais como a de emulsificante, espessante e flavor (se inibida a reação de escurecimento). Já as propriedades físicas, como a viscosidade, podem modificar-se principalmente na gema e no ovo integral em pó caso não ocorra um tratamento prévio para a retirada da glicose existente. É importante observar que o aumento da viscosidade é acompanhado da diminuição da solubilidade das proteínas. A densidade dos ovoprodutos não é afetada pela secagem, desde que o ovoproduto desidratado seja reconstituído de acordo com a quantidade de sólidos total presentes no ovo *in natura* (STADELMAN, COTERRIL, 1995).

Resumidamente a reação de "Maillard" ocorre entre 1 grupamento carbonila do açúcar ou da gordura e o grupamento NH₂ do aminoácido, em meio preferencialmente alcalino, na presença de água e calor. Há complexação do açúcar com o aminoácido, formando uma base, o que acelera a reação. Há formação

imediate de composto mais estável, cíclico que é a glicosamina N substituída. Esta recebe prótons e os doa. Devido a isomerização recebe o nome de rearranjo de Amadori levando a 1 amino, 1 deoxi, 2 cetose, N substituída. Na 3ª fase há desprendimento de CO₂ (aroma) e formação de redutonas e de hidroximetilfurfural.

Ao final, há formação de substâncias heterocíclicas, pirróis, imidazóis, piridinas e pirasinas. Podem ocorrer condensações aldólicas e polimerização de aminoaldeídos. Os intermediários se polimerizam formando polímeros insaturados coloridos.

As alterações provocadas pela secagem são pouco evidentes quando o produto é estocado por pouco tempo. Após algumas semanas, entretanto, as alterações são consideráveis tanto na gema como na clara, cujas propriedades estruturais ficam alteradas (BOBBIO; BOBBIO, 1992).

Existem alguns métodos de evitar o escurecimento, como a adição de sacarose em pó à gema, antes da atomização, retarda a aparição da reação de Maillard no produto desidratado e diminui a perda de capacidade espumante ocasionada pela secagem. A estabilidade do aroma também melhora gradualmente quando o conteúdo de sacarose adicionada é de 5%. Em níveis elevados de adição de açúcar (10 a 15%), a velocidade de auto-oxidação dos lipídios aumenta e um odor desagradável se desenvolve gradualmente (FENNEMA, 1993). No caso da clara de ovo, esta é primeiramente fermentada para remover o açúcar natural e fragmentar a clara espessa e, em seguida, desidratada.

Segundo as pesquisas de Liden e Lorient (1996) e deMuller e Tobin (1996), para evitar esta reação, deve-se eliminar do ovo os açúcares redutores, pois as alterações dos ovoprodutos desidratados se devem a reações glicose-proteína e glicose-cefalinas, que se evitam eliminando a glicose do ovo. Esta eliminação pode ocorrer de três formas: por fermentação microbiana espontânea utilizando principalmente *Uterobacter* e *Citrobacter*; mediante fermentação controlada com espécies de *Streptococcus* ou *Lactobacillus*, assim como leveduras *Saccharomyces apiculatus* e *Saccharomyces cerevisiae*, e por introdução das enzimas glicose oxidase/catalase. Geralmente, o poder espumante é melhorado nas claras de ovos cujo açúcar é eliminado.

3.8.2 Reidratação e reconstituição do ovo em pó

A reidratação de produtos em pó não consiste simplesmente no processo contrário à secagem, é importante considerar o fato que a secagem pode provocar alterações irreversíveis como mudanças na textura, migração de solutos, perda de substâncias voláteis, etc. A velocidade e a intensidade da reidratação servem como medida de qualidade do produto (FELLOWS, 1994).

O ovo integral desidratado pode ser reconstituído, acrescentando-se 12g de pó e 39 ml de água, o que será equivalente a um ovo integral líquido. Uma gema líquida pode ser reconstituída tomando-se 8g de gema desidratada e 10 ml de água. Pode-se adicionar 29 ml de água e 4g de clara em pó para reconstituir o equivalente a uma clara líquida (SOHOVOS, 2007).

3.9 Estado da arte

Têm-se conhecimento que a secagem em camada de espuma vem sendo empregada em diversos materiais, principalmente polpas de fruta. No entanto, não se tem registros na literatura acerca de trabalhos com secagem em camada de espuma para a clara do ovo, fazendo deste um trabalho inédito.

Christ (2006) avaliou o processo de secagem da clara de ovo utilizando um secador de leite de jorro fluidizado bidimensional com esferas de vidro como inertes. As variáveis de processo estudadas foram: temperatura (55, 65, 75, 85 e 95 °C), vazão total do ar de secagem (97,1, 107,4, 117,7, 128,0 e 138,3 m³/h), razão entre vazão de ar de jorro e ânulo (0,6, 0,8, 1,0, 1,2 e 1,4) e vazão de alimentação de pasta (2,0, 4,0, 6,0, 8,0 e 10,0 g/min). Nesse estudo o autor pode verificar que todas as condições de processo estudadas influenciaram nas características do produto obtido, porém a temperatura e a vazão de ar foram as mais importantes na definição da qualidade da clara de ovo seca em leite de jorro fluidizado.

Em seus experimentos, Thawapanichayanet al. (2008) estudaram os efeitos do tempo de agitação e da concentração do agente espumante (albumina de ovo) na formação de espuma para a produção de banana. Foram acrescentados ao purê de banana albumina de ovo, nas concentrações de 2, 5 e 10% (base úmida) e misturada na velocidade máxima em agitador doméstico, até se obter espumas com

densidades de 0,3, 0,5, e 0,7 g/cm³. Diante disto, foi constatado durante o processo de agitação, que o ar foi incorporado ao purê e retido no líquido, como bolha, o que leva ao decréscimo da densidade da espuma quando o tempo de agitação aumenta, após 20 minutos a densidade começa a aumentar pois ocorre ruptura das bolhas de ar em virtude do processo mecânico prolongado.

Raharitsifa et al., (2006) aplicaram ao suco clarificado de maçã a secagem com a adição de várias concentrações de dois tipos de emulsificante, uma proteína (albumina de ovo em pó – 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0%) e um polissacarídeo (metilcelulose – 0,1, 0,2, 0,5, 1,0 e 2,0%), e ainda diferentes tempos de batimento (3, 5 e 7 minutos) aplicados a todas as amostras, utilizando para isto uma batedeira doméstica (3000 rpm). Foi verificado que a estabilidade das espumas aumentou com o aumento da concentração dos emulsificantes e no geral as espumas produzidas com a proteína do ovo foram menos estáveis, no entanto, apresentaram um maior grau de solidez (estruturas mais fortes) e menor diâmetro médio da bolha quando comparadas com as espumas produzidas com metilcelulose.

Rajkumar et al., (2007) analisaram a desidratação da polpa de manga Alphonso nas temperaturas de 60, 65, 70 e 75 °C, fazendo o uso de misturas dos aditivos albumina do ovo (5, 10 e 15%) com metilcelulose (0,5%) e três espessuras da camada de espuma (1, 2 e 3 mm) em esteira de Teflon. Foi constatado que a expansão máxima da espuma foi obtida com uma agitação de 20 minutos, mantendo-se estável com o prolongamento da agitação, sendo provavelmente provocado pela adição da metilcelulose. Ao término dos 20 minutos de agitação, a densidade da polpa caiu de 1,01 g/cm³ para 0,52 g/cm³, para a amostra com 10% de albumina, já na amostra com 15% de albumina, a densidade da espuma caiu para 0,51 g/cm³. Conforme a análise estatística, os autores observaram que a maior retenção dos componentes bioquímicos foi obtida na temperatura de secagem de 60 °C, com a formulação com 10% de albumina de ovo e 0,5% de metilcelulose, para uma camada de espuma de 1 mm. Ressalta-se ainda, que as alterações dos componentes bioquímicos após a secagem desta polpa formulada foram inferiores aos da polpa sem aditivos, com tempo de secagem de 35 e 75 minutos, respectivamente.

Ao testar a desidratação da polpa de pitanga pelo processo de secagem em camada de espuma, Alexandre (2005) desenvolveu uma formulação do produto a

ser desidratado utilizando emulsificante e estabilizante à base de monoglicerídeos destilados, monoesterato de sorbina e polisorbato 60, e de espessante à base de carboximetil-celulose e goma guar, onde a respectiva formulação foi homogeneizada em batedeira doméstica até formar uma espuma com densidade média de 0,5 g/cm³. A desidratação do material foi realizada em estufa com circulação de ar forçado, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com tempos de secagem de aproximadamente 8, 5 e 4 horas, respectivamente. Após a secagem a umidade da amostra em pó seca a 70 °C foi de 20,40%, e o teor de ácido ascórbico de 32,91 mg/100g.

Gurjão (2006) ao avaliar a desidratação em camada de espuma da polpa de tamarindo constatou que o extrato em pó da tamarindo é, em média, cinco vezes mais concentrado que a polpa, além disso, os melhores atributos de qualidade (vitamina C, cor e pH) foram obtidos com a secagem da polpa a 60 e 70 °C. Nesse dito estudo, utilizou-se como dispersante e promotor de espuma um composto protéico à base de albumina (Advanced Nutrition) na concentração de 5%. A densidade média da espuma se manteve entre 0,45 e 0,50 g/cm³. As amostras foram colocadas em placas de Petri com diâmetro igual a 10 cm e com uma altura da camada de espuma de aproximadamente 0,5 cm, sendo submetidas a desidratação em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. Os tempos de secagem da polpa de tamarindo formulada foram de aproximadamente 2,5, 3,0, 3,4, e 4,5 horas quando submetida às respectivas temperaturas citadas acima.

Dzazio et al., (2007) em seus estudos sobre a desidratação da batata yacon em estufa convencional com ventilação de ar e a utilização do método de secagem em camada de espuma, verificaram que o método de secagem em camada de espuma apresentou menor porcentagem de umidade e maior rendimento quando comparada com a desidratada pelo método convencional em estufa com ventilação de ar. O método de secagem em camada de espuma produziu produtos com características diferenciadas e com maior vida de prateleira. O produto oriundo da desidratação em estufa com ventilação de ar atingiu umidade de 11,47% contra 6,21% pelo método de secagem em camada de espuma, além disso, pelo método de secagem em camada de espuma o tempo de secagem pode ser reduzido com aumento da temperatura, tornando assim o processo mais rápido e prático.

Souza (2011) e Miquelim (2010) aplicaram aditivos buscando a melhoria da secagem e/ou estabilidade de espumas, o que facilitou o desenvolvimento de seus respectivos trabalhos, obtendo assim resultados satisfatórios, haja vista que o emprego de aditivos torna mais estáveis espumas de diferentes frutas, que caso não os tivessem, dificilmente iriam ser empregados o método “*foam-mat*”.

Barreto et al. (2011) testou os aditivos albumina, Emustab[®], Superliga[®] ou a mistura deles, na preparação de espumas, onde a junção albumina+ Superliga[®] foi a formulação que obteve êxito, produzindo um pó com características sensoriais e físico-químicas para ser utilizado como ingrediente na produção de derivados de pitanga roxa.

Soares (2009) estudou a aplicação de aditivos em araçá-boi, onde foram testados os aditivos: albumina, Emustab[®], Superliga[®] e maltodextrina, com a finalidade de melhorar as características das espumas, sendo a albumina a que apresentou os melhores resultados para a secagem.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Termodinâmica do Departamento de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (DEQ/CT/UFPB).

4.1 Matéria-prima

Foram utilizados ovos de granja e ovos de capoeira (caipira), adquiridos no comércio local da cidade de João Pessoa, todos da mesma empresa e lote, conduzidos ao Laboratório de Termodinâmica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (DEQ/CT/UFPB), onde foram sanitizados segundo o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (MAPA, 2005) que diz que os ovos destinados a industrialização devem ser previamente lavados, sendo que é recomendada a utilização de compostos de cloro em níveis inferiores a 50 ppm na água de lavagem.

Após a sanitização os ovos foram quebrados e retirados a clara posterior batimento com batedeira e obtenção da espuma para a realização dos experimentos.

4.2 Aparato experimental

Produção da espuma. Para a produção da espuma foi utilizada uma batedeira industrial.

Caracterização física da espuma. Para a caracterização física foram usadas vidrarias e estufa com circulação

Secagem. Para a secagem utilizou-se uma estufa com circulação de ar, uma balança semi-analítica para acompanhamento da perda de massa e estufa de esterilização para determinação da massa de sólidos secos.

Caracterização física, físico-química, microscópica e de cor do pó. Para a caracterização do pó foram utilizados equipamentos como conjunto de peneiras com agitador, destilador de microkjeldahl, microscópio, colorímetro, bem como vidrarias, instrumentos e acessórios disponíveis no laboratório.

4.3 Metodologia

4.3.1 Produção da espuma

As claras dos ovos de granja e de capoeira (caipira) foram batidas em bateadeira industrial para produção da espuma em três tempos de agitação distintos (2,0; 3,5 e 5,0 minutos).

4.3.2 Caracterização da espuma

4.3.2.1. Densidade e percentual de expansão

A densidade das amostras foi medida utilizando proveta de 50 mL previamente calibrada com água destilada, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Avaliação da densidade e expansão das espumas de clara de ovo



Com os valores das densidades foi possível obter o percentual de expansão das espumas a partir das Equações 2 e 3:

$$\rho_{\text{amostra}} = \frac{m_{\text{amostra}}}{V_{\text{proveta}}} \quad (2)$$

Sendo que:

ρ_{amostra} = densidade da amostra (g/cm^3);

m_{amostra} = massa da amostra (g);

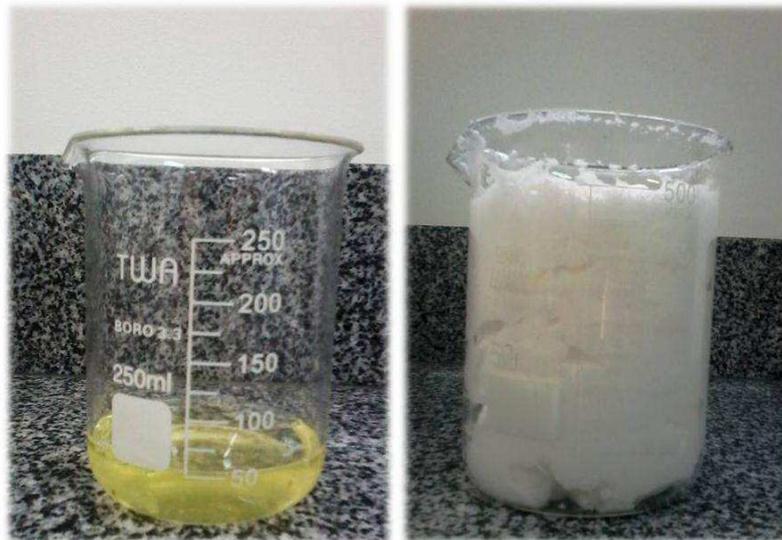
V_{proveta} = volume do picnômetro (cm^3).

$$Exp(\%) = \frac{1/\rho_{\text{espuma}} - 1/\rho_{\text{Claradoovo}}}{1/\rho_{\text{Claradoovo}}} \times 100 \quad (3)$$

4.3.2.2 Capacidade de incorporação de ar (*over run*)

A capacidade de incorporação de ar está diretamente ligada ao volume de ar introduzido em uma solução, podendo ser determinada pelo volume da espuma formada. Para a determinação do *over run* foi avaliado o volume da clara em um béquer antes e após a batidura como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Avaliação da capacidade de incorporação de ar (*over-run*)



Para o cálculo da porcentagem utilizou-se a equação a seguir:

$$\% \text{ de overrun da espuma} = \frac{V_{\text{espuma}} - V_{\text{Claradoovo}}}{V_{\text{Claradoovo}}} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

V_{espuma} = Volume da espuma após a batidura.

$V_{\text{Clara do ovo}}$ = Volume da clara do ovo antes da batidura.

4.3.2.3 Avaliação da estabilidade da espuma

A estabilidade da espuma foi avaliada segundo método citado Karin e Chuwai (1999), onde 15 a 20 g de espuma foram depositados em um funil com filtro de nylon em proveta graduada, mantida nas temperaturas extremas de secagem (50 e 70°C) em estufa com circulação de ar por 90 minutos. Mediu-se o volume drenado em intervalos regulares, a medida que a espuma é desfeita.

A metodologia baseia-se no princípio de que a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume do líquido drenado na proveta.

4.3.3 Secagem em camada de espuma

Para a secagem, a espuma obtida foi então disposta em bandejas de alumínio (Figura 6), com espessura da camada de espuma e temperaturas conhecidas e descritas na Tabela 4. Em intervalos de tempo regulares, as bandejas foram pesadas até peso constante. O material seco foi removido com o auxílio de espátulas, acondicionado em sacos polietileno e fechados para realização das análises.

Figura 6 - Espuma disposta na bandeja para posterior secagem



Nessa etapa estudou-se a cinética de secagem em camada de espuma da clara dos ovos de granja e de capoeira (caipira), verificando as influências do tempo de agitação para a produção da espuma, da temperatura de secagem e da espessura da camada de espuma sobre as respostas: tempo de secagem e umidade final do produto; proteínas e luminosidade do produto em pó.

A metodologia de planejamento experimental fatorial foi utilizada visando à proposição de modelos estatísticos capazes de prever adequadamente as características do pó obtido dos ovos.

Para os experimentos foram definidas para as claras dos ovos de granja e de capoeira (caipira), em experimentos preliminares, as variáveis de entrada para planejamento fatorial completo 2^3 e os mesmos são apresentados na Tabela 4. Na Tabela 5 é apresentada a matriz do planejamento fatorial completo.

Tabela 4 - Valores codificados e reais das variáveis independentes

Variáveis independentes	Níveis		
	-1	0	1
Espessura da camada de espuma E (cm)	0,4	0,7	1,0
Tempo de agitação- t_{ag} (min)	2,0	3,5	5,0
Temperatura de Secagem- T (°C)	50	60	70

Tabela 5 - Matriz do planejamento fatorial $2^3 + 4$ pontos centrais

N° do Experimento	Variáveis independentes		
	E (cm)	t_{ag} (min)	T (°C)
1	0,4 (-1)	2,0 (-1)	50 (-1)
2	1,0 (1)	2,0 (-1)	50 (-1)
3	0,4 (-1)	5,0 (1)	50 (-1)
4	1,0 (1)	5,0 (1)	50 (-1)
5	0,4 (-1)	2,0 (-1)	70 (1)
6	1,0 (1)	2,0 (-1)	70 (1)
7	0,4 (-1)	5,0 (1)	70 (1)
8	1,0 (1)	5,0 (1)	70 (1)
9	0,7 (0)	3,5(0)	60 (0)
10	0,7 (0)	3,5(0)	60 (0)
11	0,7 (0)	3,5(0)	60 (0)
12	0,7 (0)	3,5(0)	60 (0)

Os experimentos da Tabela 5 foram feitos de maneira aleatória para evitar que os mesmos sejam tendenciosos.

4.3.3.1 Análise estatística

Para a análise estatística foi utilizado o programa Statistica versão 5.0, de maneira a calcular os efeitos principais e de interações das variáveis sobre as respostas, para a comparação das médias aritméticas, empregaram-se a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey a 1%, determinando assim quais os efeitos significativos ($p < 0,01$).

4.3.4 Ajustes dos dados experimentais da secagem de clara de ovo com modelos matemáticos

Para o ajuste das curvas de secagem obtidas foram empregados os modelos matemáticos de secagem descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem

Modelo	Representação matemática
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$
Midilli e Kucuk	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$
Page	$RX = \exp(-kt^n)$
Linear*	$RX = a + bt$

* tempo < 130 min

onde:

RX – razão do teor de água do produto (adimensional);

t – tempo de secagem (h);

k – coeficientes de secagem,

a, b, n – constantes dos modelos.

Para o ajuste dos modelos foram realizadas análises de regressão linear e não linear no programa Statistica (versão 5.0). Onde o grau de ajuste de cada modelo

considera a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio estimado (SE).

4.3.5 Caracterização do pó obtido

Foi realizada a caracterização física, físico-química, microscópica e de cor do pó obtido após a secagem em camada de espuma das claras dos ovos de granja e dos ovos de capoeira. As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com as metodologias descritas por BRASIL (2005).

4.3.5.1 Granulometria

O peneiramento é o método clássico de se obter uma análise granulométrica. As peneiras (padronizadas) são agrupadas em ordem decrescente de mesh, de baixo para cima, ou em ordem crescente de diâmetro de peneira

Segundo o Tyler (International Standard Organization), os sólidos grosseiros encontram-se abaixo de 4 mesh ($> 4700\mu\text{m}$); os finos entre 4 mesh a 48 mesh ($300-4700\mu\text{m}$) e os ultra-finos entre 48 a 400 mesh ($38-300\mu\text{m}$).

Para a determinação da granulometria, utilizou-se o método 965-22 da AOAC (2000), onde foram peneiradas 10 g das claras em pó, durante 15 minutos, em um conjunto de cinco peneiras arredondadas, vibratórias e com abertura nas malhas de $710\text{ mm}/\mu\text{m}$ (ABNT n° 25), $355\text{ mm}/\mu\text{m}$ (ABNT n° 45), $180\text{ mm}/\mu\text{m}$ (ABNT n° 80), $150\text{ mm}/\mu\text{m}$ (ABNT n° 100), e $75\text{ mm}/\mu\text{m}$ (ABNT n° 200), conforme pode ser observado na Figura 7. Em seguida as frações das claras em pó retidas nas peneiras foram pesadas, e os resultados obtidos, expressos em porcentagem.

Figura 7 - Sistema de peneira e retenção dos pós.



4.3.5.2 Determinação da proteína

O teor de proteínas foi determinado através do método de Mirco-Kjedahl utilizando-se o fator de correção 6,25, onde a amostra passa por três etapas: digestão, destilação e titulação (AOAC, 2002).

4.3.5.3 Análise objetiva de cor

A avaliação da cor objetiva foi determinada por colorimetria, utilizando um calorímetro para a avaliação da luminosidade após 2 meses de armazenamento em embalagem exposta a luz e protegida, visando verificar a influencia da exposição na cor do produto, como mostrada na Figura 8.

Figura 8 - Acondicionamentos das claras em pó



4.3.5.4 Análisemicroscópica do pó obtido

Os pós foram avaliados pela técnica de microscopia óptica com aumento de 40 e 100 vezes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

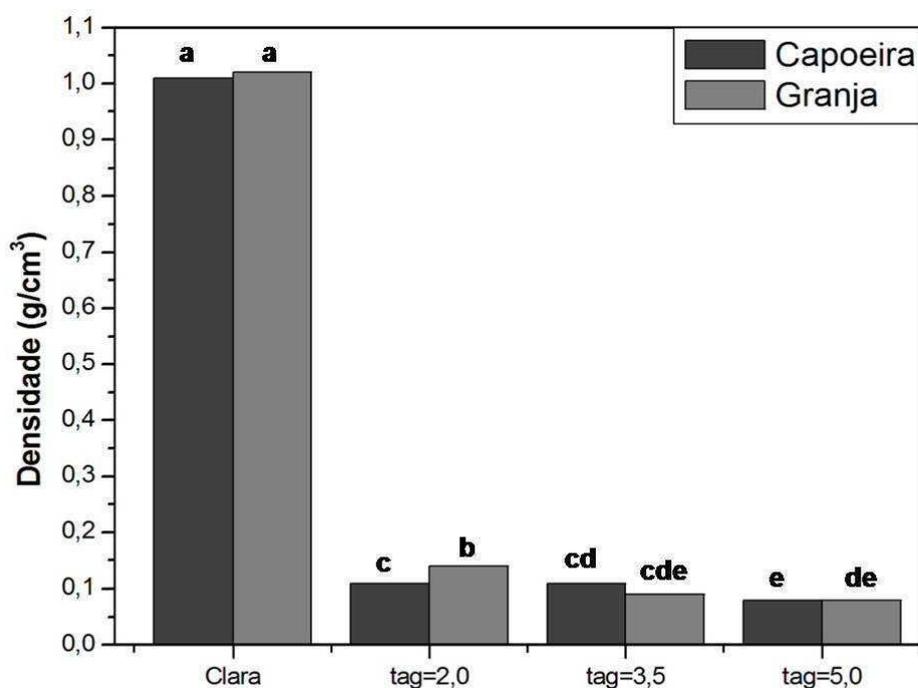
5.1 Caracterização física da espuma

Como não se tem registros na literatura acerca de trabalhos com secagem em camada de espuma para a clara do ovo, fazendo deste um trabalho inédito, os dados obtidos foram comparados com outros materiais secos em camada de espuma, tendo vários deles utilizado a albumina como agente espumante.

5.1.1 Densidade

Na Figura 9 é mostrada a densidade das claras de ovos da variedade capoeira e granja, assim como de suas respectivas espumas nos tempos de agitação (tag) em minutos estudados.

Figura 9 - Densidade das claras de ovo da variedade capoeira e granja e espumas para diferentes tempos de agitação (tag) em minutos



A partir do teste de Tukey a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) é possível notar que a densidade das claras de ovo de capoeira e granja não apresentaram diferenças significativas entre si quanto ao comportamento da densidade.

Considerando os tempos de agitação para a clara de granja não houve diferença significativa nos tempos de 3,5 e 5 minutos, já para a clara de capoeira a menor densidade foi obtida após 5 minutos de agitação, sendo considerado este, o melhor resultado para o parâmetro avaliado.

Para ambos os tipos de ovos, no maior tempo de agitação a densidade foi inferior a $0,1 \text{ g/cm}^3$, e os demais estão inferiores a $0,2 \text{ g/cm}^3$, sendo que a densidade das claras antes da batidura era de aproximadamente $1,0 \text{ g/cm}^3$.

Os resultados obtidos estão de acordo com Van Arsdel e Copley (1964), que afirma que é de fundamental importância observar a densidade da espuma obtida, cujo valor mínimo deve ser de $0,1 \text{ g/cm}^3$ e o máximo compreendido entre 0,5 e $0,6 \text{ g/cm}^3$.

Segundo Cruz (2013) a redução na densidade das espumas ocorreu devido à incorporação de ar durante a etapa de agitação, uma vez que a alta velocidade de agitação promove um aumento na taxa de cisalhamento, favorecendo a divisão das bolhas de ar, resultando na incorporação de maior quantidade de gás à mistura e, portanto na diminuição da densidade da espuma.

Silva Filho (2012), em seu estudo com polpa de manga em pó, pelo método de secagem em camada de espuma com tempo mínimo de agitação de 5 minutos e tempo máximo de 30 minutos, observou que o aumento do tempo de batimento também acarretou diminuição da densidade da espuma, em todas as formulações testadas.

Rajkumar et al., (2007) verificaram após 20 minutos de agitação, que a densidade da polpa de manga fresca com adição de 0,5% de metil celulose foi de $1,01 \text{ g/cm}^3$, para a amostra com 10% de albumina a densidade foi de $0,52 \text{ g/cm}^3$ e, na amostra com 15% de albumina, a densidade da espuma foi de $0,51 \text{ g/cm}^3$, observou-se que a partir daí que a albumina apresenta ótima capacidade espumante, reduzindo consideravelmente a densidade no produto testado.

Dantas (2010) encontrou para a espuma de umbu densidade $0,55 \text{ g/cm}^3$, para espuma de polpa de manga a densidade variou entre 0,38 e $0,62 \text{ g/cm}^3$, para a polpa de seriguela variou entre 0,41 e $0,76 \text{ g/cm}^3$, e a espuma de polpa de abacaxi apresentou densidade de $0,24 \text{ g/cm}^3$.

Silva (2008) em seu estudo de desidratação de polpa de tamarindo em camada de espuma com 5% de composto protéico à base de albumina utilizada

como dispersante e promotor de espuma alcançou densidade aparente média entre 0,45 e 0,50 g/cm³.

Soares et al., (2001) utilizaram o método de secagem em camada de espuma para a desidratação de polpa de acerola, com adição de diferentes agentes químicos (pectina cítrica, Emustab e Super Liga Neutra) que favorecem a formação de espuma, sendo escolhido o experimento com a densidade entre 0,1 a 0,6 g/cm³, recomendada como ideal.

Thuwapanichayanant al., (2008) testaram espumas com densidades de 0,3, 0,5 e 0,7 g/cm³ e observaram secagens mais rápidas para as espumas menos densas.

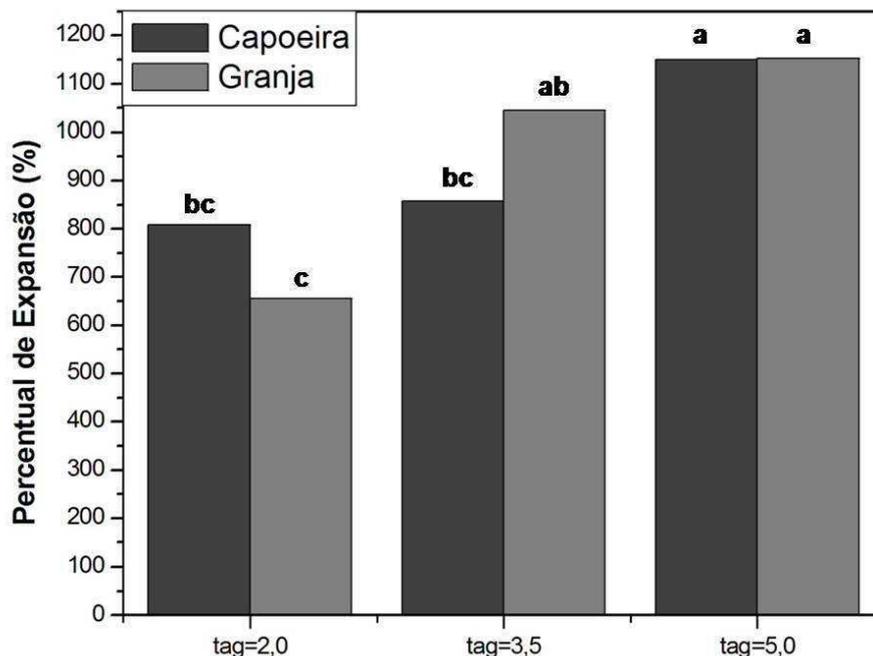
5.1.2 Expansão

No geral, a estrutura, a capacidade de expansão e a estabilidade da espuma desempenham um papel importante na circulação de água durante a secagem e, conseqüentemente, na qualidade do produto final (BAG; SRIVASTAV; MISHRA, 2011).

As propriedades espumantes abrangem a capacidade de formação de uma dispersão de ar em água, que se deve à expansão do volume da dispersão promovida por um emulsificante, com incorporação de ar através das técnicas de batimento, agitação ou aeração (CAPITANI, 2004).

Na Figura 10 são apresentados os percentuais de expansão para as claras de ovos de capoeira e granja em decorrência dos tempos de agitação (tag) estudados.

Figura 10 -Percentual de expansão das espumas da clara de ovo da variedade capoeira e granja para diferentes tempos de agitação (tag) em minutos



Na Figura 10, a partir do teste de Tukey a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) observa-se que não houve diferença significativa para a expansão das claras de granja e capoeira após 5 minutos de agitação. Para a espuma da clara de granja não houve diferença significativa entre os tempos de agitação de 3,5 e de 5 minutos. Foi observado um percentual mínimo de expansão de aproximadamente 650% e o máximo superando os 1100% para as variedades das claras em espuma dos dois tipos de ovos. O tempo de agitação influenciou de forma positiva este parâmetro, sendo que os melhores resultados para ambas as variedades de ovos foi obtido aos 5 minutos de agitação. De acordo com Dantas (2010), a expansão da espuma acima de 100% é ideal para o processo de secagem.

De acordo com Rajkumar et al., (2007), o melhor tempo de batimento da espuma é alcançado quando a espuma apresenta a maior expansão volumétrica, conseqüentemente, também o maior *over-run* e o menor valor de densidade.

Balas ubramanian et al., (2012) estudando a otimização das condições de formação de espuma de suco de tomate, observaram que com o aumento da concentração de albumina como agente espumante, houve maior expansão da

espuma, notando-se assim que a albumina presente na clara age de forma positiva na expansão de materiais sob agitação.

Dantas (2010) em seu estudo sobre desidratação de polpas de frutas pelo método *foam-mat*, com o auxílio de agentes espumantes, encontrou expansão de 101,4% para polpa de umbu, expansão mínima de 77,4% e máxima de 189,5% para polpa de manga, para seriguela valores variando de 47,8% e 173,9% e para polpa de abacaxi um percentual de expansão de 183,4%.

Quanto à expansão de espuma, não foram encontradas recomendações para produtos alimentícios que são submetidos à secagem em leito de espuma. Em seu estudo Marques (2009) observou a variação da expansão da espuma de caldo de cana de 96,91% a 200,79%, com valores do volume quase três vezes maior que o do caldo de cana antes da bateção.

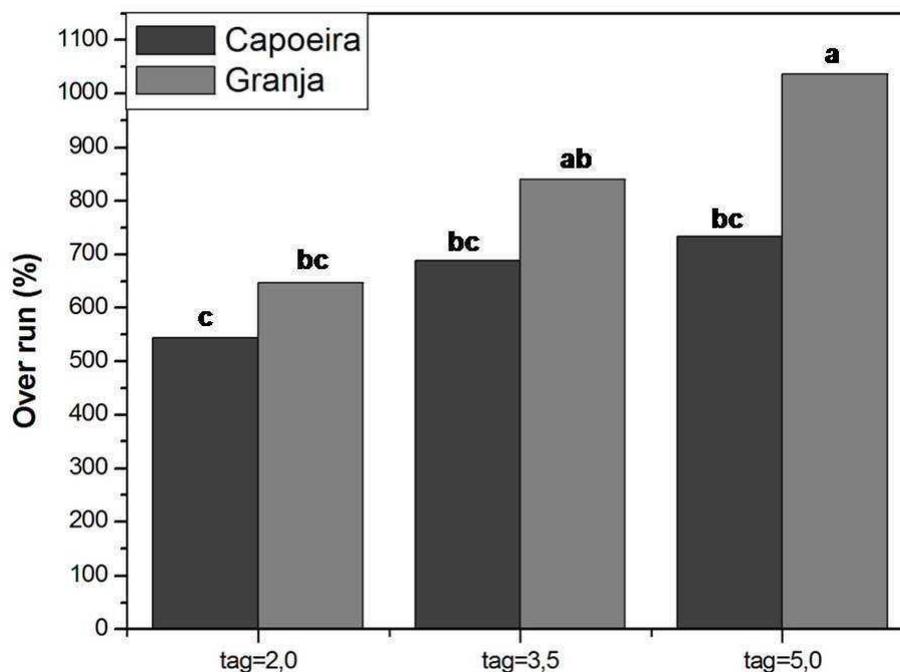
5.1.3 Incorporação de ar (*over run*)

A capacidade de incorporação de ar ou *over-run* está relacionada com o volume de ar introduzido em uma solução, sendo determinado pelo aumento de volume da espuma formada.

A albumina é uma proteína proveniente da clara do ovo com característica de formação de espuma e capacidade de aeração. A aeração dos materiais submetidos ao método de secagem em camada de espuma é responsável por seu volume final, sua textura e aparência (RAIKOS et al., 2007).

Na Figura 11 esta apresentada a capacidade de incorporação das espumas da clara de ovo da variedade capoeira e granja para diferentes tempos de agitação (tag) em minutos.

Figura 11-Incorporação de ar (*over-run*) das espumas da clara de ovo capoeira e granja para diferentes tempos de agitação (tag) em minutos



De acordo com a Figura 11 a partir do teste de Tukey a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) foi verificado que não houve diferença significativa quanto ao *over run* (%) para as claras de capoeira considerando os três tempos de agitação. Para as claras de granja, os melhores resultados foram obtidos após 3,5 e 5 minutos de agitação.

Silva Filho (2012) em seu estudo com polpa de manga em pó, pelo método de secagem em camada de espuma, verificou um efeito semelhante em relação ao tempo de agitação, onde tempos maiores (30 minutos) apresentaram melhores resultados para a incorporação de ar do que os tempos mais próximos ao limite mínimo de agitação (5 minutos).

Em seu estudo Cruz (2013) observou que a capacidade de incorporação de ar da espuma de polpa de goiaba com a adição de 5% de emulsificante, apresentou valor acima de 100%. Isso indica que um valor mínimo de emulsificante é necessário para que ocorra a redução da tensão superficial e interfacial a um nível suficientemente baixo para formar o filme que excede a espessura crítica (KARIM e WAI, 1999).

5.1.4 Estabilidade

As espumas são sistemas termodinamicamente instáveis e por isso, além da capacidade de incorporação de ar é importante avaliar sua estabilidade, ou seja, sua habilidade de resistir à perda de bolhas de ar (LAU; DICKINSON, 2004).

Yasumatsu et al., (1972) reportam que propriedades espumantes podem ser representadas pela expansão e estabilidade da espuma. O volume e a sinérese de espuma são usados, segundo Dench et al. (1981), como índices da estabilidade de espuma, sendo que a sinérese é o inverso da estabilidade. O aumento na sinérese de espuma nem sempre é acompanhado pela correspondente diminuição no volume de espuma devido à aderência de espuma na superfície do vasilhame usado na determinação. Portanto, a sinérese é uma medida mais adequada do que a determinação do volume de espuma para verificar a estabilidade de espumas.

A estabilidade de espuma é uma das características funcionais mais importantes da albumina proveniente da clara do ovo, com infinitas aplicações na indústria de alimentos. As proteínas da clara do ovo agem como emulsificantes anfifílicos entre a fase gasosa e a fase aquosa estabilizando a espuma (MLEKO et. al., 2006).

Espumas usam proteínas como a albumina para estabilizar a rede formada ao redor das bolhas, criando condições para prevenir os fenômenos de coalescência. A adsorção espontânea das proteínas da solução na interface ar/água contribui para a dispersão e organização do ar, melhorando seu desempenho levando espumas mais estáveis com bolhas de ar de diâmetro menor (CHAVES-MONTES et. al., 2007).

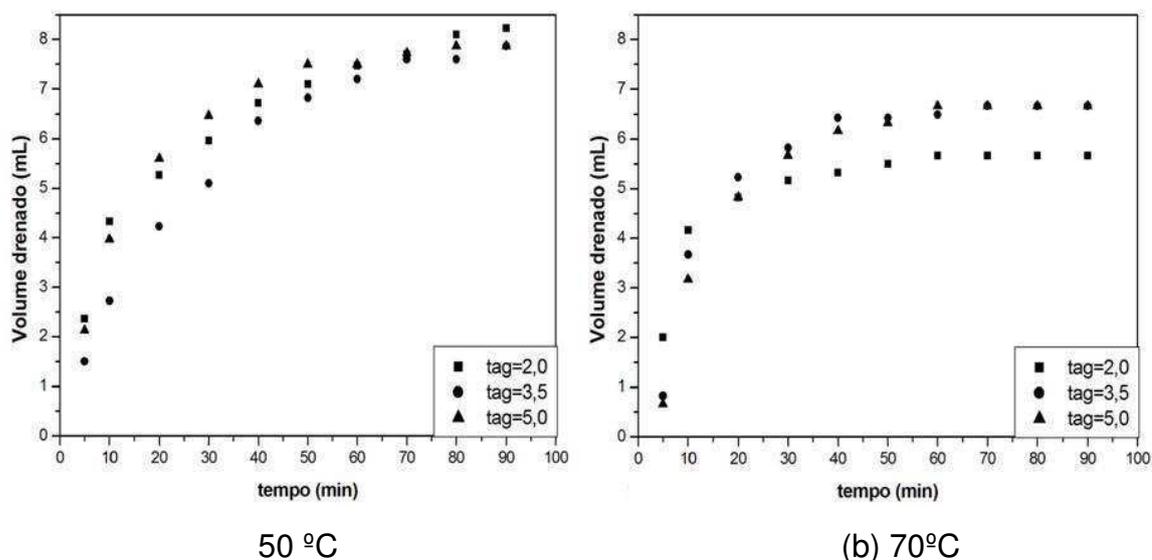
A estabilidade das espumas também pode ser influenciada pelo tempo. Ratti e Kudra (2006) afirmaram que as espumas que não colapsarem durante pelo menos uma hora são consideradas mecanicamente estáveis, durante todo o processo de secagem.

A secagem de materiais em camada de espuma é acelerada devido à elevada porosidade e aeração da espuma. O conhecimento sobre a cinética de estabilidade da espuma é importante para a definição da metodologia a ser empregada nos experimentos em relação ao intervalo de tempo entre a preparação e o início da secagem das espumas. Sob condições de aquecimento a cinética de estabilidade permite avaliar a manutenção da estrutura da espuma ao longo do processo.

Para melhor compreensão do processo de secagem em estudo, foi avaliada a cinética de desprendimento de líquido das espumas levando-se em consideração o período de aquecimento do material na estufa e as temperaturas em que ensaios de secagem seriam conduzidos. Note-se que os dados foram obtidos em intervalos de tempos mais curtos que os de secagem.

Na Figura 12 são mostradas as curvas de estabilidade das espumas de clara de ovos capoeira e granja nas temperaturas mínima e máxima do planejamento experimental, sendo que a estabilidade é expressa pelo inverso do volume drenado (sinérese), assim quanto menos volume de líquido desprendido da espuma, mais estável ela é ao processo de secagem em dada temperatura.

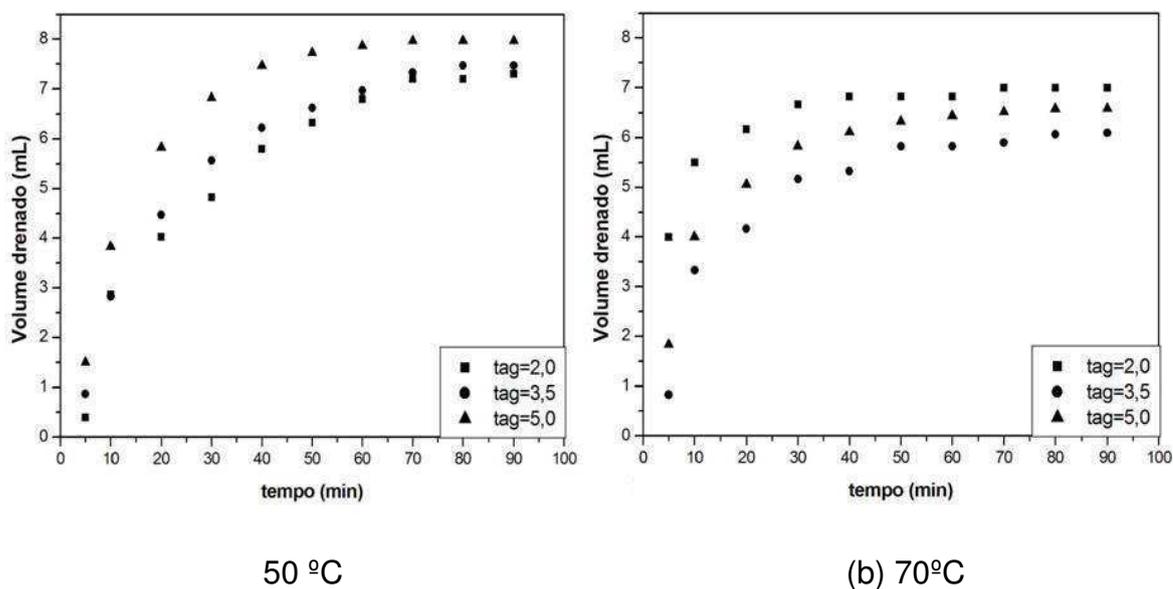
Figura 12- Estabilidade da espuma da clara de ovo da variedade capoeira para diferentes temperaturas.



Como pode ser observado na Figura 12 quando submetida à temperatura de 50°C(Figura12a), a espuma da clara de ovo capoeira apresentou maior sinérese para todos os tempos de agitação do que na temperatura máxima de 70°C (Figura 12b), levando em média 60 minutos para estabilizar, onde na segunda temperatura testada a perda de líquido estabilizou-se em aproximadamente 40 minutos.

Na Figura 13 foi possível verificar os mesmos parâmetros, avaliados para a variedade de ovo de granja.

Figura 13 - Estabilidade da espuma da clara de ovo da variedade granja para diferentes temperaturas



Assim como a espuma do ovo capoeira, a espuma da clara de ovo de granja apresentou maiores volumes desprendidos na temperatura de 50°C (Figura 13a), chegando a um desprendimento máximo de 8mL e alcançando a estabilidade aos 70 minutos de secagem. Já para a temperatura de 70°C (Figura 13b), houve uma redução na quantidade de líquido drenado para todos os tempos de agitação testados, e a estabilidade média da sinérese ocorreu aos 40 minutos de experimento.

Segundo Dantas (2010) com o aquecimento as diferenças na cinética de desprendimento das espumas de abacaxi e manga são intensificadas, sendo que o desprendimento se verifica desde o primeiro minuto. O volume total desprendido em 10 minutos atinge o patamar de 6mL na temperatura de 70°C. A taxa de dissolução de espuma aquecida a 60°C é mais baixa, porém aos 15 minutos ainda não se observa a estabilização do volume desprendido. Neste caso o efeito do aumento de temperatura foi o inverso do referido estudo.

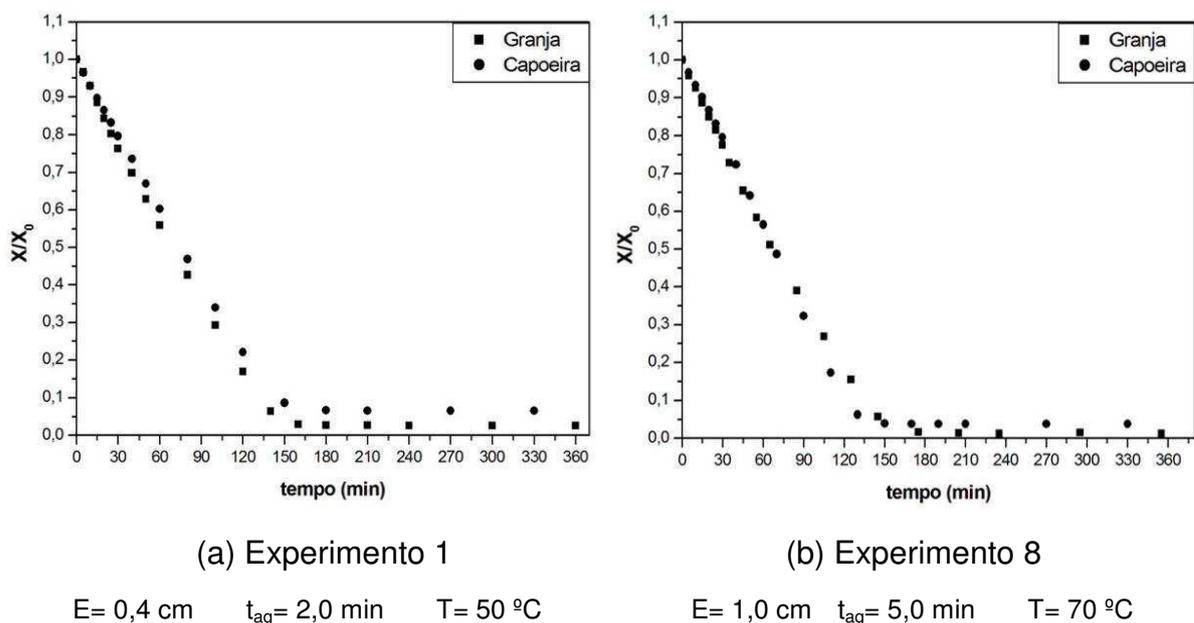
No estudo de Dantas (2010), para a espuma de manga, de forma geral, a dissolução da espuma sofreu pouca influência da temperatura. A estabilização do volume desprendido das espumas, sob aquecimento, demonstra que na continuidade do aquecimento e evaporação da água a integridade do material poroso é mantida, facilitando a secagem do mesmo.

Para Brygidyr et al., (1997), e Bastos et al., (2005), a maior estabilidade da espuma resulta em rápida remoção de água. Esse aspecto pode ser considerado como vantagem do método foam-mat frente a outros métodos de desidratação de frutas.

5.2 Análise dos dados de secagem

As curvas da cinética de secagem da clara de ovo das variedades capoeira e granja são apresentadas na Figura 14. São curvas obtidas para os pontos extremos do planejamento experimental fatorial completo apresentado na Tabela 5. As curvas dos demais experimentos são apresentadas no Apêndice A.

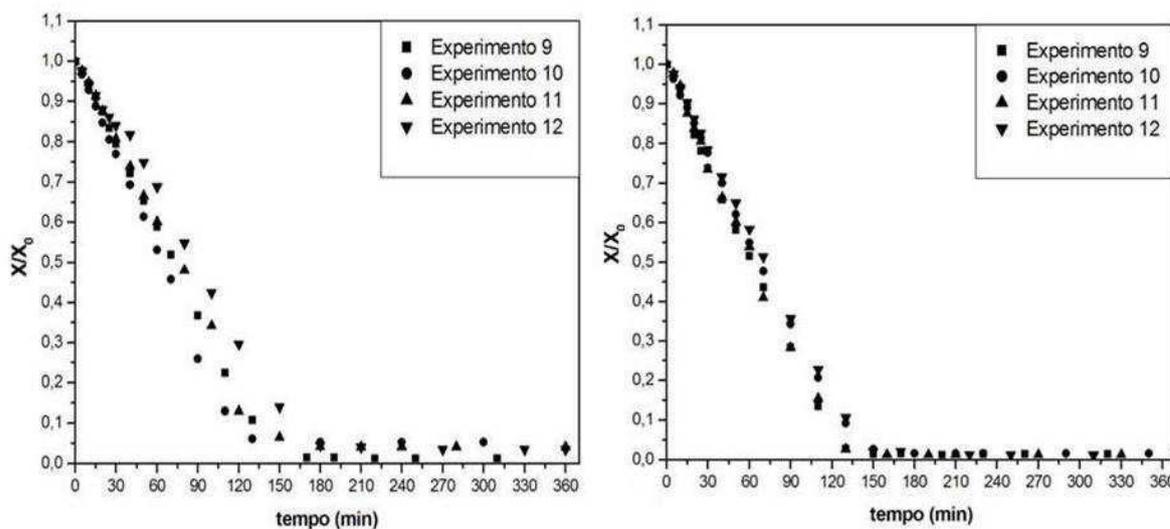
Figura 14 -Curvas da cinética de secagem das espumas da clara de ovo da variedade capoeira e granja nos pontos extremos: (a) Experimento 1 e (b) Experimento 8



Na Figura 15 são apresentadas as curvas da cinética de secagem do ovo da variedade capoeira e granja nas condições do ponto central do planejamento experimental fatorial completo (Tabela 5). Essas curvas foram plotadas para

acompanhar a reprodutibilidade da cinética de secagem das claras de ovo capoeira (Figura 15a) e granja (Figura 15b).

Figura 15 -Curvas da cinética de secagem das espumas da clara de ovo capoeira e granja nos pontos centrais do planejamento fatorial completo.



(a)

(b)

$$E = 0,7 \text{ cmt}_{a0} = 3,5 \text{ min } T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Através da Figura 15 foi observado que existe uma boa reprodutibilidade no comportamento da secagem no ponto central, correspondentes ao nível zero do planejamento experimental, sendo que visivelmente a variedade de granja (Figura 15b) obteve valores mais próximos entre eles.

Ao estudarem a cinética do processo *foam-mat*, a maioria dos autores cita que a secagem ocorre em taxa decrescente, precedida ou não de um período de taxa constante (DANTAS, 2010). Já o presente experimento apresentou o período de taxa constante e o período de taxa decrescente.

Dependendo das propriedades do material e do ar, a secagem de alguns produtos biológicos é caracterizada por apresentar período de taxa constante de secagem e/ou período de taxa decrescente de secagem. Em geral, produtos intactos exibem apenas período de taxa decrescente de secagem e, produtos cuja integridade celular tenha sido quebrada, podem exibir período de taxa constante de secagem antes do período de taxa decrescente de secagem (MUJUMDAR, 1995; FELLOWS, 2000). A secagem de espumas envolve alimentos líquidos como sucos,

extratos e polpas preparadas (purês) em que não há sequer tecido, mas há apenas células dispersas na fase líquida. Portanto, considerando-se apenas as propriedades do material, espumas alimentícias normalmente apresentam período de taxa constante de secagem antes do período de taxa decrescente de secagem.

5.2.1 Ajustes da secagem nos pontos centrais

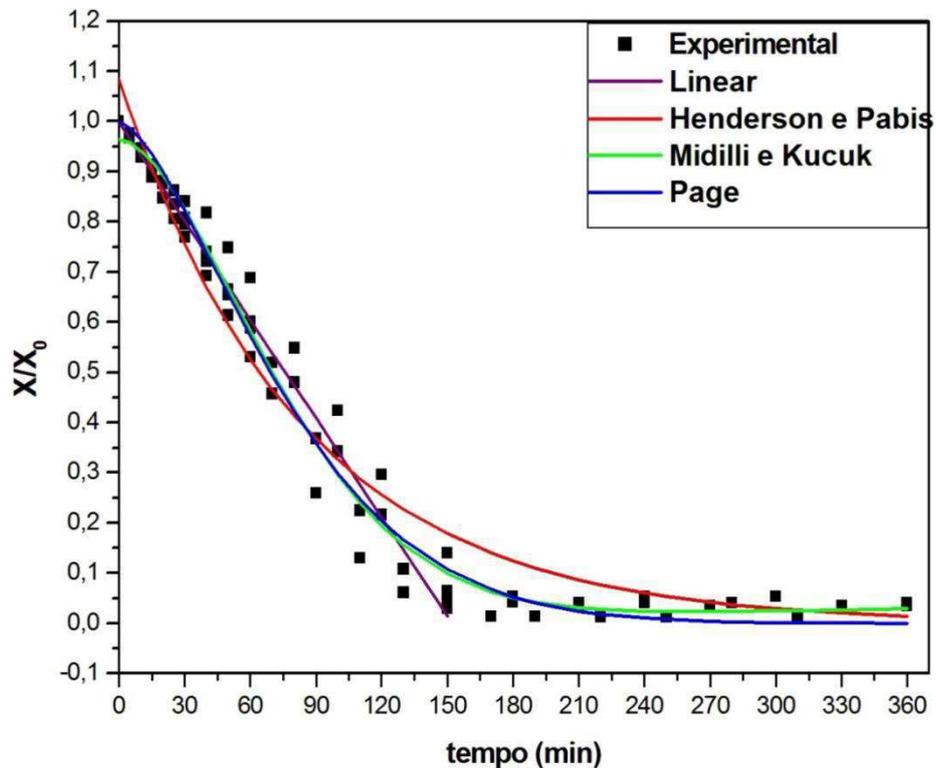
O principal objetivo dos modelos matemáticos aplicados na secagem é descrever como a umidade é transferida no interior do sólido para evaporar na sua superfície e qual mecanismo de transferência controla o processo.

A transferência de umidade em materiais biológicos durante a secagem acontece em dois passos sucessivos. Primeiro, do interior para a superfície (transferência interna de umidade). E, segundo, evaporação da superfície para o ar (transferência externa de umidade). Se a taxa de transferência interna de umidade é igual ou maior que a taxa de transferência externa de umidade o processo ocorre a uma taxa constante nesse período. Se a taxa de transferência interna de umidade é menor que a taxa de transferência externa de umidade, o processo ocorre a uma taxa decrescente nesse período (DEMIREI, TURHAN, 2003).

Os ajustes nesse trabalho foram feitos apenas para os dados no ponto central, uma vez que o comportamento das curvas é semelhante em todos os experimentos.

Na Figura 16 são mostrados os ajustes dos modelos não lineares para os dados da secagem da clara no ponto central dos experimentos para o ovo capoeira, verifica-se a adição também de um modelo linear de ajuste, já que até aproximadamente 150 minutos de secagem, os dados obtidos representam uma reta.

Figura 16 - Ajustes dos modelos propostos para a secagem de clara de ovo da variedade capoeira.



A partir das linhas dos modelos não lineares pode-se observar que os modelos de Midilli e Kucuk e o de Page representam bem os dados da secagem da clara de ovo capoeira, o modelo linear também apresentou um bom ajuste no tempo estipulado (150 minutos) para os dados experimentais analisados, o que pode ser comprovado na Tabela 7.

Na Tabela 7 são apresentados os dados dos coeficientes para cada modelo de ajuste para a variedade capoeira, assim como o coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio estimado (SE) para os modelos propostos.

Tabela 7 - Modelos de ajuste para clara de ovo da variedade capoeira nos pontos centrais.

Modelos	A	b	n	K	R ²	SE
Linear *	0,998666	-0,00656			0,972938	0,050586
Henderson e Pabis	1,084724			0,012036	0,963124	0,385532
Midilli e Kucuk	0,964570	0,000081	1,692214	0,000500	0,985622	0,150218
Page			1,514075	0,001132	0,983956	0,167733

* tempo < 150 min

Considerando o coeficiente de determinação (R²) para os modelos propostos o melhor modelo para o ajuste dos dados de secagem da clara de ovo de capoeira seria o de Midilli e Kucuk, contudo este apresentou um parâmetro (b) estatisticamente não significativo como pode ser observado na Tabela 7, seguido do modelo de Page, modelo Linear e de Henderson e Pabis respectivamente.

Contudo, de acordo com Montgomery (1999) e Runger (2003), um valor próximo da unidade de R² não implica necessariamente que o modelo de regressão seja bom, pois a adição de uma variável ao modelo sempre aumentará R², independente da variável ser ou não significativa, como mostrou o modelo de Midilli e Kucuk para o ovo de capoeira.

Considerando o erro médio estimado (SE) que avalia a precisão do ajuste, o que mais se aproximou dos dados experimentais foi o modelo Linear (com tempo até 150 minutos), pois apresentou o menor valor, seguido por Midilli e Kucuk, Page e Henderson e Pabis respectivamente. De um modo geral, todos os modelos estudados ajustam bem os dados experimentais.

Tabela 8 - Modelo de Midilli e Kucuk a 95% de confiança para a variedade capoeira.

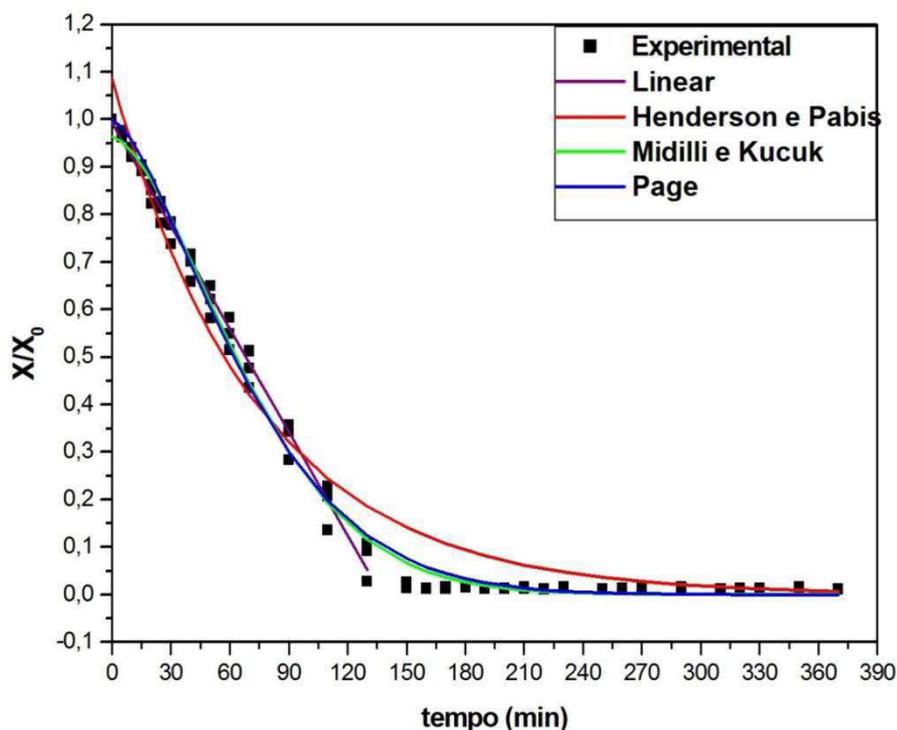
	Estimativa	Erro Padrão de a,b,k,n	Stat t	valor-P	Lim. Inferiores	Lim. superiores
A	0,964570	0,012892	74,821630	0,000000	0,938865	0,990275
K	0,000500	0,000192	2,609000	0,011065	0,000118	0,000883
N	1,692214	0,084835	19,947160	0,000000	1,523058	1,861370
b*	0,000081	0,000046	1,767860	0,081381	-0,000010*	0,000172

* O limite inferior do parâmetro passa pela origem, ou seja, apresenta valor negativo.

Conforme a Tabela 8 para a clara do ovo de capoeira, o coeficiente b do modelo de Midilli e Kucuk não foi estatisticamente significativo, pois seu limite inferior passa em algum ponto pela origem, desta forma, apesar de ter apresentado o melhor coeficiente de determinação (R^2) e o segundo menor erro estimado (SE) o modelo não pode ser utilizado para o ajuste de dados do referido experimento.

Na Figura 17 são mostrados os ajustes dos modelos não lineares para os dados da secagem da clara no ponto central para o ovo de granja, assim como o modelo linear de ajuste.

Figura 17 - Ajustes dos modelos propostos para a secagem de clara de ovo de granja.



Para a variedade capoeira, o modelo de Henderson e Pabis é o que menos se ajusta aos dados experimentais obtidos para a clara do ovo de granja. O modelo linear novamente ajusta bem os dados de secagem até o tempo estipulado de 130 minutos.

Na Tabela 9 são apresentados os dados dos coeficientes para cada modelo de ajuste para a variedade granja, assim como o coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio estimado (SE) para os modelos propostos.

Tabela 9 - Modelos de ajuste para clara de ovo da variedade granja nos pontos centrais.

Modelos	A	B	n	K	R^2	SE
Linear *	0,993218	-,007240			0,992848	0,024416
Henderson e Pabis	1,086743			0,013577	0,973290	0,304010
Midilli e Kucuk	0,963475	0,000003	1,628623	0,000765	0,994326	0,064578
Page			1,488699	0,001486	0,993148	0,077992

* tempo < 130 min

Foi observado que o modelo Linear com tempo estipulado de 130 minutos foi o que apresentou melhor resultado de ajuste para os dados experimentais da secagem da clara de ovo granja, apresentando menor erro médio estimado, seguido pelo modelo de Midilli e Kucuk e Page respectivamente, sendo que todos estes também apresentaram bons resultados para o coeficiente de determinação (R^2), já o modelo de Henderson e Pabis, assim como para a variedade de capoeira apresentou resultados não satisfatórios pra o ajuste dos dados obtidos.

Silva et al. (2008) avaliaram a cinética de secagem da espuma de tamarindo nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C, e para o tratamento e análise das curvas de secagem, foram utilizados os modelos de Page, Handerson e Pabis e Midilli e Kucuk e dentre eles o modelo de Midilli e Kucuk destacou-se com $R^2 > 0,9978$ e menores desvios quadráticos médios.

Furtado et al., (2010) em seus estudos com polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma utilizaram os modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Midilli e Kucuk e o modelo de Page verificaram que todos os modelos analisados apresentaram ajustes com elevados coeficientes de determinação e baixo erro médio estimado. O modelo de Midilli e Kucuk foi o que melhor se ajustou aos dados observados.

Silva, Paglanini e Leite (2011), secando polpa de caju pelo método de camada de espuma utilizaram os modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Midilli e Kucuk e o modelo de Page e todos apresentaram elevados coeficientes de determinação e baixo erro médio estimado. Sendo que os modelos de Midilli e Kucuk e o modelo de Page apresentaram melhores ajustes aos dados observados.

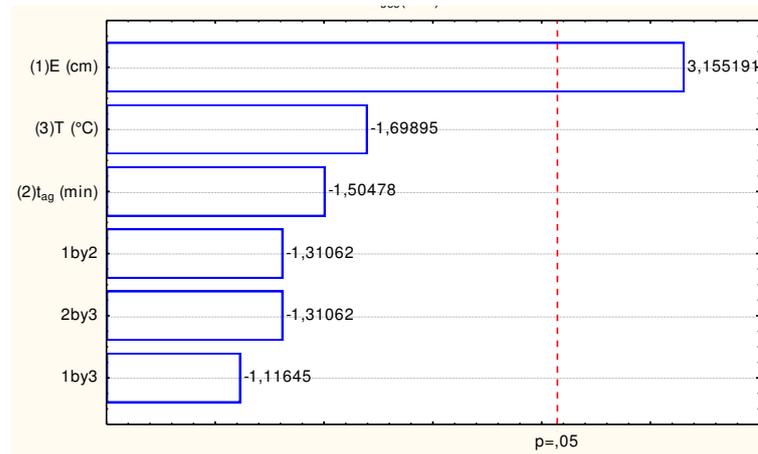
5. 3 Verificação da influência das variáveis independentes (espessura, tempo de agitação e temperatura) sobre a secagem

5.3.1 Tempo de secagem

Para a clara de ovo capoeira, pode-se verificar através da Figura 18 que apenas a espessura mostrou-se significativa em relação ao tempo de secagem, como o valor da barra do parâmetro espessura apresenta-se positivo é possível

afirmar que quanto maior a espessura da camada de espuma maior o tempo gasto para efetivar o processo de secagem do material.

Figura 18 - Diagrama de Pareto para o tempo de secagem da clara de capoeira



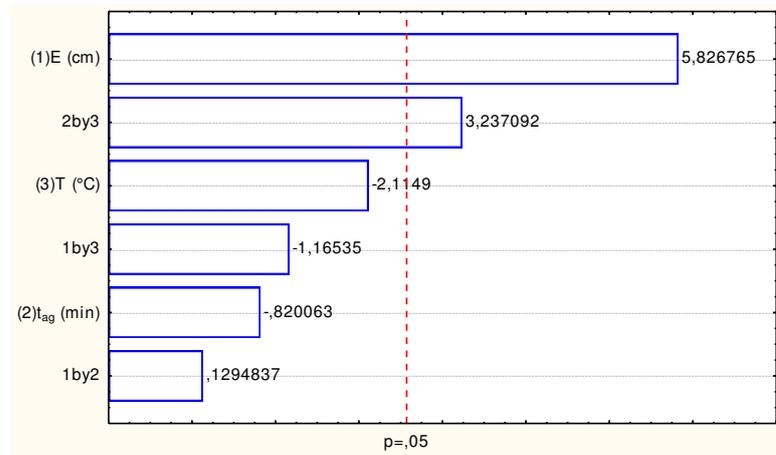
O modelo estatístico gerado por intermédio de uma regressão linear dos dados experimentais do processo é mostrado na Equação 7.

$$t_{secagem} = 395 + 81,250e \quad (7)$$

Onde e= espessura (cm).

Já para a clara de ovo de granja tanto a espessura quanto a interação da mesma com a temperatura influenciaram significativamente no tempo de secagem (Figura 19). Assim para maiores espessuras, e a interação da temperatura com a espessuras ocasionam um maior tempo de secagem para a clara de ovo de granja.

Figura 19 –Diagrama de Pareto para o tempo de secagem da clara de granja



O modelo estatístico gerado por intermédio de uma regressão linear dos dados experimentais do processo é mostrado na Equação 8.

$$t_{secagem} = 371,25 + 84,375e + 48,875t_{ag}T \quad (8)$$

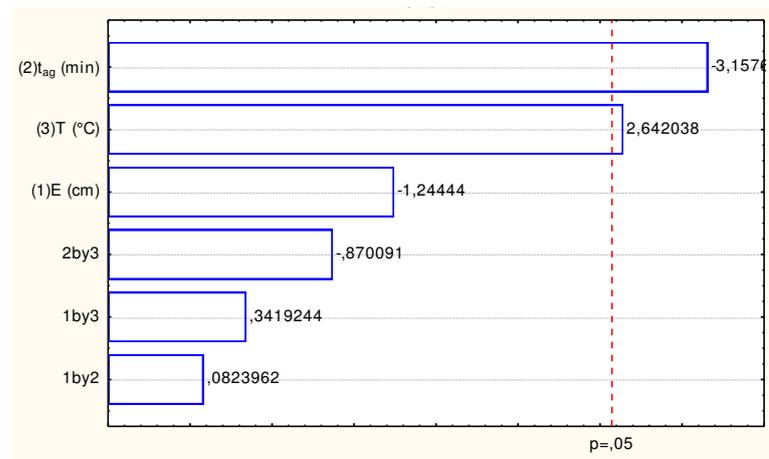
Onde e= espessura (cm);

T_{ag}= tempo de agitação (min).

5.3.2 Umidade final

Na Figura 20 é possível notar que o tempo de agitação e a temperatura de secagem influenciaram diretamente no teor de umidade final da clara de capoeira em pó, sendo que menores tempos de agitação e maiores temperaturas são favoráveis para um produto com umidade final mais adequado.

Figura 20 –Diagrama de Pareto para a umidade final da clara em pó de capoeira



O modelo estatístico por intermédio de uma regressão linear dos dados experimentais do processo gerado é mostrado na Equação 9.

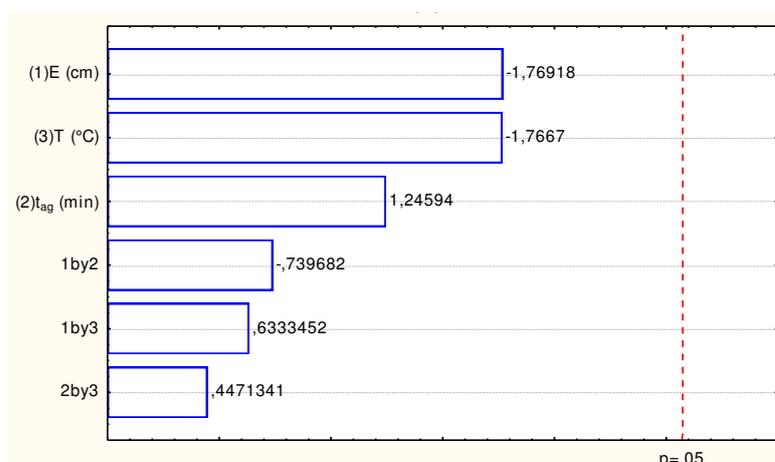
$$X = 0,3115 - 0,1406t_{ag} + 0,1177T \quad (9)$$

Onde T_{ag} = tempo de agitação (min);

T = temperatura (°C).

Para a clara de granja nenhuma das variáveis independentes influenciou significativamente na umidade final do pó obtido conforme mostrado na Figura 21

Figura 21 –Diagrama de Pareto para a umidade final da clara em pó de granja



5.3.3 Teor de proteína

Foi constatado que nenhuma variável independente foi estatisticamente significativa para o nível de 95% de confiança nos resultados do teor de proteína para os pós das claras de capoeira e granja, conforme mostrado nas Figuras 22 e 23.

Figura 22 –Diagrama de Pareto para o teor de proteína da clara em pó de capoeira

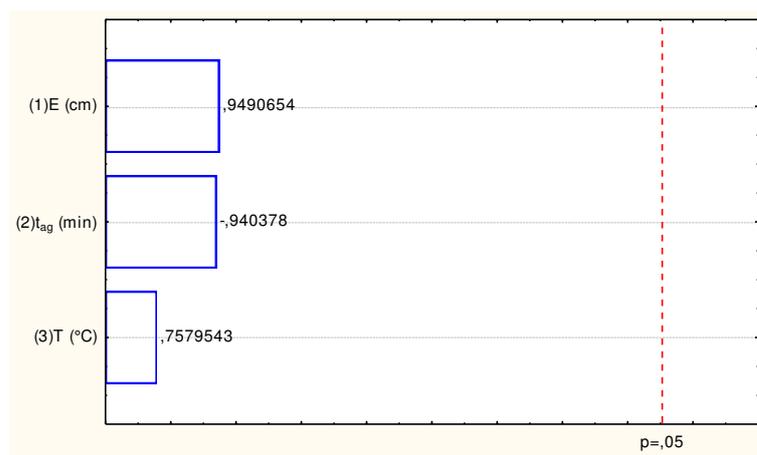
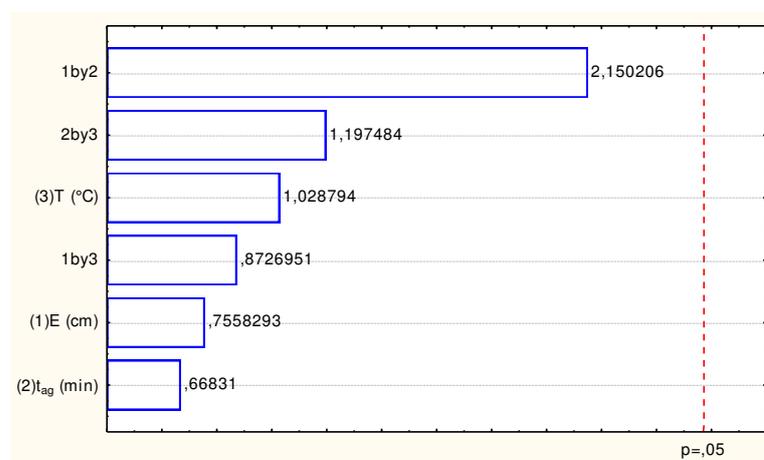


Figura 23 –Diagrama de Pareto para o teor de proteína da clara em pó de granja



Foi observado que as condições operacionais de secagem não influenciaram no teor de proteína da clara em pó obtida para ambos os tipos de ovo

5.3.4 Análise objetiva de luminosidade

Foi constatado que nenhuma variável independente foi estatisticamente significativa para o nível de 95% de confiança na luminosidade dos pós da clara de capoeira expostas (Figura 24) e protegidas da luz (Figuras 25). Em seu estudo sobre secagem de clara de ovo em leito de jorro bidimensional Divair (2006), também observou que não houve efeitos significativos das condições de secagem sobre o índice de luminosidade.

Figura 24 –Diagrama de Pareto para a luminosidade da clara em pó de capoeira exposta à luz

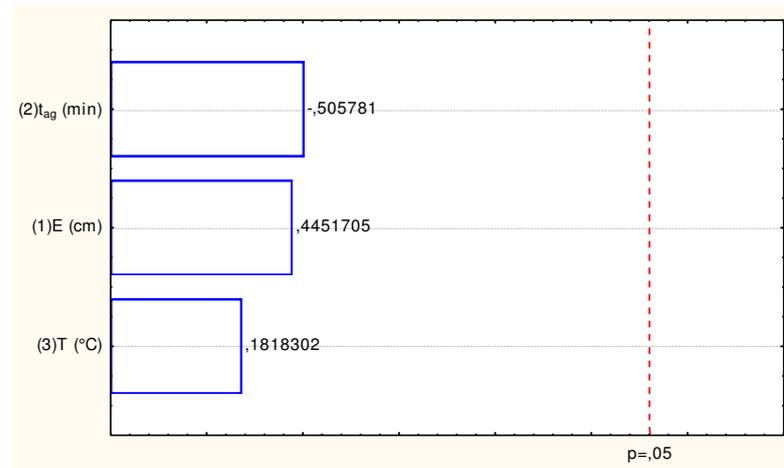
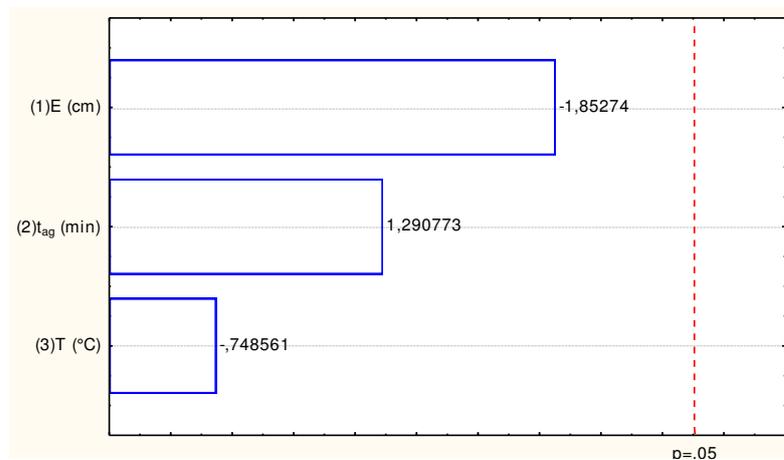
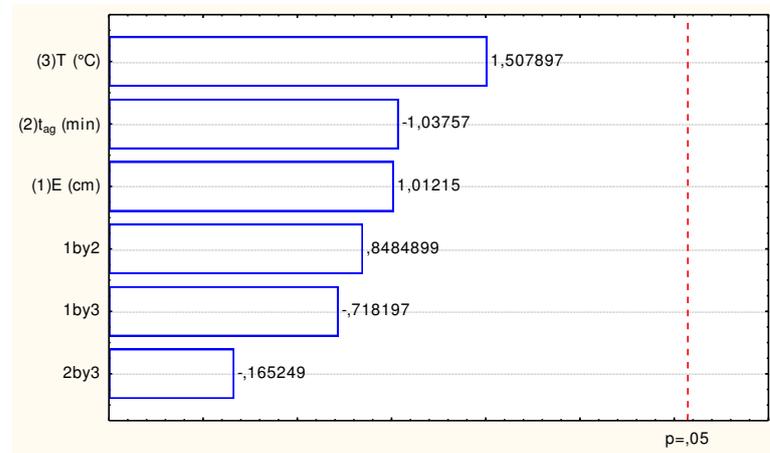


Figura 25 –Diagrama de Pareto para a luminosidade da clara em pó de capoeira protegida da luz



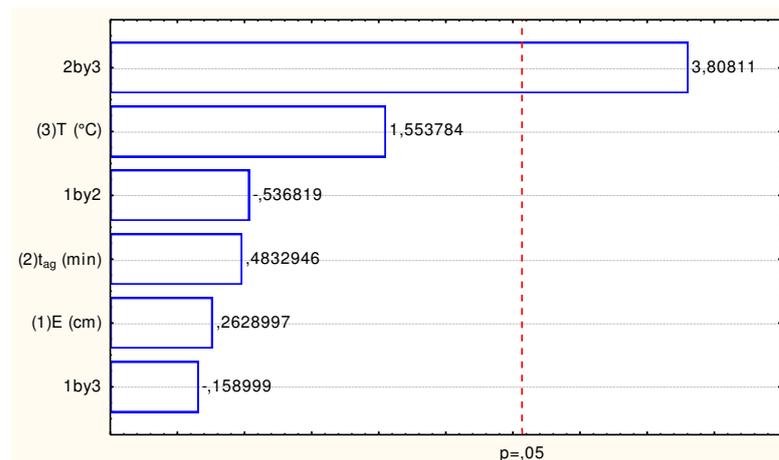
Para os pós da clara de granja expostos a luz nenhuma variável independente foi estatisticamente significativa para o nível de 95% de confiança para o parâmetro luminosidade (Figura 26).

Figura 26 –Diagrama de Pareto para a luminosidade da clara em pó de granja exposta à luz



Entretanto, para os pós da clara de granja protegidos da luz a interação do tempo de agitação (t_{ag}) com a temperatura (T) mostrou-se significativo para o parâmetro luminosidade, conforme mostrado na Figura 27

Figura 27 –Diagrama de Pareto para a luminosidade da clara em pó de granja protegida luz



O modelo estatístico gerado é mostrado na Equação 10.

$$L^* = 58,5167 + 3,0237t_{ag}T \quad (10)$$

Onde T_{ag} = tempo de agitação (min);
 T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

5.4 Caracterização da partícula do pó obtido

Na Figura 28 é apresentado o pó obtido após a secagem. Vale salientar que o aspecto do pó obtido (análise qualitativa) é o mesmo para todas as condições operacionais do planejamento experimental e para os dois tipos de clara.

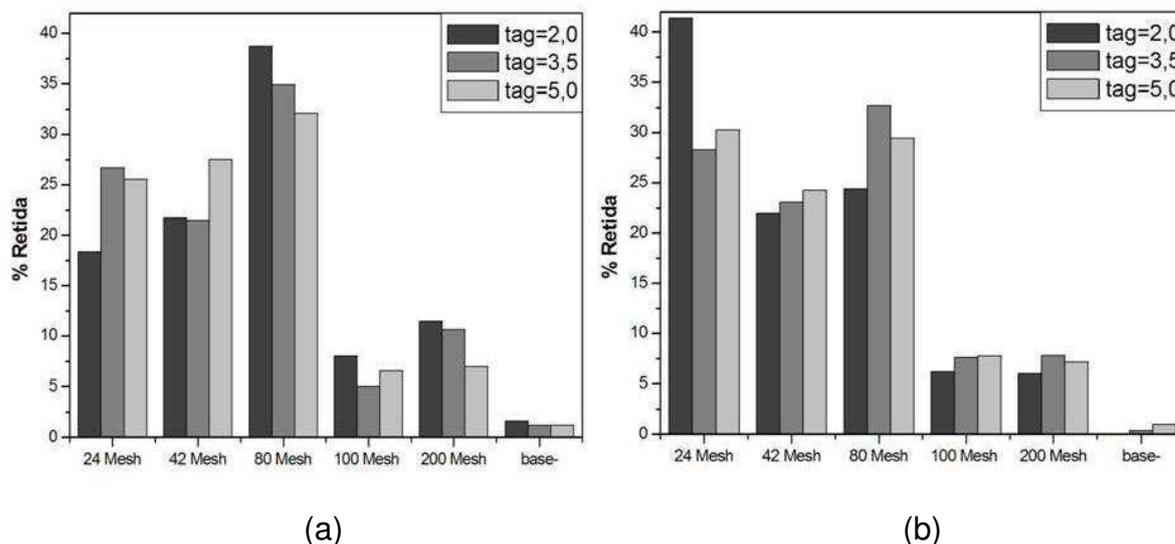
Figura 28 – Pó da clara obtido após a secagem em camada de espuma



5.4.1 Granulometria

O conhecimento do tamanho e da distribuição do tamanho de partícula é um pré-requisito fundamental para muitas operações de produção e processamento, envolvendo sistemas de materiais particulados, pois influenciam significativamente as propriedades destas suspensões e portanto as etapas do seu processamento.

Figura 29. Distribuição granulométrica dos pós obtidos das espumas da clara de ovo da variedade capoeira (a) e granja (b) para diferentes tempos de agitação.



Como pode ser observado na Figura 29 a granulometria foi avaliada de acordo com os tempos de agitação as quais foram submetidas às claras para formação das espumas. A partir da Figura 29a, que representa a granulometria dos pós obtidos da clara de ovos da variedade capoeira, foi verificado que aproximadamente metade dos pós nos três tempos de agitação ficou retida nas peneiras de 24 e 42 Mesh, que leva a classificar o material como pós finos, e a outra metade retida nas demais peneiras, sendo classificados como pós ultrafinos. Na Figura 29b, que representa a granulometria para os pós obtidos dos ovos de granja, foi verificado que para o tempo de agitação equivalente a dois minutos houve maior retenção do material nas peneiras classificadas como pós finos. Os demais seguiram a tendência dos pós, obtidos dos ovos de capoeira, com aproximadamente 50% de pós, considerados finos e o restante ultrafino.

Segundo Silva et al., (2009) o tamanho de partícula do alimento constitui aspecto importante no preparo de massas alimentícias e demais derivados, tendo em vista que uma maior uniformidade da granulometria permite a elaboração de um produto final de melhor qualidade sensorial, principalmente, textura, sabor e aspecto visual, pois o alimento absorve água de forma homogênea resultando no cozimento uniforme da massa.

5.4.2 Umidade final

Para a clara em pó de capoeira obteve-se umidade média de 6,35% e para granja 6,82%, os resultados diferiram entre si a 1% de significância através do teste de Tukey, o que se deve ao fato de que as claras de granja foram secas em dias com a umidade relativa do ar mais elevada, já que a secagem em camada de espuma apresenta uma grande superfície de contato, facilitando maior interação do material com o meio. De acordo com Madrid et al., (1996), o teor de umidade médio para a clara *in natura* é de aproximadamente 88%, logo é possível notar que houve uma considerável redução da umidade da clara de ovo através do processo de secagem em camada de espuma, o que permite um armazenamento nas condições ambientes por um tempo consideravelmente maior do que o ovo em seu estado natural.

Obara et al., (2006) encontraram para a clara desidratada de ovo de galinha um teor de umidade em torno de 4,05%. Em seu estudo sobre secagem de clara de ovo em leito de jorro bidimensional Divair (2006), encontrou teores de umidade variando entre 3 e 7%.

5.4.3 Valores da proteína

As claras desidratadas pelo método de camada de espuma obtiveram resultados satisfatórios para o teor de proteína, sendo que a clara em pó de capoeira obteve em média 76,49% e o pó da clara de granja 76,95%, não apresentando diferença estatística a 5% e 1% de probabilidade pelo teste de Tukey. Segundo Madrid et al., (1996), a clara *in natura* apresenta aproximadamente 10,9% de proteína, logo o processo de secagem permitiu a concentração do teor de proteínas, fornecendo um produto mais nutritivo.

Em seu estudo sobre secagem de clara de ovo em leito de jorro bidimensional Divair (2006), encontrou teor médio de proteínas de 80,04%. Obara et al., (2006), encontraram para a clara desidratada de ovo de galinha um teor de 50,44% de proteína.

5.4.4 Análise objetiva de luminosidade

Considerando o parâmetro luminosidade (L), onde valores maiores tendem ao branco e menores ao preto (+claro/-escuro) foram obtidos os seguintes valores médios mostrados na Tabela 10:

Tabela 10 - Valores de luminosidade (L) para a clara em pó de capoeira e granja

Variedade	Valor de L	
	Exposto a luz	Protegido
Capoeira	62,78 a	61,93ab
Granja	60,92ab	58,61 b

Através da Tabela 10 foi observado a partir do teste de Tukey a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) que não houve diferenças no valor de (L) quando comparados os tipos de embalagem, com e sem exposição à luz, e também quando comparados os tipos de claras de ovo, as diferenças apresentadas não são visualmente perceptíveis, sendo o material considerado relativamente claro.

Em seu estudo sobre secagem de clara de ovo em leito de jorro bidimensional, Divair (2006) obteve valor médio de luminosidade de 91,4 imediatamente após a secagem, caracterizando o material como extremamente claro. Para a clara em pó comercial o mesmo autor encontrou índice de luminosidade de 91,8 e na clara em pó obtida por liofilização à luminosidade foi de 91,8. Hammersoj et al., (2004) na secagem de clara de ovo usando *spray dryer*, obtiveram valor médio de 88 para o índice de luminosidade.

Duas possíveis explicações para a luminosidade (L) bem menor do que as encontradas pelos pesquisadores supracitados são: tempo de medição, que nesse trabalho foi após dois meses de armazenamento e a falta de um pré-tratamento ácido na espuma. Sendo que comercialmente, o ovo em pó é produzido após a redução da glicose para prevenir o escurecimento e a perda de solubilidade, devido à reação de Maillard durante a pasteurização e a secagem (HANDA e KURODA, 1999; HANDA et al., 2001).

5.4.5 Análise microscópica do pó

Nas Figuras 30 e 31 são mostradas a microscopia óptica dos pós obtidos para as claras em pó de capoeira e granja, respectivamente. Esta observação permite a identificação das várias fases e até mesmo as formas de intercrescimento e associações entre estes materiais.

Figura 30 – Microscopia óptica com aumento de (a) 40 e (b) 100 vezes para a clara em pó de capoeira

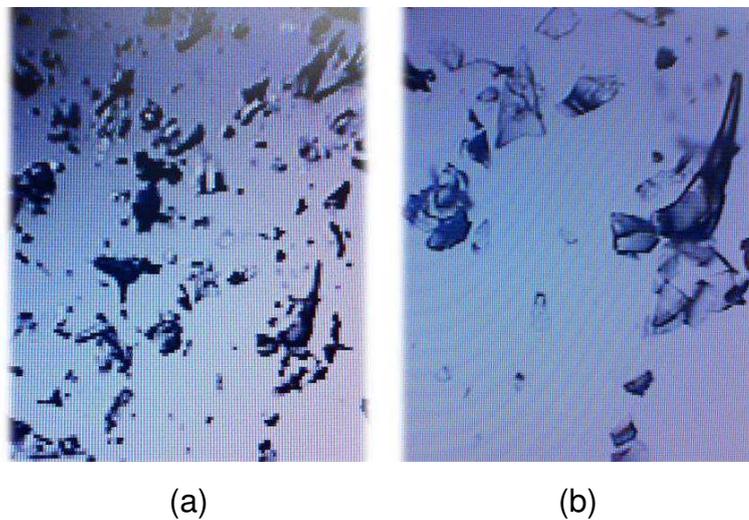
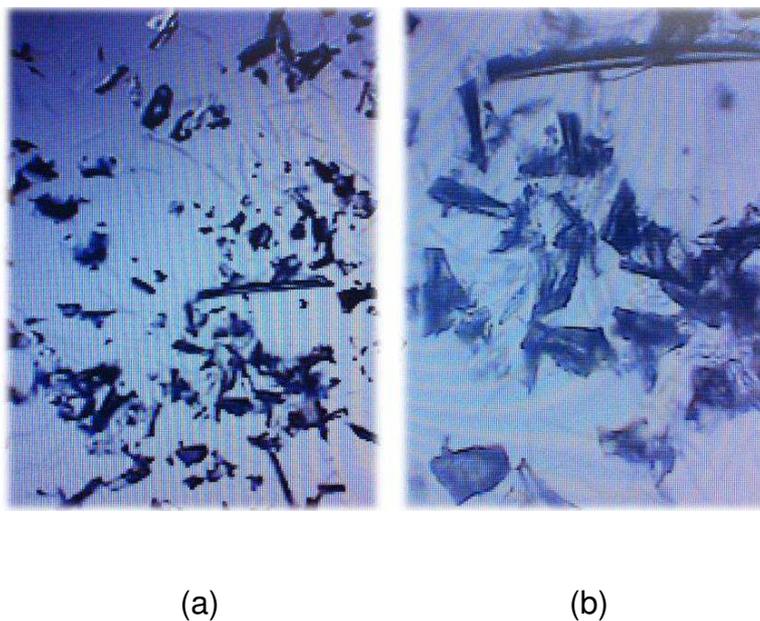


Figura 31 - Microscopia óptica com aumento de (a) 40 e (b) 100 vezes para a clara em pó de granja



6. CONCLUSÕES

A clara de ovo, por conter naturalmente propriedades espumantes devido ao alto teor e estrutura de suas proteínas apresentou resultados satisfatórios em relação à caracterização física das espumas tanto da clara de capoeira quanto de granja. Fato este que dispensa a necessidade de utilização de agentes espumantes e estabilizantes de espuma que são de uso comum na secagem em camada de espuma.

Todos os experimentos apresentaram uma boa reprodutibilidade, com curvas representadas caracteristicamente por duas taxas constantes. Para o ajuste dos dados da clara de capoeira os modelos não lineares que melhor representaram os dados experimentais foram o de Midilli e Kucuk e o modelo de Page seguidos do modelo linear que foi utilizado para o ajuste dos dados até os 150 minutos de secagem. O modelo de Midilli e Kucuk apesar de apresentar o melhor coeficiente de determinação (R^2) não foi estatisticamente significativo, pois o limite inferior do parâmetro b passa em algum ponto pela origem, ou seja, apresenta valor negativo, não podendo ser aplicado. Para a clara de granja o modelo linear apresentou o melhor ajuste considerando o tempo máximo de 130 minutos de secagem, seguido pelos modelos não lineares de Midilli e Kucuk e o de Page respectivamente.

O processo de secagem da clara de ovo pelo método de camada de espuma mostrou-se satisfatório quanto aos parâmetros avaliados, sendo que as condições testadas não influenciaram de forma significativa em características tecnológicas importantes do produto final, como o teor de proteínas e a luminosidade, o que permite um posterior estudo de viabilidade econômica para que se tenha uma produção com gastos energéticos mínimos.

Referências Bibliográficas

AHN, D. U.; KIM, S. M.; SHU, H. Effect of egg size and strain and age of hens on the solids content of chicken eggs. **Poult. Sci.**, v. 76, p. 914-919, 1997.

ALEXANDRE, H. V. **Secagem da polpa de pitanga e armazenamento do pó**. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)– Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005. 108 f.

ALLEONI, A. C. C., ANTUNES, A. J. Unidade Haugh como medida da qualidade de ovos de galinha armazenados sob refrigeração. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 681 – 685, 2001.

A.O.A.C. - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 15. ed. Washington, 109 p. 2000.

AQUINO, J. S. **Avaliação da viabilidade técnica da industrialização de ovos inférteis de avestruzes**. Dissertação de mestrado. UFPB/CT. João Pessoa, 2007. 85p.

BAG, S. K.; SRIVASTAY, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of Process Parameters for Foaming of Bael (Aegle marmelos L.) Fruit Pulp. **Food Bioprocess Techno**, 4:1450–1458, 2011.

BALAS UBRAMANIAN, S; PARIDHI, G.; BOSCO, J. D.; KADAM, D. M. Optimization of Process Conditions for the Development of Tomato Foam by Box - Behnken Design. **Food and Nutrition Sciences** , v.3, p.925 - 930, 2012.

BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNADI, M. R. Desidratação da polpa de manga "Tommy Atkins" utilizando a técnica de foam-mat drying: avaliações químicas, físico-químicas e sensoriais. **Brazilian Journal of Food Engineering** , v. 8, n. 4, p. 283-290, 2005.

BARBOSA, A. A.; SAKOMURA, N. K.; MENDONÇA, M. O.; FREITAS, E. R.; FERNANDES, J. B. K. Qualidade de ovos comerciais provenientes de poedeiras comerciais armazenados sob diferentes tempos e condições de ambientes. **Arquivos de Veterinaria, Jaboticabal, SP** ,v.24, n.2, 127-133, 2008.

BARRETO, I. M. A.; SOUZA, B. S.; SOUZA, V. C.; CHAVES, M. A. **Efeito da concentração de albumina na estabilidade de espuma de pitanga roxa** (Eugenia uniflora). 2011.

BARUFFALDI, R. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 317p.1998.

BENITES, C. I.; FURTADO, P. B. S.; SEIBEL, N. F. Características e aspectos nutricionais do ovo. In: SOUZ-SOARES, L. A.; SIEWERDT, F. **Aves e ovos**. Pelotas: UFPEL, 2005, p 57-64.

BERARDINELLI, A.; DONATI, V.; GIUNCHI, A.; GUARNIERI, A.; RAGNI, L. Effects of transport vibrations on quality indices of shell eggs. **Biosystems Engineering**, v. 86, n. 4, p. 495-502, 2003.

BERGQUIST, D. H. In: STALDEMAM, W. J.; COTERRIL, O.J. Egg Science and technology. Ed. Avi Publishing Company. New York: **Food Products Press**, cap. 14, p. 335-376, 1994.

BRAKE, J., WALSH, C. E., BENTON, JR., PETITE, J. N., MEIJERHOF, R., PEÑALVA, G. Egg handling and storage. **Poultry science**, v.76, p.144-151, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Portaria n. 01 de 21 de fevereiro de 1990. Normas gerais de inspeção de ovo e derivados. **Diário Oficial da União**. Seção 1, p. 4321. Brasília, DF, 06 mar. 1990.

BERTECHINI, A. G. **Mitos e verdades sobre o ovo e consumo**, 2004. Disponível em:< <http://www.ovoonline.com.br/>>. Acesso em: setembro de 2015.

BOBBIO, P.; BOBBIO, F. **Química do Processamento de Alimentos**. 2^a. ed. São Paulo: Varela, 1992, p.84-86.

BRYGIDYR, A. M.; RZEPECKA, M. A.; MCCONNELL, M. B. Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v. 10. n. 4. p. 313-319. 1977

CAPITANI, C. D. **Interação de proteínas do soro de leite com polissacarídeo: fracionamento e estudo das propriedades funcionais dos complexos**. Campinas-SP: (Dissertação de mestrado). 2004.

CHAVES-MONTES, B. E.; CHPLIN, L.; SCHAER, E. Rheological characterization of wet food foams. **Journal of Texture Studies**, v. 38, p. 236-252, 2007.

CECCHI, H. M. , **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**, 2ª ed. Revisada, Editora Unicamp, Campinas, 2003.

CHRIST, D. **Secagem de clara de ovo em leite de jorro fluidizado bidimensional**. 2006. 180 fl. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)– Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, 2006.

CORRÊA, P.C.; AFONSO JÚNIOR, P.C.; STRINGHETA, P.C.; CARDOSO, J.B. Equilíbrio higroscópico e atividade de água para ovo integral processado em “spray dryer”. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.15-22, 2002.

CRUZ, W. F.. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. Dissertação de Mestrado. Viçosa, MG, 2013.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat drying** .Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010. 100 f.

DENCH, J. E.; RIVAS, R. N.; CAYGILL, J. C. Selected functional properties of sesame (*Sesamun indicum* L.) flour and two protein isolates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.32, n.6, p.557-564, 1981.

DEMIREL, D.; TURHAN, M. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices. **Journal of Food Engineering**, n.59, p.1-11, 2003.

DIVAIR, C. Secagem de clara de ovo em leite de jorro fluidizado bidimensional. **Tese de doutorado**. UNICAMP. Campinas- SP, 2006. 180p.

DOMINGUES, A. et al., Caracterização das propriedades físicas do suco de abacaxi (*Ananás comosus*) em pó desidratado por spray-dryer otimizado através da análise de suporte de superfície de resposta. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais...**Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2002. p. 1717-1720.

DZAZIO, C. H.; MACEDO, D. C.; FLORÊNCIO, F.; COSTA, J. A.; ANJOS, M. M.; SCHEMIN, M. H. C.; OLIVEIRA, M. C. S.; LEAL, E. S.; ALEMIDA, J. V. P. Batata (*Polymnias onchifolia*) desidratada em estufa e pelo método “foam-mat”. **Revista Brasil Alimentos**, n. 38, p. 6, 2007.

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

FELLOWS, P. **Tecnologia Del procesado de los alimentos: principios e practicas**. Zaragoza: Ed. Acribia, 1994. 549p.

FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1993, p. 931-959.

FIGUEIREDO, T. C. **Influência das condições e do período de armazenamento nas características físico-químicas, microbiológicas e nos níveis de aminas bioativas em ovos para exportação**. Escola de Veterinária da UFMG .Belo Horizonte, 2012. 113 p.

FRANCO, B.D.G.M., LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Ed.Atheneu, 1996. 182p.

FRANKE, K.; KIEBLING, M. Influence of spray drying conditions on functionality of dried whole egg. **Journal of the Science of Food and Agriculture**.n. 82, p. 1837-1841. 2002.

FRAZIER, W. C. WEESTHOFF, D.C **Microbiologia de los Alimentos**. 4. ed. Zaragoza: Ed. Acríbia, 1993. 522 p.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de seriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.9 - 14, 2010.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008. 511p.,

GAVA, A. J. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Nobel, 284p. 1984.

GRISWOLD, R. M. **Estudo experimental dos alimentos**. Rio de Janeiro: Ed. Edgard Blücher, 1972. 469p.

GUEDES, P. P., **Coordenação e desempenho da cadeia avícola** Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/?/artigos/2003/artigo-2003-n031.html>>. Acesso em: 19 de outubro de 2015.

GUERREIRO, L. **Massas alimentícias** - dossiê técnico, REDETEC- Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Setembro, 2006. 40 p.

GURJÃO, K. C. O. **Desenvolvimento, armazenamento e secagem de tamarindo (*Tamarindus indica* L.)**. 2006. 165 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

HAMMERSHOJ, M.; PETERS, L. V. e ANDERSEN, H. J. 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, n.9, p.1039-1048, 2004.

HAWLANDER, M. N. A.; UDINN, M. S.; HD, J. C.; Drying characteristics os tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 14, p. 259-268. 1991

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE**, Estatística da Produção Pecuária - Produção de Ovos de Galinha, 2015.

KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. Foam-mat drying of star fruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

KOVACS-NOLAN, J.; MARSHALL, P.; MINE, Y. Advances in value of eggs and egg components for human health. **Journal of agricultural and food chemistry**, n.53.p 8421-8431, 2005.

LABUZA, T. P., Technology improves on the sun. **Food Technol-Chicago** v.30, n.6, p. 37-46, 1976.

LAU, K.; DICKINSON, E. Structural and Rheological Properties of Aerated High Sugar Systems Containing Egg Albumen. **Journal of Food Science**, v.69, n.5, p.232 – 239, 2004.

LEE, W. C. e CHEN, T. C. Effects of drying temperature and desugarization on gelation characteristics of egg white solids. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.23, n.4, p.349-353, 1999.

LINDEN, G.; LORIENT, D. **Bioquímica Agroindustrial. Revalorización Alimentaria de La producción agrícola**. Zaragoza: Acribia, 1996. p.43-163.

MARITNS, S. S. Situação e perspectiva da avicultura de postura. **Informações Econômicas**. v.32, n. 12, p. 48-52, 2002.

MARQUES, G. M. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga. 2009. 84 f

MAYTA, S.M.A.; MASSARANI, G.; PINTO, J.C. Modeling of grain drying in continuous cross-flow sliding bed dryers. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v.74, 1996.

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.

MIQUELIM, J. N. M669 A. **Avaliação reológica e microscópica de espumas tipo marshmallow**. São Paulo, 2010. 116p.

MLEKO, S.; KRISTINSSON, H. G.; GUSTAW, W. Rheological properties of foams generated from egg albumin after pH treatment. **LWT – Food Science and Technology**, v. 40, p. 908-914, 2007.

MORGAN, A. I. Jr; GINETTE, L. F.; RANDALL, J. M.; GRAHAM, R. P.; Technique for improving instant foods. **Food Engineering**, v.31, n.9, p.89-94. 1959.

MORENG, R. E. E AVENS, J. S. Efeito do tratamento térmico de ovos inteiros na perda de peso e características de qualidade interna. **Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária)**. Niterói, RJ. 1990, 74 p.

MUJUMDAR, A. S. Spout ed bed technology - A brie freview. São Carlos, **Anais do X Encontro sobre Escoamento de Meios Porosos**. v.2, 1995.

MULLER, H.G.; TOBIN, G. **Nutrición y ciencia de los alimentos**. Zaragoza: Acribia. 1996. p. 221-226.

OLIVEIRA, C. A., **Estudo da secagem em leito de jorro, com condições operacionais intermitentes, de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade “carioca”**. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado, 1999. 144p.

ORNELLAS, L.H. **Técnica dietética, seleção e preparo de alimentos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ed. Atheneu, 2001. 330p.

PELAEZ, R.; LEON, D.; PERALTA, G.; COELHO, J.R. **Ovoproducto – transformación industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Pontificia Universidad Catolicadel Perú, Lima, 2003. 137p.

PROUDLOVE, K. **Os alimentos em debate: uma visão equilibrada**. São Paulo: Varela. 1996. p.108-111.

RAHARITSIFA, N.; GENOVES, D. B.; RATTI, C. Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methyl cellulose. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 3, p. 142-151, 2006.

RAIKOS, V.; CAMPBELL, L.; EUSTON, S. R. Effectas of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. **Food Research International**, v. 40, p. 347-355, 2007.

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

RAPHAEL, M.; ROHANI, S. On-line estimation of solids concentrations and mean particle size using a turbidimetry method. **Powder Technology**, n. 89, p. 157-163, 1996.

RATTI, C ; KUDRA, T. **Process and energy optimization in drying of foamed materials**.v.14, n.4, 2008.

RÊGO, I. O. P.; CANÇADO, S.V; FIGUEIREDO, T.C.; MENEZES, L.D.M.; OLIVEIRA, D.D.; LIMA, A.L.; ALDEIRA,L.G.M.; ESSER, L.R. Influência do período

de armazenamento na qualidade do ovo integral pasteurizado refrigerado. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 64, n.3, p.735-742. 2012.

ROMERO-PEÑA, L. M., **Estudo de pré-tratamento para a obtenção de tomate desidratado em fatias**. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado, 1999. 129p.

SALINAS, R.D. **Alimentos e nutrição: introdução à bromatologia**. 3. ed. São Paulo: Ed. Artmed, 2002. 278 p.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behavior of ripe bananas. **Lebens mittel Wissens chaftundTechnologie**, London, v. 37, n. 1, p. 217-525, 2004.

SANTOS, F. B. F. **Obtenção de Cebola Seca Utilizando Pré-tratamento por Secagem Osmótica em Misturas de Solutos**. UFSC: Florianópolis, 1998.

SCATOLINI-SILVA, BORBA, GIAMPIETRO-GANECO, SOUZA, BOIAGO, MELLO E VAZ, Qualidade física de ovos armazenados em diferentes condições de embalagens sob temperatura ambiente. **Archivos de zootecnia** vol. 62, núm. 238, 2013, p. 254.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações e modificações**. Ed. Livraria Varela. São Paulo, 1996. 520p.

SEIBEL, N. F. **Transformações bioquímicas durante o processamento do ovo**. In: SOUZA-SOARES, L. A.; SIEWERDT, F. Aves e ovos. Pelotas: UFPEL, 2005, p 77-90

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciênc. agrotec.**, vol.32, n.6, p.1899-1905, 2008.

SILVA FILHO, E. D. **Obtenção e avaliação da qualidade da polpa da manga CV. Haden em pó, pelo método de secagem em camada de espuma**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Campina Grande, 2012

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leite de espuma** (Dissertação – Mestrado em Engenharia de Processos de Alimentos). . Itapetinga, BA: UESB, 2009.

SOARES, E.C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; Silva, A. Jr.;FILHO, M. S. S. Desidratação da polpa de acerola *Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo “Foam-mat”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOHOVOS. Disponível em: <<http://www.sohovos.com.br/portugues/index.htm>>. Acesso em: 28 de setembro de 2014.

SOUZA-SOARES, L.A.; SIEWERDT, F. **Aves e ovos**. Pelotas: Ed. UFPEL, 2005. 119p.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*theobroma grandiflorum*)**. Itapetinga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2011. 67 fl.

STADELMAN, W.J.; COTERRIL, O. J. **Egg Science and Technology**. 2. ed. New York: Ed. Avi Publishing Company, 1995. 591p.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, Applications and Design**. Gordon na Breach Science Publishers, 1986.

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SIQUEIRA, E. T. F. **Desidratação de frutas**. Campinas: CETEA/ITAL, 40 p. 2001.

THUWA PANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, 86, 573–583, 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA): **Food Safety and Inspection Service**. Disponível em:<<http://www.fsis.usda.gov>>. Acesso em: 19 de setembro de 2014.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN, A. I. **Food dehydration** . 2. ed. Westport: The Avi Publishing, 1964. v. 2, 721 p.

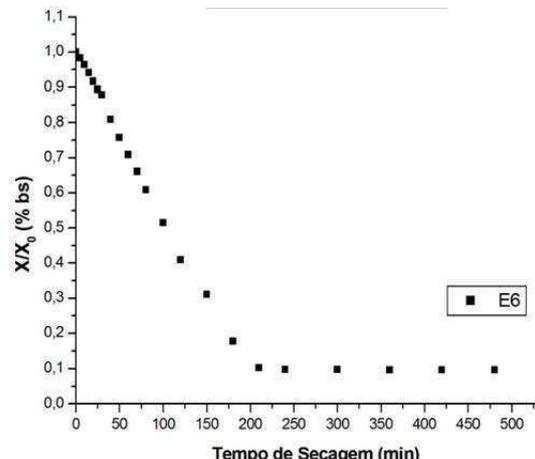
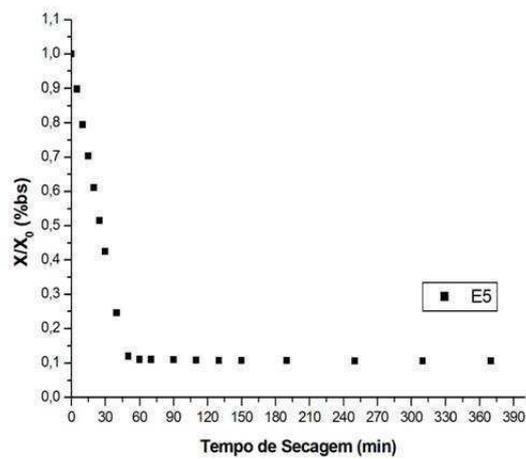
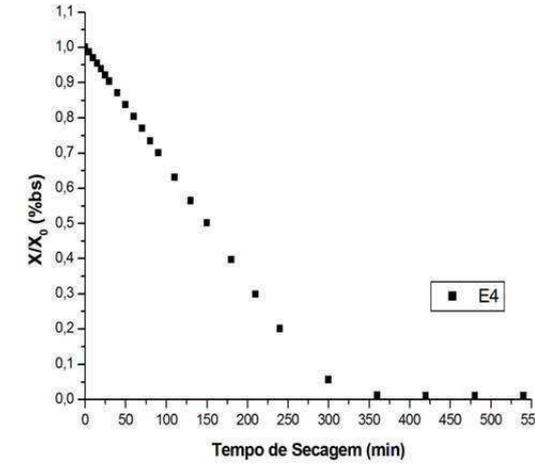
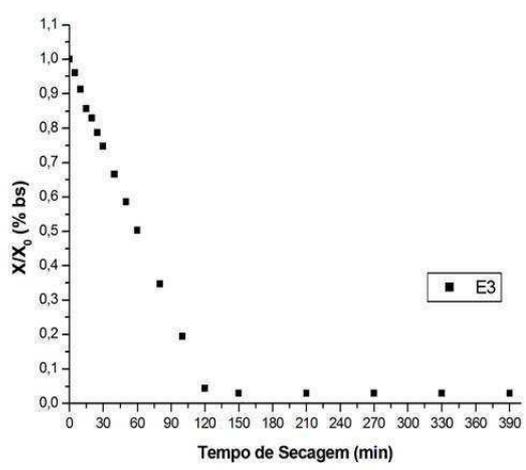
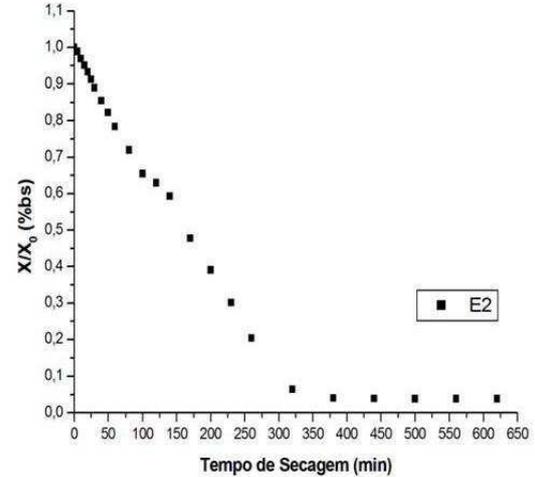
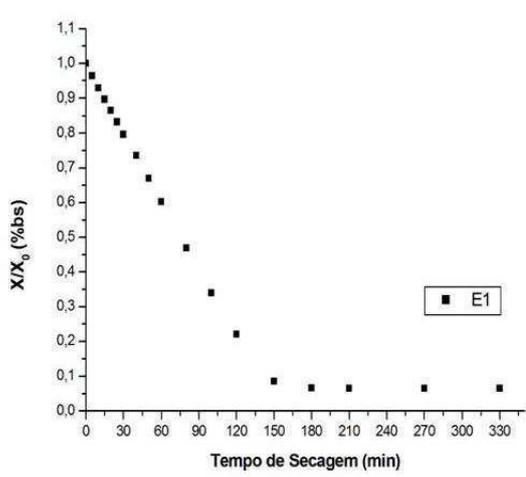
VEGA-MERCADO, H.; GONGORA-NIETO, M. M. e BARBOSA-CANOVAS, G. V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, v.49, n.4, p.271-289, 2001.

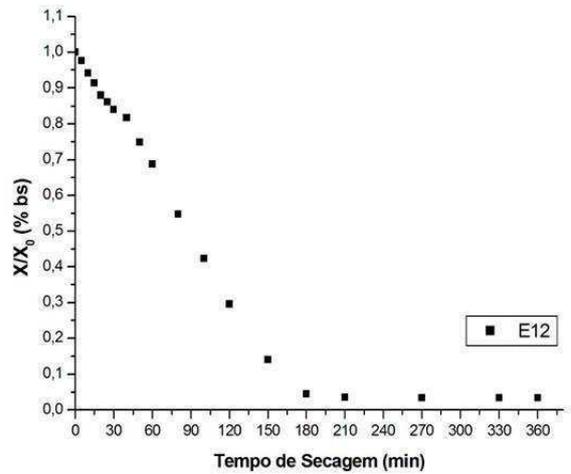
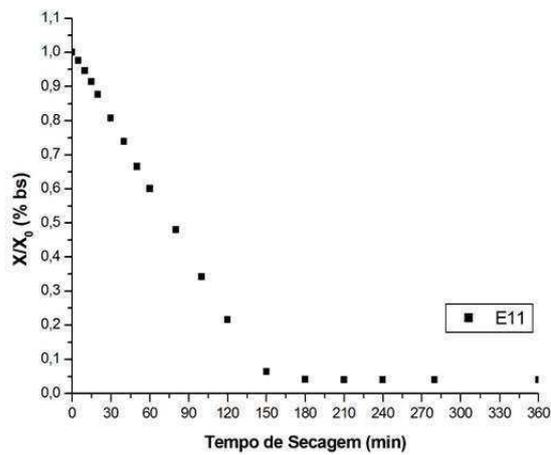
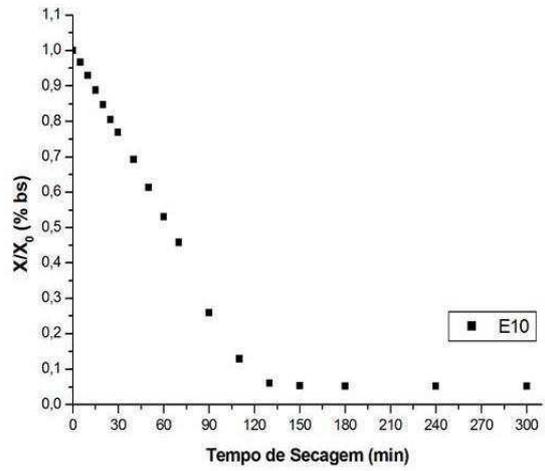
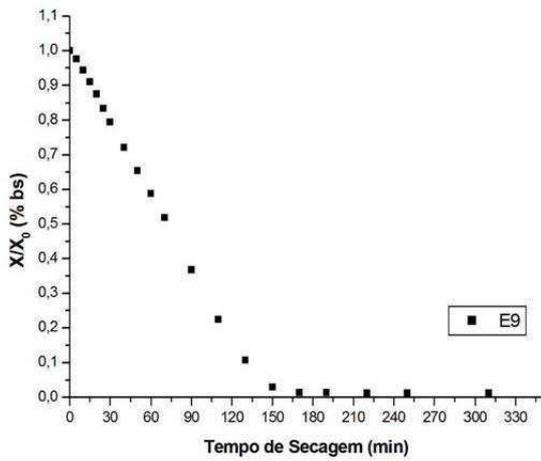
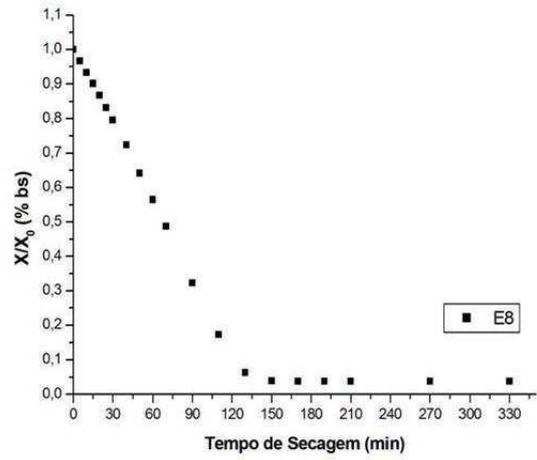
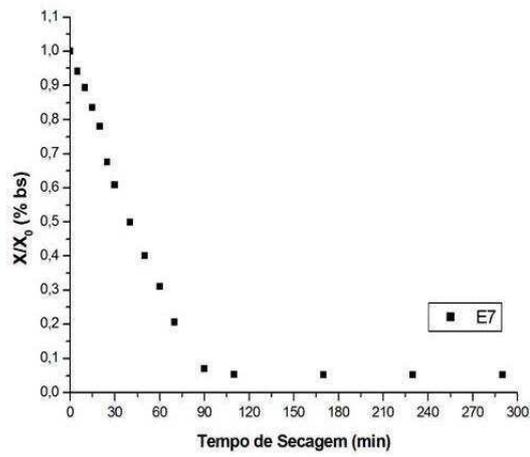
VIEIRA, E.C. Os valores do ovo. **Avicultura Industrial**, v.90, p.17-19, mar., 2000.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M. ; TODA, J.; WADA, T.; ISHII, K. Whipping and emulsifying properties of soybean products. **Agricultural and Biological Chemistry**, Tokyo, v.36, n.5, p.719-727, maio/1972.

APÊNDICE A

1. Curvas da cinética de secagem do ovo da variedade capoeira





2. Curvas da cinética de secagem do ovo da variedade granja

