



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE  
UNIDADE ACADÊMICA DE SAÚDE  
CURSO DE BACHARELADO EM FARMÁCIA

FRANCIELLY RAMOS DE MACEDO

**ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM DE CASCA DE OVO:  
DESENVOLVIMENTO DE UM ADSORVENTE**

CUITÉ – PB

2016

FRANCIELLY RAMOS DE MACEDO

**ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM DE CASCA DE OVO:  
DESENVOLVIMENTO DE UM ADSORVENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Bacharelado em Farmácia do  
Centro de Educação e Saúde da Universidade Federal de  
Campina Grande – Campus Cuité, com requisito para  
obtenção do título de Bacharel em Farmácia.

Orientador:

Professor Dr. Wellington Sabino Adriano

CUITÉ – PB

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA NA FONTE  
Responsabilidade Msc. Jesiel Ferreira Gomes – CRB 15 – 256

M151e Macedo, Francielly Ramos de.

Estudo da otimização da secagem de casca de ovo: desenvolvimento de um adsorvente. / Francielly Ramos de Macedo. – Cuité: CES, 2016.

39 fl.

Monografia (Curso de Graduação em Farmácia) – Centro de Educação e Saúde / UFCG, 2016.

Orientador: Dr. Wellington Sabino Adriano.

1. Casca de ovo. 2. Secagem. 3. Adsorvente. I. Título.

Biblioteca do CES - UFCG

CDU 613.286

FRANCIELLY RAMOS DE MACEDO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Farmácia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), para obtenção do grau de bacharelado em Farmácia.

Aprovada em 12/09/2016

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Wellington Sabino Adriano (Orientador)

UFCG/CES/UAS

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Júlia Beatriz Pereira de Souza

UFCG/CES/UAS

---

Msc. Anderson Angel Vieira Pinheiro

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha mãe e meu irmão, e a minha amiga Thalyta Mangueira cuja ajuda foi indispensável para a realização do mesmo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, por Sua vontade, por guiar-me sempre e por Ser socorro bem presente nos momentos de angústia.

A minha mãe Alcinete, pelo apoio incondicional, pelos sacrifícios, pela sabedoria transmitida a mim, pelo estímulo para seguir em frente, paciência, amor, compreensão e dedicação. Peço desculpa pela ausência e agradeço-lhe por manter-se firme.

Ao meu pai Francinaldo pela compreensão, pelo apoio e amor.

Ao meu irmão Francinildo pelo apoio moral, ombro amigo e por todas as vezes que se sacrificou, aguentando injúrias calado para que eu pudesse estar aqui. Quero que saiba que te amo e que és o melhor irmão do mundo.

A minha irmã, Adna, pelo carinho e pelos momentos de descontração.

Sem dúvidas, sem o apoio e amor de vocês, minha família, nada seria possível.

Ao meu orientador Wellington Adriano por aceitar orientar-me, por ser paciente e ser um exemplo de integridade e amor a profissão.

Aos meus professores que me guiaram ao longo desses anos, especialmente a Wylly que, com seu exemplo e suas palavras de apoio, motivou-me a continuar, quando eu pensei em desistir. A Paulo Sérgio que acreditou, em minha capacidade e que a reconheceu quando nem eu mesma acreditava que possuía. Aos demais cujo nomes não foram citados, mas que eu guardo cada lição num lugar especial dentro de mim, meu muito obrigada.

A Universidade Federal de Campina Grande pelo crescimento acadêmico, pelos conhecimentos adquiridos.

A Thalyta Manguiera que começou esse trabalho junto comigo. Obrigada, Thalyta, por ser mais que uma amiga, por ser minha irmã de outra casa. Pelos cafés na madrugada, pelas noites viradas de estudos, pelo apoio, por sua amizade fiel. Torço muito por você, e se há alguém que eu desejo a felicidade plena, essa pessoa é você. Infinitamente grata.

A Graciete Balbino, pelo companheirismo, pelo apoio, pelos momentos de estresse e comédia, por me impulsionar a quebrar meus limites, infinitamente grata!

A Paola Batista, pelos conselhos e pela maturidade para suportar minha infantilidade, pelo ombro amigo, pelas palavras de apoio e por nunca desistir de mim, agradeço-te infinitamente.

A Tiago Queiroz, meu melhor amigo, por toda paciência e dedicação, meu eterno detentor de segredos, sou grata por tudo que você faz por mim, e por Deus ter permitido tê-lo em minha vida.

Aos amores que por aqui passaram, meus sinceros agradecimentos. Pela paciência, pelo carinho, pela doçura que conferiram aos meus dias e pelo tempo a mim dedicado. Aproveito e

peço perdão por não ter sido aquilo que vocês esperavam de mim, e agradeço por me permitirem ser exatamente quem sou.

A família Residência Universitária UFCG campus Cuité que são os irmãos que a vida me deu fora de casa, em especial a Carlos, Wilma, Fernanda, Jaqueline, Kauan, Morgana, Iara e outros que por aqui passaram e deixaram um pouco de si.

A família Realfight BJJ, onde eu encontrei apoio, amizade, companheirismo, pelos treinos e conversas no tatame, pelas brincadeiras e descontração nos momentos de estresse. Meus irmãos de pano, obrigada por me acolher, mesmo quando eu não me sentia parte da família. A pessoa de Mestre Ítalo Ratão, que foi um segundo pai para mim, que me aconselhou, apoiou e me deu uns puxões de orelha quando eu estava prestes a desmoronar. Meu muitíssimo obrigada!

A minha tia, Selma pelo amor, carinho e auxílio, por ser minha segunda mãe e por colocar em minha vida, meus adorados primos Ieda e Ítalo, os quais considero como amigos, e irmãos!

Aos amigos Tulio Antunes, Heitor Meira. Daysio Sidney e Euda Vivianne pelo auxílio e solicitude nas horas de dificuldade.

Muito grata!

*“Até que eu pudesse dizer isso tudo a sorrir, para mim, foi preciso, no mínimo, um litro de lágrimas”.*

*Aya Kitō*



## RESUMO

A casca de ovo é um resíduo abundante no nosso país e pode ser utilizado de forma alternativa para diversas finalidades, desde a suplementação de cálcio na alimentação, até o desenvolvimento de bioadsorventes do carbonato de cálcio proveniente dessa matéria. No desenvolvimento de um adsorvente a partir desse material, é feita a operação de secagem, sendo esta influenciada por diversos fatores. Assim, o presente trabalho teve como objetivo traçar e avaliar o perfil de secagem de casca de ovos, com finalidade de utilizá-la como um adsorvente na indústria farmacêutica e/ou alimentícia, elucidando quais os parâmetros que melhor influenciaram na sua secagem. As cascas foram obtidas na Residência Universitária UFCG - Campus Cuité, secas previamente de forma *in natura*, foram pulverizadas e separadas por tamanho de partículas, depois submetidas a secagem na mufla a partir de um modelo experimental em duplicata, baseado num planejamento fatorial  $2^3$ , tendo como variáveis a serem analisadas: temperatura (200°C e 400°C), massa da amostra (2g e 4g) e tamanho de partícula (maior e menor). Os resultados obtidos foram submetidos a um tratamento estatístico no Software Statistica ® possibilitando a obtenção da dependência da resposta da massa de água perdida, podendo-se observar que a temperatura e a massa da amostra, assim como a interação entre essas variáveis foram estatisticamente significativas. Já o tamanho de partícula, como também a interação da sua variável com as demais, não se mostrou estatisticamente significativos no estudo. Os resultados foram satisfatórios, os experimentos se adequaram de forma positiva ao modelo estatístico e apresentaram boa reprodutibilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Casca de ovo; secagem; otimização; adsorvente; planejamento fatorial.

## **ABSTRACT**

The eggshell is an abundant waste in our country and it can be used alternatively for a variety of purposes, from calcium supplementation in the diet, until the development of bioadsorbentes of calcium carbonate from the same. In the development of an adsorbent from that material, the drying operation is performed which is influenced by several factors. In this context, the present work aimed to draw and to evaluate the drying profile of eggshells in order to use it as an adsorbent in the pharmaceutical industry and/or food, clarifying which parameters best influence on the drying of the same. The shells were obtained from The university residence of Federal University of Campina Grande, campus Cuité, previously dried of natura form, they were milled and separated by particle size, then subjected to drying in the furnace from an experimental model in duplicate, based on a factorial planning  $2^3$ , having as variables to be analyzed, the sample mass (2g and 4g), temperature (200°C and 400°C) and particle size (major and minor). The results obtained were subjected to statistical treatment in Software Statistica ® allowing to obtention the dependence of the response of the mass of lost water, and it can be observed that the temperature and the mass of the sample, as well as the interaction between these variables were statistically significant. On other hand, the size of particle, as well as the interaction of this variable with the others, were not statistically significant in this study. The results were satisfactory, the experiments were positively adequate to the statistical model and showed relevant reproducibility.

**KEYWORDS:** eggshell; drying; optimization; adsorbent; factorial planning.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Curva típica da taxa de secagem em função do teor de umidade .....	16
<b>Figura 2:</b> classificação dos secadores baseada no método de operação.....	21
<b>Figura 3:</b> Classificação dos secadores baseada na forma física da alimentação .....	22
<b>Figura 4:</b> Classificação dos secadores baseada na escala de produção.....	22
<b>Figura 5:</b> Classificação dos secadores baseada em projetos especiais.....	23
<b>Figura 6:</b> Gráfico de Pareto demonstrando que a temperatura, a massa e a relação temperatura-massa foram os únicos parâmetros significativos .....	30
<b>Figura 7:</b> Representação da regressão linear para a correlação entre os valores observados e os valores preditos.....	31
<b>Figura 8:</b> Diagrama para interpretação dos efeitos de interação da temperatura, massa e tamanho de partícula .....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Quadro 1:</b> Critérios para classificação de secadores.....	20
<b>Tabela 1:</b> - Determinação do tamanho, massa do material a ser secado e temperatura em que procederá a secagem.....	26
<b>Tabela 2:</b> Matriz experimental e resultados obtidos através do planejamento fatorial $2^3$ , sendo T (temperatura em °C), Tamanho (tamanho de partícula) e Massa (g). ....	28
<b>Tabela 3:</b> Efeitos estimados para o planejamento fatorial $2^3$ , sendo (A) temperatura, (B) Massa da amostra (C). ....	29
<b>Tabela 4:</b> Análise de significância do planejamento fatorial $2^3$ com duplicata.....	33

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS .....	14
2.1. Objetivo geral.....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
3.1. Cascas de Ovos.....	15
3.2. Secagem .....	15
3.2.1 Taxa de secagem .....	16
3.2.2 Tipos de Secagem.....	18
3.2.3. Tipos de secadores .....	20
3.3. Adsorção .....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	25
4.1. Materiais.....	25
4.1.1. Cascas de Ovos.....	25
4.1.2. Moagem e separação .....	25
4.1.3. Secagem .....	25
4.2. Métodos.....	25
4.2.1. Coleta das cascas.....	25
4.2.2. Moagem e separação .....	26
4.2.3. Secagem .....	26
4.2.4. Tratamento dos dados.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
5.1. Dificuldades e possíveis erros experimentais.....	33
6. CONCLUSÃO .....	35
REFERÊNCIAS .....	36

## 1. INTRODUÇÃO

Os ovos são uma excelente fonte de proteínas e vitaminas, além de ser um alimento de baixo custo, disponível às populações de baixa renda.

A produção de ovos com qualidade contribui para sua maior aceitação no mercado consumidor. As características externas, como peso, cor, integridade da casca e uniformidade, assim como a manutenção da qualidade interna do ovo devem ser consideradas no processo de produção (MENDES et al. 2014).

A indústria de produtos e derivados de ovo produz atualmente uma quantidade significativa de cascas de ovos que é considerada como um subproduto de origem animal não destinado ao consumo humano. Esse subproduto, constituído por 94% de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), é muitas vezes depositado em aterros como destino final, apesar de haver uma possibilidade de reutilização desse resíduo, seja como removedor de corantes por meio de adsorção, ou como incorporação no solo e preparação de alimentos para animais (MAGALHÃES et al., 2011).

A adsorção é um fenômeno físico-químico de superfície formada por duas fases imiscíveis em que ocorre uma transferência de massa presente no fluido, seja ele um líquido ou um gás para a superfície do sólido, permitindo separá-las dos demais componentes do fluido (DIAS, 2012).

O termo secagem pode ser utilizado para a denominação da transferência de um líquido que está num sólido molhado para uma fase gasosa não saturada, podendo ser influenciado pelo próprio sólido (FOUST et al. 1982). A Secagem também pode ser descrita como a transferência simultânea de calor e massa (umidade) entre o material e o ar de secagem. (COSTA, 2008)

Segundo Heldman & Hartel (2000), dentre os fatores que influenciam a secagem, geralmente estão relacionados às condições de processo do material e a natureza do material submetido aos processos, dentre os relacionados às condições de secagem estão a temperatura, a velocidade do ar e a umidade relativa.

A temperatura é um fator importante durante a secagem, pois quando ela aumenta, conseqüentemente a taxa de secagem aumentará. No processo, a temperatura eleva a

transferência de calor na fase de taxa constante. Com esse aumento, há uma diminuição da umidade relativa do ar, elevando então o gradiente de umidade que facilita a secagem. Durante a fase de taxa de secagem decrescente, a temperatura está relacionada com a migração interna, mas se houver uma elevação de temperatura, é possível causar danos ou mudanças indesejáveis ao produto que se quer secar (GUIMARÃES, 2010).

A umidade relativa é determinante para o gradiente de umidade, grande responsável pela transferência de massa na superfície do produto a ser processado. Como a umidade relativa é um fator externo, influencia apenas na fase de taxa de secagem constante. (HELDMAN; HARTEL, 2000).

Segundo Geankoplis (1993, apud GUIMARÃES, 2010) “A velocidade do ar influencia a taxa de secagem, pois quando ocorre o aumento da velocidade de ar de secagem, a taxa de transferência de massa por convecção é aumentada”.

Segundo Cardoso (2010 apud SILVA et al., 2015), o resíduo de casca de ovo “vem sendo aplicado na agricultura, com a finalidade de corrigir o pH em solos ácidos, em suplementos alimentares, como fertilizantes, e como bioadsorventes.”

Desta forma, pretende-se, neste trabalho, avaliar o perfil de secagem de cascas de ovos, otimizando o tratamento delas, com base no tamanho de partícula, massa e temperatura a que essas cascas serão submetidas, a fim de usá-las como um adsorvente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Traçar e avaliar o perfil de secagem de casca de ovo de galináceos com a finalidade de usá-la como adsorvente na indústria farmacêutica e/ ou de alimentos.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar o perfil de secagem de cascas de ovos com relação a massa da amostra, temperatura e tamanho de partícula;
- Caracterizar o perfil de secagem utilizando variação de temperatura;
- Determinar os parâmetros que melhor influenciam na secagem das cascas.



### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. Cascas de Ovos**

A casca de ovo consiste em 95% de minerais, sendo a grande maioria cálcio, seguida por fósforo e magnésio. A composição orgânica é constituída de proteínas, ácidos graxos e polissacarídeos ricos em moléculas sulfatadas. (ESKIN, 2015). É formada por uma matriz de fibras entrelaçadas de natureza proteica e cristais de carbonato de cálcio intersticiais. Além disso, sua superfície é coberta por uma cutícula de natureza proteica (ORDÓÑEZ et al, 2005).

Essa matriz é a parte que confere resistência à casca. Ela é transcorrida por inúmeros poros em forma de funil, os quais dão lugar aos ductos que conectam as membranas da casca e a cutícula, (poros esses preenchidos por fibras proteicas que evitam a entrada de microrganismo) e inclui-se de duas zonas: a matriz esponjosa e protuberâncias mamilares. (ORDÓÑEZ et al, 2005).

#### **3.2. Secagem**

Secagem é uma operação de conservação que se caracteriza pela remoção térmica de substâncias voláteis (umidade) para a obtenção de um sólido seco (HELDMAN; HARTEL, 2000). Na conservação de alimentos são inúmeras as vantagens que vão desde a preservação desse alimento por longos períodos de tempo, até a preservação de seus componentes.

Mujumdar (1995 apud GUIMARÃES, 2010) discorre que “os processos de secagem são complexos porque envolvem simultaneamente transferência de massa, calor e quantidade de movimento. Durante a secagem, a evaporação da água que foi transportada do interior ocorre na superfície do material”. Durante esse processo, é na superfície do material que ocorre a evaporação da água, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos desse transporte, mais importantes, são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor (PARK et al. 2001).

No processo de secagem, o calor é transferido de um meio de aquecimento externo para o material. A umidade dentro desse material move-se na direção da sua superfície, devido ao gradiente de pressão de vapor entre a superfície e o interior do produto. A umidade é, em seguida, evaporada por o meio de transferência de calor (PARK et al, 2014a).

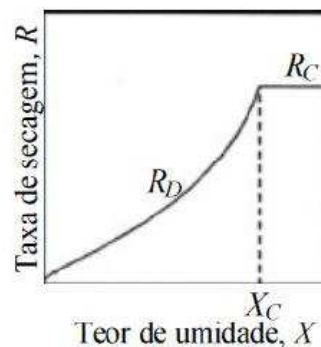
O comportamento de secagem de um sólido úmido, mediante a um gás, a uma temperatura e a uma umidade fixa ocorre sempre de maneira que, após o contato da amostra e o meio secante, a temperatura do sólido se ajusta até atingir um regime permanente. A

temperatura e velocidade de secagem podem aumentar ou diminuir para chegarem às condições desse regime, em que uma prova de medida de temperatura mostra que a temperatura da superfície do sólido molhado é a temperatura do bulbo-úmido do meio secante (FOUST, 1982).

### 3.2.1 Taxa de secagem

A taxa de secagem é a função da diminuição de umidade em função do tempo ( $t$ ). Na figura 1 é demonstrada uma figura típica da taxa de secagem em função da umidade para condições constantes de operação (GUIMARÃES, 2010).

**Figura 1:** Curva típica da taxa de secagem em função do teor de umidade



**Fonte:** (HELDMAN E HARTEL, 2000).

Onde  $R_C$  é o período constante,  $R_D$  é o período de taxa decrescente,  $X_C$  é o teor de umidade crítico.

Os materiais apresentam dois comportamentos diferentes no processo de secagem. No início, a secagem apresenta uma fase constante e depois uma decrescente. A fase constante é caracterizada pela remoção de água livre do produto, onde a transferência de massa e a transferência de calor são equivalentes, tornando então a velocidade de secagem constante. Já a fase decrescente, inicia-se na umidade crítica, sendo governada pela migração interna de umidade, quando a taxa de umidade na superfície é menor, reduzindo então a transferência de massa. (GUIMARÃES, 2010).

Para o período de taxa constante, a superfície do produto permanece saturada, devido à taxa de movimento da umidade no interior do sólido (GUIMARÃES, 2010). À medida que a água é retirada da superfície do sólido, ocorre a migração dessa substância existente nos

interstício da matéria sólida de forma rápida, mantendo a existência do filme constante. (MÖHLER, 2010)

Segundo Heldman e Hartel (2000), a equação que expressa a transferência de calor entre o sólido e o ar de secagem é dada pela equação (Eq.1):

$$q = hA_s(T - T_w) \quad (1)$$

Onde  $h$  é coeficiente de transferência de calor convectivo.  $A_s$  é a área superficial do sólido,  $T_w$  é a temperatura do bulbo úmido, e  $T$  a temperatura do ar de secagem.

Já a secagem no período de taxa constante é representada pela equação (Eq. 2):

$$R_C = K_y P M_{H_2O} (Y_w - y) \quad (2)$$

Onde  $K_y$  é o coeficiente de transferência de massa,  $P M_{H_2O}$  é a massa molar da água,  $y$  é a umidade do ar e  $Y_w$  é umidade em  $T_w$  (HELDMAN E HARTEL, 2000).

Conforme Park (2014a), o período de taxa decrescente é quase sempre o único observado em secagem de produtos agrícolas e alimentícios. É o período descrito pela segunda lei de Fick que correlaciona a umidade do material com o tempo através do coeficiente de difusividade efetiva ( $D_{eff}$ ). (GUIMARÃES, 2010).

Segundo Park (2001), a quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa. Como há uma redução da migração da umidade do interior para a superfície do material, essa redução acaba tornando-se a etapa limitante da fase.

A aplicação da lei de Fick no balanço de conservação de massa é dada pela equação (Eq. 3):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 X \quad (3)$$

Onde  $X$  é o conteúdo de umidade livre, e  $D_{eff}$  é o coeficiente de difusão efetivo da umidade (HELDMAN; HARTEL, 2000). Esta forma de Fick despreza a interdifusão e é simplificada, uma vez que a umidade migra de dentro de uma matriz fixa. A velocidade de troca de calor entre a matéria-prima e o ar pode ser analisada através da difusividade efetiva nas diversas temperaturas de processo, que é expressa pela energia de ativação baseada em uma equação do tipo Arrhenius (PARK, 2001) (Eq.4):

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_0) - \frac{E_a}{R.T} \quad (4)$$

Onde:  $D_{eff}$  é difusividade efetiva (m<sup>2</sup>/s);  $D_0$  é o Fator de Arrhenius (m<sup>2</sup>/s);  $E_a$  representa a energia de ativação (J/mol);  $R$  é a constante universal dos gases (8,1314 J/mol K);  $T$  representa temperatura absoluta (K) (PARK, 2001).

Materiais com baixa porosidade apresentam menores valores de difusividade em baixos teores de umidade. Já os mais porosos apresentam maiores valores de difusividade em baixas umidades (HELDMAN; HARTEL, 2000).

Segundo Heldman e Hartel, (2000 apud GUIMARÃES, 2010) “A dependência funcional da difusividade efetiva com a temperatura é expressa na equação do tipo Arrhenius” (Eq. 5):

$$D_{eff} = D_0 \exp \frac{-E_a}{R_G T} \quad (5)$$

Onde:  $D_0$  é constante,  $E_a$  é a energia de ativação dada por cal.gmol<sup>-1</sup>,  $T$  é a temperatura do ar dada por K, e  $R_G$  é a constante universal dos gases (1,987cal.gmol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>).

Para a escolha do procedimento adequado para a secagem, faz-se necessária uma avaliação dos fatores que influenciam na taxa de secagem, como o tempo e condições de processo, a energia a ser gasta e as propriedades do material a ser seco.

No que diz respeito às condições de processo, a temperatura, a velocidade do ar e a umidade relativa são os principais fatores que influenciam a taxa de secagem. A temperatura é um fator extremamente importante já que com o seu aumento ocorre também o aumento da taxa de secagem. A velocidade do ar aumenta, a taxa de transferência de calor por convecção quando ocorre seu aumento, influenciando apenas na fase de taxa constante. Já a umidade relativa é determinante para o gradiente de umidade, responsável pela transferência de massa na superfície do material. (GUIMARÃES, 2010).

### 3.2.2 Tipos de Secagem

A secagem pode ser classificada quanto ao uso de equipamentos, à periodicidade no fornecimento do calor, e à movimentação de massa dos produtos.

Quanto ao uso de equipamentos podemos classificar em secagem natural e secagem artificial. A secagem natural baseia-se em remoção da umidade através da ação do vento ou pela incidência de radiação solar, processo esse que é limitado pelo clima quando as condições de umidade relativa do ar e temperatura não permitem. É um método de baixo custo, porém lento (GARCIA, 2004).

O modo artificial será aquele em que se emprega artifícios para a aceleração do processo de secagem, seja utilizando equipamentos de caráter laboratorial, como muflas, micro-ondas e estufas, ou equipamentos industriais denominados secadores (LUIZ, 2012).

Nos métodos artificiais, se levarmos em consideração o fluxo do material dentro do secador, é possível classificar os métodos em intermitente e contínuo. Na secagem intermitente o material é colocado em contato com o ar aquecido por períodos curtos, intercalados por períodos sem exposição ao fluxo de ar. Já a secagem contínua é aquela em que se mantém o material em constante movimento no interior do equipamento de secagem. Ele apresenta vantagens de permitir o controle dos fatores fundamentais para a eficiência do processo, como controle da temperatura, fluxo de ar, entre outros (GARCIA, 2004).

Dentre os tipos de secagem, as comumente utilizadas para secagem de alimentos são: secagem com ar quente à pressão atmosférica, processo no qual o ar ambiente é aquecido direta ou indiretamente e passa pelo produto a ser seco de forma contínua. Embora aumente o tempo de conservação do produto, em alguns alimentos tal processo pode comprometer sua qualidade e características organolépticas (LUIZ, 2012).

Outro tipo de secagem comumente utilizado é a secagem em contato com superfície quente, no qual a energia passa por condução da superfície quente de um secador para o material a ser seco. (LUIZ, 2012).

É possível também realizar a secagem a vácuo que é o processo de remoção da umidade do material em baixas pressões. Ela oferece diversas vantagens quando se compara à secagem convencional, pois com a ausência de ar e temperatura inferior aos demais tipos de secagem, promove uma melhor conservação do produto. (REIS, 2011).

Outro tipo de secagem é a secagem a frio em que se promove uma redução de pressão no sistema que gera uma sublimação. A água é evaporada instantaneamente, conservando toda a estrutura do material, porém esse método se torna caro, sendo utilizado apenas para produtos nobres (LUIZ, 2012).

### 3.2.3. Tipos de secadores

Muitos equipamentos foram desenvolvidos ao longo dos anos a fim de obter o melhor resultado ao final do processo, de modo que resultassem em um menor gasto energético e melhor qualidade do produto (MÖHLER, 2010)

Ainda segundo Baker (1997 apud MÖHLER, 2010), “há muitos modelos de equipamentos de secagem para diversas finalidades, (...) devido à existência de inúmeros tipos de substâncias a serem secas, taxa de produção e qualidade final do produto a ser seco”.

Strumillo e Kudra (1986 apud PARK, 2007) discorre que “os secadores podem ser assim divididos (Quadro 1) ” Além deste critério, deve-se considerar também o método de aquecimento do agente de secagem; a forma física da alimentação; se o produto seco é requerido em uma forma especial; se o material é tóxico ou termolábil, etc.

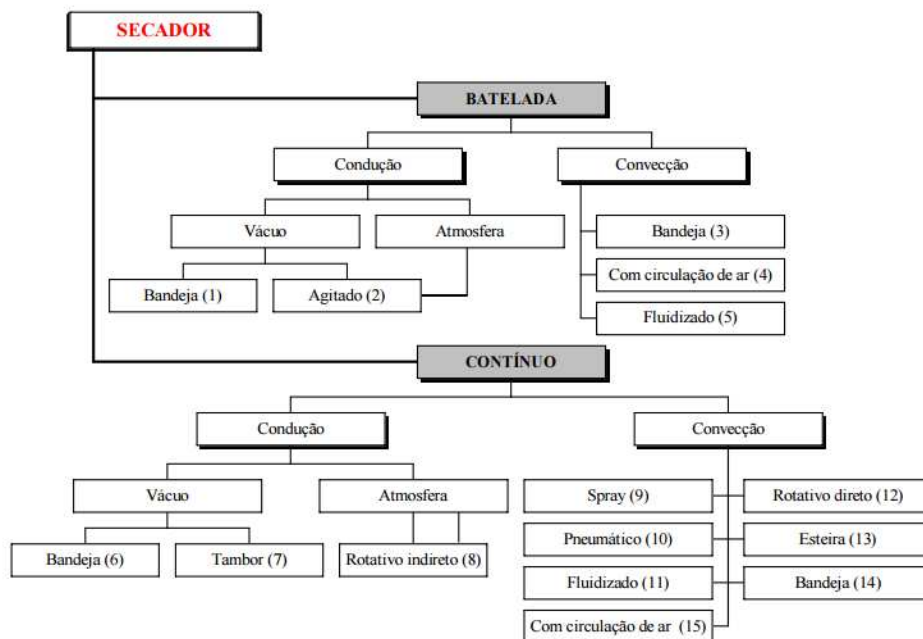
**Quadro 1:** Critérios para classificação de secadores.

<b>Critério para classificação</b>	<b>Exemplo do tipo de secador</b>
Pressão no secador	Atmosférica ou vácuo
Método de operação	Contínua ou em batelada
Método de suprir calor	Convecção, contato, infravermelho, dielétrico e sublimação.
Tipo do agente de secagem	Ar quente, vapor superaquecido, líquidos aquecidos e gases rejeitados.
Direção do fluxo de calor e sólidos	Co-corrente, contracorrente e fluxo cruzado.
Método do fluxo do agente de secagem	Livre ou forçado
Método do carregamento da umidade	Com agente externo de secagem, com gás inerte, com absorção química da umidade.
Forma do Material úmido	Líquidos, granulares, pós, pastas, folhas, camadas finas, lama.
Tipo do fluxo do material (condição hidrodinâmica)	Regime estacionário, transiente ou disperso.
Escala de operação	De 10 kg/h até 100 ton/h
Construção do secador	Bandejas, túnel, esteira, tambor, rotatório, leito fluidizado e muitos outros.

Fonte: Strumillo; Kudra (1986 apud PARK, 2007).

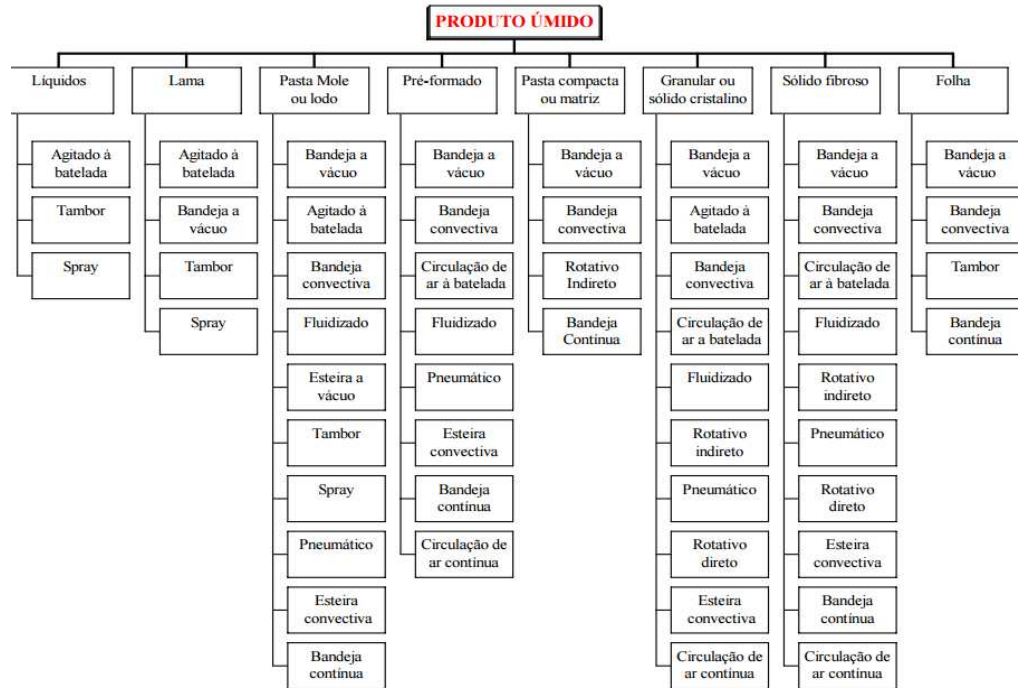
Nonhebel e Moss (1971 apud PARK, 2007) classifica os secadores “segundo o método de operação (Figura 2), a forma física da alimentação (Figura 3), a escala da operação (Figura 4) e projetos especiais (Figura 5).”.

**Figura 2** – classificação dos secadores baseada no método de operação



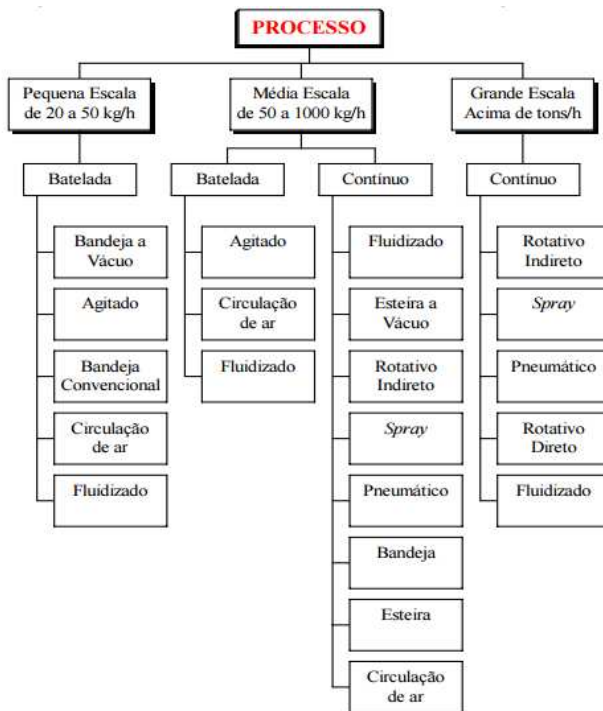
Fonte: PARK,2007.

**Figura 3** - Classificação dos secadores baseada na forma física da alimentação



Fonte: PARK, 2007.

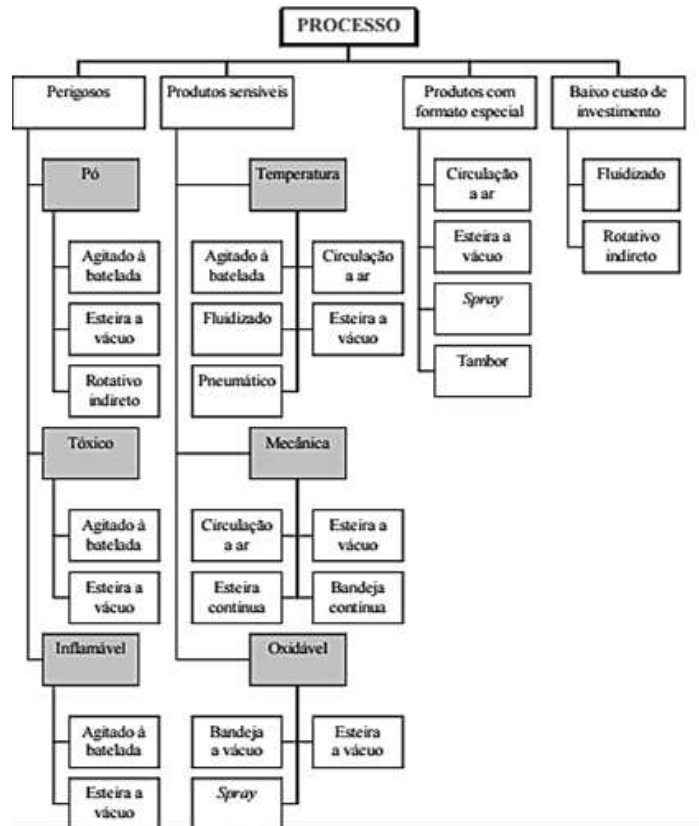
**Figura 4** - Classificação dos secadores baseada na escala de produção.



Fonte: PARK, 2007.



**Figura 5** - Classificação dos secadores baseada em projetos especiais.



**Fonte:** PARK, 2007.

Os principais tipos de secadores, baseados no regime hidrodinâmico, são classificados como: secadores com leito estacionário, onde o material pode ser considerado como estacionário enquanto o calor é fornecido e a água é removida; secadores com leito móvel, nos quais o leito de partículas se move devido à gravidade e/ou forças mecânicas; secadores com leito de queda livre, nos quais o leito ou as partículas individuais caem através do ar relativamente parado, devido às forças gravitacionais (PARK, 2007).

Park (2007) ainda destaca o que são denominados secadores com regime hidrodinâmico ativo, aqueles nos quais a agitação do leito ou das partículas é causada por uma força hidrodinâmica exercida sobre as partículas por uma corrente de ar com uma velocidade ajustada. Entre eles estão os secadores com leito fluidizado, secadores com leito agitado e os secadores com leito escoante. No primeiro a interação entre material a ser seco e a corrente de ar cria um leito fluidizado típico ou um leito de fluidização rápida: devido à sua baixa densidade, as partículas secas são removidas pela corrente de ar. No segundo, o material a ser seco é agitado mecanicamente no leito do secador através da rotação ou vibração do leito do secador ou através

de um agitador propriamente dito. Já o terceiro, as partículas do material que está sendo seco fluem juntamente com a corrente de ar.

Os secadores fluxos concorrentes são aqueles em que os grãos e o ar fluem no mesmo sentido. O ar mais quente encontra o grão mais úmido e a alta taxa de evaporação resfria rapidamente o ar. E por último, os secadores de fluxos contracorrentes que age oposto ao fluxo concorrente, onde o ar passa pela massa de grãos pelo sentido oposto a eles. Nesse caso, à medida que o material desce a coluna, a temperatura aumenta (MÖHLER, 2010).

Park (2007) discute que para a secagem de matérias agrícolas é geralmente utilizados secadores de leito fixo, cuja caracterização ocorre pela passagem forçada de ar pelos grãos imóveis, porém não apresenta eficácia devido à limitação da área de secagem. Secadores de fluxos cruzados, bastante utilizados, expulsam para o exterior o ar saturado na primeira fase de secagem. O ar das próximas fases então é misturado ao que passa pela zona de resfriamento e reaquecido para ser reutilizado.

### **3.3.Adsorção**

A adsorção é um fenômeno físico-químico de superfície, formada por duas fases imiscíveis em que ocorre uma transferência de massa presente no fluido (líquido ou gás) para a superfície do sólido, permitindo separá-las dos demais componente do fluido. (DIAS, 2012).

O soluto adsorvido não se dissolve no sólido, mas permanece na superfície do sólido ou nos poros do mesmo. O processo de adsorção é na maioria das vezes reversível, de modo que a modificação da pressão, ou da temperatura pode provocar a fácil remoção do soluto adsorvido (FOUST,1982).

Durante o processo de adsorção o constituinte de uma das fases que pode estar no estado líquido ou gasoso(fluidos), é transferido superficialmente para a fase sólida, sendo que as substâncias que se unem à superfície da fase sólida são denominadas adsorbatos, enquanto que a fase sólida a qual recebe essas substâncias é chamada de adsorvente (CRUZ JUNIOR, 2010).

Os sólidos adsorventes devem ter características de pequena queda de pressão e boa resistência mecânica para suportar o manuseio. Além disso, os adsorventes são seletivos

quanto à capacidade de adsorverem solutos específicos. Por isso a natureza do sólido deve ser cuidadosamente ponderada para que se tenha a segurança e um desempenho satisfatório (FOUST, 1982).

Segundo estudos feitos por Silva e colaboradores (2008), a casca de ovo mostrou-se um adsorvente eficiente na remoção do corante azul de metileno, sendo ele mais eficaz que outros bioadsorventes comparados no estudo.

O pó do carbonato de cálcio obtido da casca de ovo pode ser utilizado como agente de remoção de metais pesados em meios aquosos e demonstra ser capaz de remover significativamente o chumbo de solução aquosa, podendo chegar a 72% de eficiência de acordo com o tempo de contato (VIEIRA, 2004).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Materiais**

#### 4.1.1. Cascas de Ovos

As cascas de ovos foram adquiridas na Residência Universitária do Campus da UFCG, localizado na cidade de Cuité – PB, onde fora solicitado que as cozinheiras recolhessem as cascas de ovos de galináceos para que pudesse ser dado início ao projeto.

#### 4.1.2. Moagem e separação

Gral e Pistilo; peneira cuja abertura da malha é 1,68mm.

#### 4.1.3. Secagem

Foi utilizado um forno do tipo mufla microprocessado; balança digital analítica Marte® modelo AY220; dessecador; recipientes de vidro para armazenamento das amostras.

### **4.2. Métodos**

#### 4.2.1. Coleta das cascas

A coleta das cascas foi realizada durante quatro semanas. A cada semana as amostras coletadas foram submetidas à uma secagem prévia natural, até que se mostrassem aparentemente secas, para em seguida serem armazenadas em depósitos e levadas ao Laboratório de Controle de Qualidade do Campus de Cuité, UFCG.

#### 4.2.2. Moagem e separação

A etapa de moagem foi feita com o auxílio de gral e pistilo pulverizando-as, com a finalidade de que as cascas atingissem um tamanho de partículas pequeno. Após a pulverização essas cascas eram colocadas em uma peneira a fim de que fossem separadas as partículas por tamanho. Ao final obtivemos dois tamanhos de partículas; um pequeno, sendo aquelas que atravessaram a malha da peneira; e um grande, sendo as partículas que ficaram retidas na malha. Após a separação, foram acondicionadas em recipientes plásticos para que pudessem ser armazenadas ao abrigo de luz e umidade, pelo período necessário à experimentação.

#### 4.2.3. Secagem

Para dar continuidade ao experimento, foi traçada uma tabela (tabela 1) para que fosse determinado o melhor tamanho de partícula, a melhor quantidade a ser usada, bem como a melhor temperatura para que as mesmas fossem colocadas para secar.

**Tabela 1** - Determinação do tamanho, massa do material a ser secado e temperatura em que procederá a secagem.

Amostra (n)	Temperatura (max. 400°C; min. 200°C)	Tamanho de partícula (Grande – Pequeno.)	Massa inicial (g) (Max. 4g Min. 2g)
1	-	-	-
2	-	+	+
3	+	-	-
4	+	+	-
5	+	+	+
6	-	-	+
7	-	+	-
8	+	-	+

Máximo representado pelo símbolo (+) e mínimo representado pelo símbolo (-).

**Fonte:** dados da pesquisa.

Foram determinadas as temperaturas de 200°C e 400°C para realização da secagem, sendo utilizado como equipamento um forno do tipo mufla microprocessado com capacidade de temperatura de até 1.200°C, por um período de 2 horas para cada tipo de amostra. Para separar e determinar o melhor tamanho, quantidade e temperatura foram utilizados os sinais de mais e menos (+ e -) nas seguintes combinações dispostas na tabela 2. Com o auxílio de uma

espátula, eram separadas as amostras de maior e menor partícula que eram acondicionadas em cadinhos previamente tarados.

Com a balança zerada, podia-se pesar as amostras em grupos de 2g e 4g. Para isso, fora utilizada uma balança analítica. Após a pesagem, os cadinhos contendo as amostras eram colocados na mufla por um período de 2 horas. A temperatura era monitorada a fim de se evitar o superaquecimento do equipamento levando a perda do experimento. Depois de 2 horas, os cadinhos eram retirados e colocados em um dessecador para que esfriassem, Para em seguida serem pesadas novamente para que fosse feita a comparação entre o peso inicial e o final das amostras. As amostras foram acondicionadas em recipientes de vidro para serem utilizadas na próxima fase do projeto.

#### 4.2.4. Tratamento dos dados

Foram feitos cálculos, comparando a massa inicial e a massa da amostra após a secagem e depois os resultados foram tratados estatisticamente para otimização da melhor condição de secagem. Foi realizado um planejamento fatorial: o processo foi otimizado através de um planejamento fatorial  $2^3$  dos experimentos (BOX et al., 1986) através do software Statística®.

Esta metodologia permitiu pesquisar os principais efeitos e interações entre os parâmetros analisados reduzindo o número e custos de experimentos (BARROS NETO et al. 1995). Os parâmetros selecionados para este estudo foram: Tamanhos de Partícula(A), Temperatura (B) e Massa Inicial a ser Seca (C). A resposta escolhida foi a umidade das cascas. Todos os experimentos foram feitos nos níveis (-1) e (+1) com a execução de três experimentos em duplicata para estimativa de erros experimentais. Os intervalos utilizados para as variáveis foram: A menor (-) e maior (+), B (200°C) e (400°C), C (2g) e (4g). A dependência da resposta ( $v$ ) em relação às variáveis de estudo ( $X_i$ ) pode ser ajustada por uma equação polinomial (Eq 6).

$$v = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ij} X_i X_j \quad (6)$$

sendo,  $v$  a dependência da resposta (teor de água perdida)  $b_0$ ,  $b_i$  e  $b_j$  constantes,  $X_i$  são as variáveis e  $X_{ij}$  as interações entre elas (Torres-Bacete et al, 2000).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o período experimental em que foram realizados 16 experimentos, os resultados obtidos por meio de planejamento fatorial na secagem de casca de ovo, foram compilados na tabela 2, onde se pode observar a massa de água perdida (g) de cada amostra dependendo das variáveis.

**Tabela 2.** Matriz experimental e resultados obtidos através do planejamento fatorial  $2^3$ , sendo T (temperatura em °C), Tamanho (tamanho de partícula) e Massa (massa da amostra).

Ensaio	Variáveis de estudo			Respostas	
	T (°C)	Tamanho	Massa(g)	Massa de água perdida (g) (em duplicata)	
1	-	-	-	0,0305	0,0326
2	+	-	-	0,1029	0,1547
3	-	+	-	0,0380	0,0223
4	+	+	-	0,1209	0,1104
5	-	-	+	0,0411	0,0482
6	+	-	+	0,2101	0,2871
7	-	+	+	0,0550	0,0651
8	+	+	+	0,1885	0,2006

**Fonte:** dados obtidos na pesquisa.

Na tabela 2, é possível observar que houve uma variação na perda de água entre 0,2871g a 0,0305g. As amostras que obtiveram a maior perda de massa de água, foram aquelas que possuíam a maior massa de amostra e foram submetidas a maior temperatura de secagem.

Quanto maior a temperatura, maior a taxa de secagem. Logo, as amostras que foram submetidas a maior temperatura (400°C), apresentaram uma maior massa de água perdida, o que corrobora com os estudos de Mohler (2010) com a secagem do grão de soja, quando a

temperatura se mostrou estatisticamente significativa, mediante análise através do Software Statistica®. Bem como também nos estudos de Dias e colaboradores (2012), na secagem de folhas de Hortelã (*Mentha x vilosa* Hudson), onde os mesmos constaram que quanto maior o aumento da temperatura, mais rápida e eficiente é secagem.

Na tabela 3, é possível ver os efeitos que foram estimados no planejamento fatorial 2<sup>3</sup>.

**Tabela 3:** Efeitos estimados para o planejamento fatorial 2<sup>3</sup>, sendo (A) temperatura, (B) Massa da amostra (C). P<0,05

Fatores	Massa de água	
	Perdida	
	Efeitos	Coefficiente de regressão
Média	0,11	0,11
A Temperatura	0,13	0,066
B Massa	0,06	0,030
A com B	0,04	0,020

**Fonte:** Dados obtidos na pesquisa.

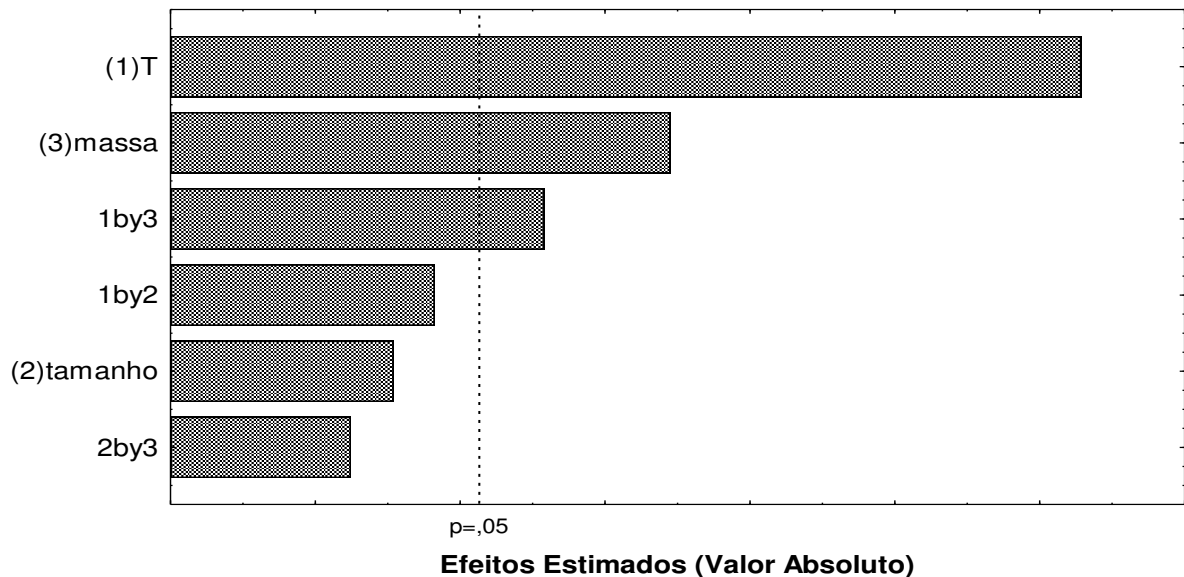
Os efeitos estimados na tabela 3, foram obtidos a partir da equação polinomial do planejamento, equação essa que observou a dependência da resposta, no caso, a massa de água perdida, em relação as variáveis. Sendo a equação do estudo:

$$MH_2O_{perdida} = 0,11 + 0,066.T + 0,030.M + 0,020.T.M \quad (7)$$

Os secadores fluxos concorrentes são aqueles em que os grãos e o ar fluem no mesmo sentido. O ar mais quente encontra o grão mais úmido e a alta taxa de evaporação resfria rapidamente o ar. E por último, os secadores de fluxos contracorrentes que age oposto ao fluxo concorrente, onde o ar passa pela massa de grãos pelo sentido oposto a eles. Nesse caso, à medida que o material desce a coluna, a temperatura aumenta (MÖHLER, 2010).

A Figura 6 a seguir, apresenta o diagrama de Pareto gerado na análise estatística, demonstrando os efeitos estimados em relação aos parâmetros analisados.

**Figura 6.** Gráfico de Pareto demonstrando que a temperatura, a massa e a relação temperatura-massa foram os únicos parâmetros significativos.



Na figura, é mostrado o gráfico ou diagrama de Pareto da avaliação estatística num nível de confiança a 95%, em que os parâmetros significativos são os que ultrapassam o  $p=0,05$ . Como foi discutido anteriormente, pode-se notar que a Massa, a temperatura e a relação temperatura-massa, foram considerados estatisticamente significativos no estudo.

No estudo, a interação temperatura-massa mostra-se significativa mediante análise estatística, porque ambos os parâmetros influenciam positivamente na secagem, já que quanto maior a massa, maior perda de água irá ocorrer, e quanto maior a temperatura, maior a taxa de secagem, como já foi dito.

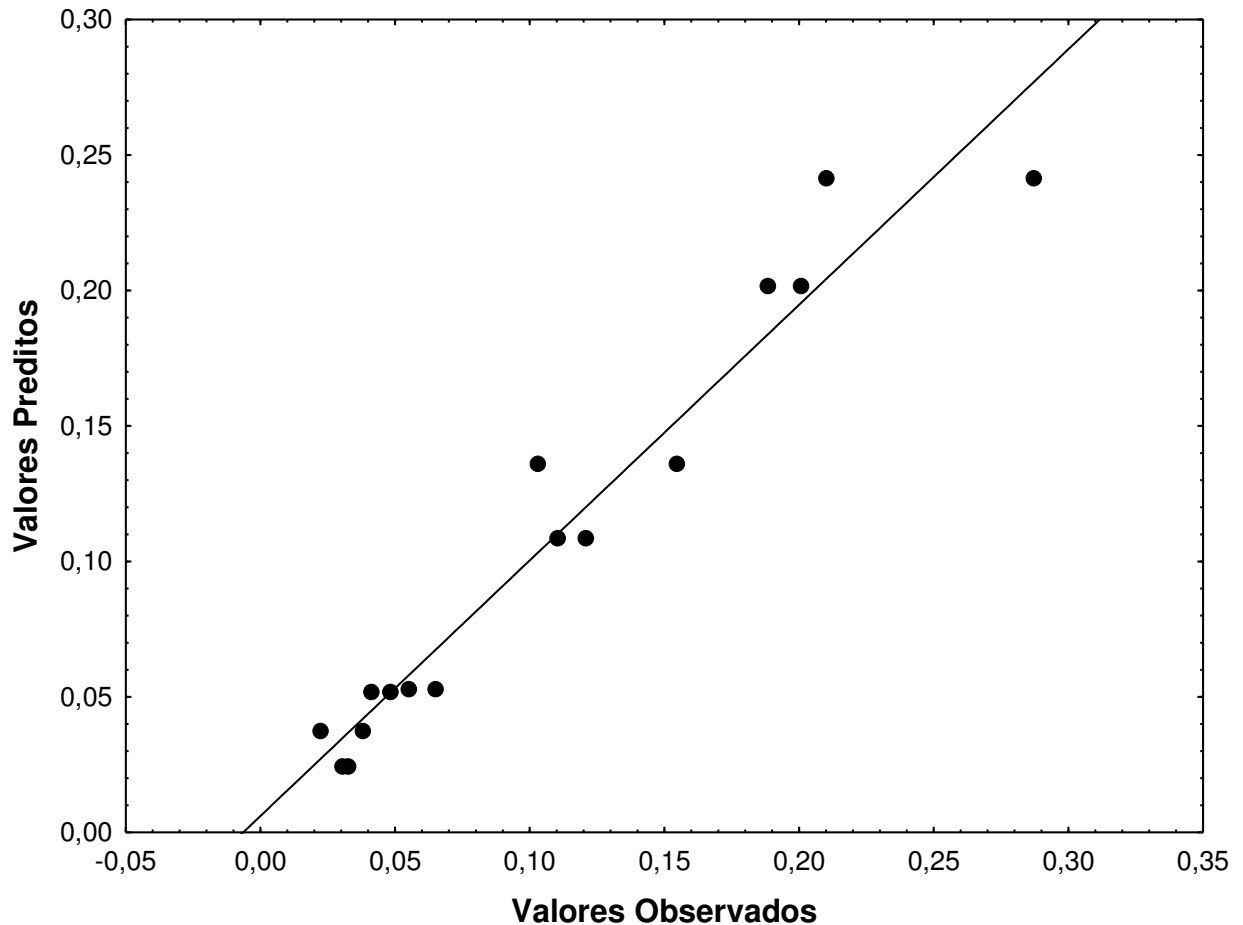
Quanto ao tamanho de partícula, e a relação temperatura-tamanho de partícula e tamanho de partícula-massa, não demonstraram ser estatisticamente significativas. Diferente do que é previsto na literatura, já que segundo Santana e colaboradores (2012), a área superficial é considerada inversamente proporcional ao tamanho da partícula, e, segundo Esteves (2006), nos processos de secagem, quanto maior a área superficial da partícula (menor tamanho da partícula), mais eficiente se torna o processo. Como também nos estudos de Borges e colaboradores (2010) na secagem de banana prata, no qual também se observou que quanto maior a área de contato, maior a taxa de secagem.

Tal resultado pode ter se dado, devido aos erros experimentais e os fatores externos que podem influenciar no processo.



É possível ver na figura 7 que o modelo estatístico se ajustou de forma satisfatória aos dados experimentais obtidos para as três respostas analisadas.

**Figura 7:** Representação da regressão linear para a correlação entre os valores observados e os valores preditos. Ressalta-se que a linha é ilustrativa representando a tendência dos dados.

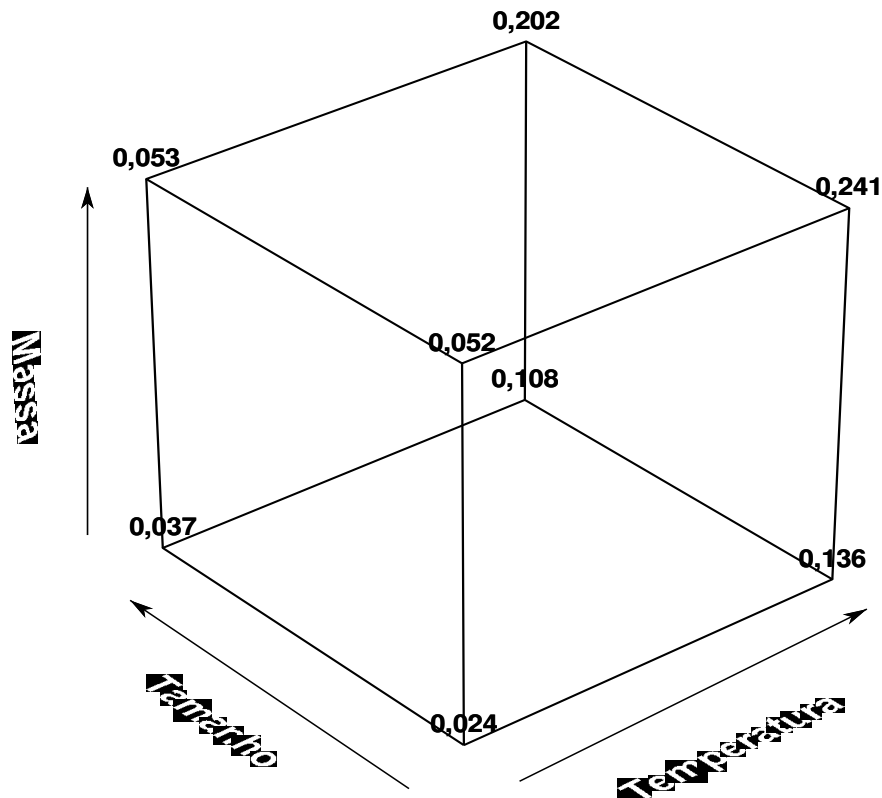


**Fonte:** dados obtidos na pesquisa.

Na figura 7. É observado que os pontos estão próximos a linha de tendência, podendo afirmar que os valores observados são satisfatórios em relação aos valores preditos. Mostrando que o modelo estatístico se ajustou bem aos dados experimentais.

Além do gráfico de Pareto, efeitos calculados no planejamento fatorial  $2^3$  podem ser interpretados como contrastes geométricos. Como são três fatores avaliados, o contraste geométrico se mostra em formato de cubo. Os dezesseis ensaios experimentais da matriz do planejamento correspondem aos vértices do mesmo. Isto pode ser visto na Figura 8 onde são mostradas as interações nas três variáveis respostas analisadas: temperatura, tamanho de partícula e massa.

**Figura 8:** Diagrama para interpretação dos efeitos de interação da temperatura, massa e tamanho de partícula.



**Fonte:** Dados da pesquisa compilados no Software Statistica®.

Pode-se notar a interação entre a massa da amostra e a temperatura, em que a medida que se aumenta a massa da amostra e a temperatura a qual a mesma foi submetida durante a secagem, maior foi a massa de água perdida, isto é, tal interação é considerada positiva.

O estudo estatístico foi feito pelo método de duplicata. A tabela 4. Mostra a média e o desvio padrão calculados no coeficiente de determinação.

**Tabela 4.** Análise de significância do planejamento fatorial  $2^3$  com duplicata

X, Média, $R^2$ , coeficiente de determinação; $S_x$ , desvio padrão.	
Número de experimentos	16
<b>Análise estatística; nível de confiança (95%).</b>	
Média	0,11
$S_x$	0,006
$R^2$	0,94

**Fonte:** dados obtidos na pesquisa.

Na análise de significância mostrada na tabela 4, é possível notar que o planejamento fatorial  $2^3$  consegue possuir uma capacidade explicativa de 95% dos valores observados. Quanto maior o  $R^2$ , mais os dados se ajustam nesse percentual, no modelo estatístico, pois segundo Fernandes (2014), quanto mais próximo de 1, mais aderente os dados serão ao modelo. As amostras apresentam-se homogêneas, pois o desvio padrão apresentou-se baixo, sabendo que segundo Lapponi (2005) quanto menor o desvio padrão, mais próximos os pontos estarão da média.

O estudo então mostrou ser possível observar a influência das variáveis, observando quais fatores devem ser levados em consideração, além de demonstrar que a interação temperatura-massa da amostra, bem como esses parâmetros individuais influenciaram positivamente no processo de secagem das cascas de ovo e foram significativos no estudo. Além disso, também apontou as variáveis que não foram estatisticamente significativas., podendo ser realizados, no futuro, estudos sobre a otimização da secagem, alterando ou desprezando tais fatores não significativos.

### **5.1.Dificuldades e possíveis erros experimentais**

Como foi notado no estudo, o tamanho da partícula não demonstrou influenciar estatisticamente no processo de secagem. Isso pode ter ocorrido devido a possíveis erros experimentais provenientes das dificuldades que durante os experimentos se fizeram presentes, tais como: aparelhagem irregular: O forno do tipo Mufla utilizado não mantinha as temperaturas

em estudo constantes, muitas vezes sendo inferior ou excedendo o limite do que foi previsto no estudo, e para regular essas temperaturas delimitadas no planejamento, o forno era aberto para que a temperatura diminuísse, ou programava o forno para que a temperatura aumentasse, se ela ficasse abaixo do esperado. Também pode ter ocorrido influência da umidade do ambiente do laboratório devido à presença do aparelho de ar condicionado que pode ter influenciado as amostras durante a retirada delas do forno mufla até o dessecador.

## 6. CONCLUSÃO

Os dados obtidos nas condições experimentais utilizadas permitiram concluir que a secagem de casca de ovo de galináceos a fim de tratá-las, para a otimização da produção de um adsorvente, é uma técnica de boa reprodutibilidade, bem como o material analisado ser um resíduo abundante, e as variáveis analisadas apresentarem uma influência significativa na operação.

Foi possível avaliar a secagem de tais cascas relacionando o tamanho de partícula, a temperatura e a massa da amostra, bem como percebendo quais os parâmetros e suas interações promoveram uma maior taxa de secagem do material. Observando que apenas a interação temperatura-massa de amostra, bem como tais parâmetros isolados, apresentaram efeitos estatisticamente significativos.

A caracterização do perfil de secagem utilizando uma variação de temperatura, demonstrou que quanto maior a temperatura, mais rápida é a secagem e maior a perda de massa de água, sendo a melhor condição temperatura aplicada, de 400°C.

Ainda podemos concluir que os parâmetros que melhor influenciaram a secagem das cascas de ovo de galináceos, foram a temperatura e a massa da amostra, bem como a interação entre ele, que demonstraram ser estatisticamente significativos.

O modelo estatístico foi satisfatoriamente adequado para os experimentos realizados. Nele foi possível definir quais parâmetros foram positivos, e quais foram os negativos durante o estudo dentro dos níveis de confiança, comparando os valores preditos e os valores estimados.

Por fim, é possível sugerir novos estudos, alterando ou até mesmo desconsiderando o tamanho de partícula, já que ele não foi considerável influente no teste estatístico, num nível de confiança de 95%, apesar dessa negatividade poder ter sido proveniente dos erros experimentais.

**REFERÊNCIAS**

- BARROS NETO, B. N.; SCARMINIO, I. P.; BRUNS, R.E. **Planejamento experimental e otimização de experimentos**, 3ª ed., Editora da Unicamp, São Paulo, 1995.
- BORGES, Soraia Vilela. Et al. **Secagem de bananas prata e d'água por convecção forçada**. Ciências e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 30(3): 605-612, jul.-set. 2010.
- BOX, et al. **Statistics for Experiments: an introduction to Design, Data Analysis, and model Building**, John Wiley and sons, New York, 1986.
- COSTA, Joyce Maria Gomes da. **Caracterização física, secagem (fritura de imersão e leito fixo) e isoterma de dessorção do bagaço de cana**. 2008. Dissertação do Mestrado(Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciência dos Alimentos),UFLA, Minas Gerais, 2008.
- CRUZ JUNIOR, O. F. **Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da Região Amazônica**. 2010. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- DIAS, Raquel A. de Luna. et al. **Efeito da temperatura de secagem sobre o rendimento na extração de taninos totais e óleos essenciais da hortelã (*Mentha x vilosa Hudson*)**. Rev. Bras. Farm. V. 93 n.4, p.431-438, 2012.
- ESKIN, Michael. SHAHIDI, Fereidoon. **Bioquímica dos Alimentos**. 3ªed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2015.
- ESTEVES, Bruno Neves. **Influencia do processo de secagem por pulverização mecânica (spray dryer) no tamanho de partícula e densidade aparente do café solúvel**. 2006. Dissertação de Mestrado - EPUSP, São Paulo, 2006.
- FERNANDES, Bruno J. A. L. **Coefficiente de determinação como previsor de desempenho de fundos multimercados**. 2014. Dissertação de Mestrado (. INSPER, São Paulo, 2014.

- FOUST, Alan S. et al. **Princípios das Operações Unitárias**. 2ªed. Tradução por Horácio Macedo, Rio de Janeiro, LTC, 1982.
- GARCIA, Danton C. et al., **A secagem de sementes**, Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n.2, p.603-608, 2004.
- GUIMARÃES, Pamela Virginia Ramos. **Secagem de Café: uma revisão**. 2010. 45p. Trabalho de conclusão – UFRGS, Porto Alegre. 2010.
- HELDMAN, D.R.; HARTEL, R.W., **Principles of Food Processing**. Chapman & Hall, 2000.
- LAPPONI, Juan Carlos. **Estatística usando o excel**, 8ª reimpressão, Elsevier, Rio de Janeiro, 2005.
- LUIZ, Marcia Ramos. **Estudo Teórico e Experimental de Secagem de Tomate (*Lycopersicon esculentum*)**, 2012. 160p, Tese de doutorado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica) – UFPB, João Pessoa. 2012.
- MENDES, Fernanda Rodrigues. Et al. **Qualidade bacteriológica de ovos contaminados com *Pseudomonas aeruginosa* e armazenados em temperatura ambiente ou refrigerados**. Ciência Animal Brasileira, v.15 n. 4 Goiânia,2014.
- MAGALHÃES, Maria Carmo. et al. **Tratamento e Valorização Agrícola da Casca de Ovo**, Revista de ciências agrárias, 2011.
- MÖHLER, Bruno Cardoso. **Avaliação das características de secagem dos grãos de soja**, 2010, 35p, Trabalho de conclusão – UFRGS, Porto Alegre.
- NAVES, Maria Margareth Veloso. et al. **Fortificação de alimentos com o pó da casca de ovo como fonte de cálcio**, Ciênc. Tecnol. Aliment. vol.27 no. 1 Campinas, 2007.
- ORDÓÑEZ, Juan. **Tecnologia de alimentos - Alimentos de origem animal**. Volume 2. – 1a. Ed., Ed. Artmed – SP, 2005.
- PARK, Kil Jin, et al. **Estudo de Secagem de Pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) Em Fatias**. Ciênc. Tecnol. Aliment. vol.21 no.3 Campinas Sept./Dec. 2001
- PARK, Kil Jin Bandini. et al. **Seleção De Secadores: Fluxograma**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.9, n.2, p.179-202, 2007.

PARK, Kil Jin Brandini, et al. **Secagem: Fundamento e Equações**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.16,n.1, p93-127, Campina Grande, 2014.

PARK, S. H., et al.(2014) **Principles of Food Processing, in Food Processing: Principles and Applications, Second Edition** (eds S. Clark, S. Jung and B. Lamsal), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. 2014

REIS, Felipe Richter. **Secagem A Vácuo De Yacon: Influencia Das Condições De Processo Sobre Parâmetros De Qualidade E Cinética De Secagem**. 2011, 62p. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos) – UFPR, Curitiba.

SANTANA, Maristela de F.S. de. Et al. **Área Superficial E Porosidade Da Fibra Alimentar Do Albedo De Laranja**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.14, n.3, p.261-273, 2012

TORRES-BACETE, J. et al. **Optimization of 6-aminopenicillanic acid (6-APA) production by using a new immobilized penicillin acylase**. Biotechnol. Appl. Biochem, v.32, p.173-177, 2000.

VIEIRA, C. A. et al., **Extração de metais pesados com casca de ovo**. III Encontro de Pós-Graduação da UNINCOR, 2004.