

ELVIO AOSANI

**TEMPERATURA DE SECAGEM ESTACIONÁRIA E DE ARMAZENAMENTO NA  
QUALIDADE DE GRÃOS DE SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill]**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador : Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias - UFPEL

Co-orientadores: Prof. Dr. Pedro Luiz Antunes - UFPEL

Prof. Dr. Rafael Gomes Dionello - UFRGS

Pelotas, 2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dados de catalogação na fonte:  
( Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744 )

A634t Aosani, Elvio

Temperatura de secagem estacionária e de armazenamento na  
qualidade de grãos de soja [Glycine max (L.) Merrill ] / Elvio  
Aosani. - Pelotas, 2007.

75f. : il.

Dissertação ( Mestrado ) –Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia  
Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. - Pelotas, 2007,  
Moacir Cardoso Elias, Orientador.

1. Soja 2. Secagem leito-fixo 3. Modelagem matemática 4.  
Armazenamento I Elias, Moacir Cardoso (orientador) II. Título.

CDD 633.34

Banca examinadora:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias - UFPEL

Prof. Dr. Wolmer Brod Peres - UFPEL

Pesq. Dr. Elbio Treicha Cardoso - EMBRAPA

**Dedico a Deus, aos meus pais Ari e Elda, irmãos Cleber e Cleide, pela ajuda e estímulo, e à namorada Camila.**

## **AGRADECIMENTOS**

À família pelo apoio e carinho recebidos por toda a vida e especialmente durante o andamento deste trabalho. Também em especial à minha namorada Camila Ustra, pelo amor e dedicação.

A Deus, pela graça de iluminar minha vida em todos os momentos, guiando meus passos e atos.

Ao orientador Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias pela imensa orientação, dedicação, amizade e valiosos ensinamentos durante mais essa etapa da minha vida.

Aos co-orientadores Prof. Dr. Pedro Luiz Antunes e Prof. Dr. Rafael Gomes Dionello pela orientação e amizade.

Aos colegas de mestrado, especialmente aos amigos Volnei Meneghetti, Maurício Oliveira, Leandro Oliveira, Geferson da Rocha, Pablo Bueno, Fernanda Neves, Olívia Schwonke, Fernanda Sachett, Elizabete Helbig, Ana Paula Wally, Cátia Storck pela convivência e amizade.

Aos estagiários e bolsistas do Laboratório de Grãos, especialmente aos amigos Jonis Gelain, Daniel Rutz, André Radünz, Mateus Pino, Willian Krolow, Rodrigo Prestes, Diego Prestes, Juliane Pereira, Gustavo Cella, Laurício Madaloz, Alberto Cunha Neto, Éder e Augusto Oliveira.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, que se dispuseram a auxiliar na execução do trabalho.

Aos amigos que deram auxílio na execução do trabalho, principalmente ao Prof. Dr. José Antônio Gonzales pela ajuda na realização das análises estatísticas.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar também o Curso de Pós-Graduação, no Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos e ao Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul, pelo apoio e material.

Aosani, Elvio. Temperatura de secagem estacionária e de armazenamento na qualidade de grãos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. 2007. 75f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

#### Resumo geral

O trabalho, composto de dois experimentos, foi assim dividido: O Experimento I, dividido em dois estudos, sendo o Estudo I o gradiente de temperatura do ar e da altura da camada de grãos de soja na secagem estacionária e no Estudo II a modelagem matemática em camada delgada de 0,2m na secagem de grãos de soja. O experimento II se avaliou as condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar no armazenamento de grãos de soja. Utilizaram-se grãos de soja produzidos na Região Sul do Rio Grande do Sul, secados em sistema estacionário com ar a 15, 30, 45 e 60°C com variações de  $\pm 5^\circ\text{C}$ , armazenados em sistema convencional, durante 180 dias, nas condições ambientais de 17°C e 65%, e 27°C e 45% de temperatura e umidade relativa. As avaliações, trimestrais, foram de umidade, teor e acidez do óleo, teor de proteínas e peso volumétrico. No Estudo I avaliou-se a dinâmica de temperatura do ar e dos grãos a cada 0,5m até uma altura de 1,5m, monitorando-se a formação da frente de secagem, em todas as temperaturas utilizadas. No Estudo II, aplicou-se modelagem matemática em camada delgada de 0,2m de altura dos grãos para as temperaturas do ar de 30, 45 e 60°C, testando-se cinco modelos: Page, Lewis, Henderson & Pabis, Henderson & Pabis modificado e Midilli. No experimento II avaliaram-se os efeitos das condições controladas de armazenamento de soja em temperaturas e umidades relativas de 17°C e 65%, e 27°C e 45°C, respectivamente, sobre a qualidade dos grãos. Concluiu-se que: a) a secagem estacionária com ar a 15°C é mais demorada do que as realizadas com ar em temperaturas maiores, mostrando-se mais viável para espessuras de até 0,5m; b) na secagem com ar aquecido a 30°C não ocorre super secagem, mas há problema quando a espessura for superior a 1,0 m; c) secagem com ar aquecido de 45 e 60°C é viável somente com espessura de camada de grãos de até 1,0m, havendo super secagem nas camadas de 0,5m, com tendência de equilíbrio de temperatura dos grãos com a do ar, o que do ponto de vista tecnológico é prejudicial aos grãos; d) quanto maior a temperatura do ar de secagem mais aumentam os gradientes de umidade entre as diferentes espessuras das camadas de grãos, ocasionando desuniformidade na secagem; e) os modelos matemáticos de Page, Midilli, Henderson & Pabis, Henderson & Pabis Modificado e Lewis representam a tendência de um processo de secagem em camada delgada; f) o modelo de Henderson & Pabis modificado é o que melhor representa a simulação das secagens estacionárias de soja; g) as variações de umidade dos grãos durante o armazenamento refletem sua higroscopicidade quando há controle na temperatura e na umidade relativa do ar durante todo o período; h) a redução de 27 para 17°C na temperatura de armazenamento de grãos de soja aumenta a preservação do teor de óleo, da acidez, do teor de proteínas e do peso volumétrico dos grãos de soja, retardando sua deterioração em pelo menos três meses; i) a temperatura de armazenamento tem muito mais influência sobre a preservação do óleo e das proteínas do que sobre o peso volumétrico.

**Formatado:** Fonte: Não  
Negrito, Cor da fonte: Preto

Palavras-chave: soja, secagem leito-fixo, modelagem matemática, armazenamento.

Aosani, Elvio. Fixed-bed drying temperature and storage in grains quality [*Glycine max* (L.) Merrill]. 2007. 75f. Master of Science Dissertation – Post-Graduation Program in Agroindustrial Science and Technology. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

#### Abstract

This work, constitutes of two experiments: a) In the Experiment I, divided in two studies, the first gradient of air temperature and layer height of soybeans in stationary drying, and the second study, mathematical modelling in thin layer of 0,2m soybeans were used in order to choose the best model. The experiment II the environmental conditions of air temperature and relative humidity were evaluated. Soybeans were produced in South Area of Rio Grande do Sul, harvested and dried in a stationary system with air at 15, 30, 45 and 60°C and stored in a conventional system for 180 days under environmental conditions at 17°C and 65% UR, and 27°C and 45% UR evaluated. Quarterly, were humidity, contents and acidity of the oil, contents of proteins and volumetric weigh. In the Study I, the dynamics of air temperature and grains each of 0,5m and height of 1,5m was evaluated, monitoring the drying front. In Study II, mathematical modelling was applied in thin layer grains at 0,2m of height and air temperatures at 30, 45 and 60°C, being tested five models: Page, Lewis, Henderson & Pabis, Henderson & Pabis modified and Midilli. In the experiment II, the effects of soybeans storage conditions were evaluated quality of the grains in temperatures and relative humidities at 17°C and 65% UR, and 27°C and 45% UR, respectively. From the results may be concluded: a) the stationary drying with air at 15°C is slower than with air in larger temperature, being shown viable for thickness smaller than 0,5m; b) in the drying with warm air at 30°C super drying doesn't, but there is a problem when the thickness height goes beyond to 1,0 m; c) drying with warm air at 45 and 60°C is viable only with thickness layer height to 1,0m, having super-drying in the 0,5m layers, with tendency of grains equaling temperature with the air; d) as larger the air temperature is more drying increases the humidity gradients among the different thickness of grains layers, causing problems with uniformity in the drying; e) Mathematical models, Page, Midilli, Henderson & Pabis, Henderson & Pabis Modified and Lewis represent the tendency of a drying process in thin layer; f) the modified model of Henderson & Pabis represents the soybeans stationary drying simulation, independently of the temperature; g) the grains humidity variations during the storage reflect just higroscopic when there is control in the temperature and of relative humidity the air during the whole period; h) the reduction 27 to 17°C in from temperature of soy beans grains storage increases the oil preservation, oil acidity contents, proteins and the volumetric weight, delaying deterioration at least three months; i) the storage temperature has very more influence on the oil preservation and proteins than volumetric weight.

keywords: soybeans, drying in bed-fixed, mathematical modelling, storage.



## Lista de figuras

Figura 1	Diagrama das condições de secagem estacionária.....	30
Figura 2	Perfil de umidade dos grãos de soja em função da espessura da camada, na secagem estacionária com ar a 15°C.....	31
Figura 3	Perfil de umidade dos grãos de soja em função da espessura da camada, na secagem estacionária com ar a 30°C.....	31
Figura 4	Perfil de umidade dos grãos de soja em função da espessura da camada, na secagem estacionária com ar a 45°C.....	32
Figura 5	Perfil de umidade dos grãos de soja em função da espessura da camada, na secagem estacionária com ar a 60°C.....	32
Figura 6	Perfil de temperatura da massa de grãos de soja em diferentes espessuras de camada com secagem a 15°C.....	34
Figura 7	Perfil de temperatura da massa de grãos de soja em diferentes espessuras de camada com secagem a 30°C.....	34
Figura 8	Perfil de temperatura da massa de grãos de soja em diferentes espessuras de camada com secagem a 45°C.....	34
Figura 9	Perfil de temperatura da massa de grãos em diferentes espessuras de camada com secagem a 60°C.....	35
Figura 10	Perfil de umidade de grãos de soja, com espessura de camada de 0,5m para quatro temperaturas de secagem.....	36
Figura 11	Perfil de umidade de grãos de soja, com espessura da camada de 1,0m para quatro temperaturas de secagem.....	36
Figura 12	Perfil de umidade de grãos de soja, com espessura da camada de 1,5m para quatro temperaturas de secagem.....	36
Figura 13	Perfil de temperatura de grãos de soja, com espessura da camada de 0,5m para quatro temperaturas de secagem.....	37
Figura 14	Perfil de temperatura de grãos de soja, com espessura da camada de 1,0m para quatro temperaturas de secagem.....	38
Figura 15	Perfil de temperatura de grãos de soja, com espessura da camada de 1,5m para quatro temperaturas de secagem.....	38
Figura 16	Diagrama do sistema de secagem utilizado para aplicação de modelagem matemática.....	43
Figura 17	Condições ambientais médias de temperatura e umidade relativa do ar do mês de maio/06, característicos das condições ambientais da região Sul do Brasil.....	45
Figura 18	Valores experimentais e simulados, em secagem realizada com aquecimento do ar a 30°C.....	46
Figura 19	Valores experimentais e simulados, em secagem realizada com aquecimento do ar a 45°C.....	46

Figura 20	Valores experimentais e simulados, em secagem realizada com aquecimento do ar a 60°C.....	46
Figura 21	Representação do delineamento experimental.....	56

Lista de tabelas

Tabela 01	Condições psicrométricas do ar no momento da secagem.....	31
Tabela 02	Modelos matemáticos avaliados na secagem estacionária de grãos de soja.....	44
Tabela 03	Desempenho (P, SE e $r^2$ ) de cinco modelos matemáticos na descrição da secagem em camada delgada em três temperaturas (30, 45 e 60 °C) de grãos de soja.....	49
Tabela 04	Umidade de grãos de soja submetidos à secagem estacionária e armazenados durante seis meses a 17 e 27°C.....	58
Tabela 05	Temperatura do ar de secagem e tempo de armazenamento nos teores (%) de óleo de grãos de soja armazenados a 17 e 27°C.....	59
Tabela 06	Temperatura do ar de secagem e temperatura de armazenamento nos teores (%) de óleo de grãos de soja armazenados a 17 e 27°C.....	60
Tabela 07	Tempo e temperatura de armazenamento nos teores (%) de óleo de grãos de soja submetidos a quatro temperaturas do ar de secagem e armazenados a 17 e 27°C.....	60
Tabela 08	Temperatura do ar de secagem e tempo de armazenamento sobre a acidez do óleo em soja armazenada a 17 e 27°C.....	62
Tabela 09	Temperatura do ar de secagem e de armazenamento sobre a acidez do óleo de soja armazenados por 180 dias.....	62
Tabela 10	Tempo e temperatura de armazenamento sobre a acidez lipídica em grãos de soja submetidos a quatro temperaturas no ar de secagem.....	63
Tabela 11	Temperatura do ar de secagem e tempo de armazenamento sobre os teores de proteínas em soja armazenada a 17 e 27°C.....	64
Tabela 12	Temperatura do ar de secagem e de armazenamento sobre os teores de proteínas em soja armazenada por 180 dias.....	65
Tabela 13	Tempo e temperatura de armazenamento sobre os teores de proteínas em soja submetida a quatro temperaturas no ar de secagem.....	65
Tabela 14	Temperatura do ar de secagem e tempo de armazenamento sobre o peso volumétrico de grãos de soja armazenados a 17 e 27°C.....	66
Tabela 15	Temperatura do ar de secagem e do ambiente de armazenamento sobre o peso volumétrico de grãos de soja armazenados por 180 dias.....	67
Tabela 16	Tempo e temperatura de armazenamento sobre o peso volumétrico de grãos de soja, submetidos a quatro temperaturas do ar de secagem.....	67

**Formatado:** Recuo: Primeira linha: 0 cm, Espaço Antes: 6 pt, Depois de: 6 pt, Espaçamento entre linhas: Exatamente 12 pt

**Formatado:** Recuo: Primeira linha: 0 cm, Espaço Antes: 6 pt, Depois de: 6 pt, Espaçamento entre linhas: Exatamente 12 pt

**Formatado:** Recuo: Primeira linha: 0 cm, Espaço Antes: 6 pt, Depois de: 6 pt, Espaçamento entre linhas: Exatamente 12 pt

## SUMÁRIO

Resumo geral.....	06
Abstract.....	07
Lista de figuras.....	08
Lista de tabelas.....	10
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 Aspectos evolutivos.....	14
2.2 Características do grão.....	15
2.3 Coheita e Secagem.....	16
2.4 Armazenamento.....	20
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1 Matéria-prima utilizada.....	23
3.2 Caracterização do local.....	23
3.3 Procedimentos experimentais.....	23
3.4 Delineamento experimental e análise estatística.....	24
<b>4. EXPERIMENTOS</b>	
<b>4.1 EXPERIMENTO I - SECAGEM</b>	
<b>4.1.1 ESTUDO I: DINÂMICA DE SECAGEM ESTACIONÁRIA EM GRÃOS DE SOJA.....</b>	<b>25</b>
4.1.1.1 INTRODUÇÃO.....	25
4.1.1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
4.1.1.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1.1.3.1 Matéria prima.....	29
4.1.1.3.2 Métodos.....	29
4.1.1.3.2.1 Colheita.....	29
4.1.1.3.2.2 Pré-limpeza e secagem.....	30
4.1.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30

4.1.1.5 CONCLUSÕES.....	38
<b>4.1.2 ESTUDO II - MODELAGEM MATEMÁTICA EM CAMADA DELGADA NA SECAGEM DE GRÃOS DE SOJA EM LEITO-FIXO.....</b>	<b>40</b>
4.1.2.1 INTRODUÇÃO.....	40
4.1.2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.1.2.2.1 Ajuste dos Modelos Matemáticos.....	43
4.1.2.2.2 Umidade de Equilíbrio.....	43
4.1.2.2.3 Formulação matemática.....	43
4.1.2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1.2.4 CONCLUSÕES.....	50
<b>4.2 EXPERIMENTO II - ARMAZENAMENTO</b>	
<b>4.2.1 TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM E CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO SOBRE A CONSERVABILIDADE DE GRÃOS DE SOJA.....</b>	<b>51</b>
4.2.1.1 INTRODUÇÃO.....	51
4.2.1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	52
4.2.1.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
4.2.1.3.1 Matéria prima.....	55
4.2.1.3.2 Métodos experimentais.....	56
<b>4.2.1.3.3 Avaliações.....</b>	<b>56</b>
<b>4.2.1.3.3.1 Umidade.....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.1.3.3.2 Composição química.....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.1.3.3.3 Peso volumétrico .....</b>	<b>57</b>
4.2.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
4.2.1.5 CONCLUSÕES.....	68
<b>4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>69</b>
<b>4.4 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>70</b>

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

A soja é a oleaginosa mais cultivada no mundo e ocupa lugar de destaque também como fonte de proteínas para muitos povos, sejam eles pertencentes a países pobres, emergentes ou desenvolvidos. Sua domesticação ocorreu no continente Asiático surgindo como cultura no nordeste da China, em torno do século XI a.C., de onde se espalhou para os Estados Unidos, Brasil, Argentina e Índia que, atualmente, produzem 90% da soja mundial, destacando-se os Estados Unidos como maior produtor mundial seguido pelo Brasil. No Brasil, seu cultivo iniciou no Rio Grande do Sul, expandindo-se para Santa Catarina, Paraná, São Paulo e estados do Centro-Oeste, Norte e Nordeste.

Em virtude da grande área de soja cultivada atualmente no Brasil, o cenário de mudanças é dinâmico, fazendo com que o cultivo passe por diversas alterações nas técnicas de manejo, plantio, tratos culturais, colheita, secagem, armazenamento e comercialização.

Têm-se verificado aumentos significativos na construção de unidades armazenadoras nos últimos anos, e isso justifica a importância da realização de estudos sobre secagem e armazenagem de grãos, sempre em busca da oferta de um produto de alto valor comercial, com as características originais preservadas, através de modernas técnicas de monitoramento disponíveis no mercado, e principalmente do manejo sob responsabilidade dos técnicos das unidades de recebimento e armazenamento.

Durante a pós-colheita, a maior parte dos grãos de cereais e leguminosas passa por uma série de etapas como secagem, armazenagem e, finalmente, processamento. Muitas destas operações podem reduzir a qualidade dos produtos e comprometer sua posterior conservação. O conhecimento das características físicas e químicas dos grãos em questão pode auxiliar a minimizar esses problemas, através de manejo adequado.

Condições climáticas na colheita podem afetar significativamente o grau de umidade e a constituição dos grãos, tornando-os mais suscetíveis à deterioração e ao ataque de pragas e microrganismos no armazenamento (Brooker et al.,1992; Lorini, 2002).

Durante a secagem, os grãos podem sofrer perdas qualitativas importantes, causadas por excesso de aquecimento, velocidade do ar e/ou taxa desuniforme de secagem, umidade inicial e final, também influenciando o sistema de secagem utilizado. Por outro lado, estruturas existentes na unidade de recebimento de grãos, como sistema de transporte horizontal e vertical, podem causar danificação mecânica nos grãos, quando inadequadamente instalados e/ou operados.

Em relação à composição química, os grãos de soja se caracterizam por apresentar teores altos de proteínas e de óleo, sendo este suscetível à hidrólise e à oxidação dos ácidos graxos.

Com a alta produção mundial de grãos, a preocupação com o processo industrial é permanente, na busca da qualidade da matéria-prima, para se obter um resultado final de alto padrão e atender mercados cada vez mais exigentes e competitivos. As perdas na qualidade dos grãos após a colheita ocorrem em sua maior parte por causa da infestação de insetos, deterioração por fungos e ataques por roedores e pássaros. A respiração e a deterioração gradual da qualidade nutritiva e das propriedades relacionadas com o uso final dos grãos contribuem com uma proporção menor, porém de grande importância, no total de perdas que ocorrem durante a estocagem (Athié et al., 1998).

Objetivou-se, com o trabalho: a) estudar efeitos de diferentes temperaturas do ar na dinâmica de secagem estacionária e na formação de gradientes de umidade e temperatura dos grãos, visando identificar espessuras de camada adequadas recomendáveis para secagem de grãos de soja; b) estudar a aplicação de modelagem matemática como ferramenta para prever os fenômenos de comportamento de valores de remoção de água na secagem em camadas delgadas de grãos de soja; c) estudar efeitos de temperatura do ar na secagem, do tempo e da temperatura no armazenamento sobre a qualidade de grãos de soja armazenados.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Aspectos evolutivos**

A cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] ocupa o primeiro lugar na produção do complexo oleaginoso, cuja expectativa de oferta atinge 392,5 milhões de toneladas para a safra de 2006/2007. Nesse contexto a soja participa com uma

produção mundial de 224,97 milhões de toneladas, seguida da produção de colza/canola que alcança 46,16 milhões de toneladas. Seguem-se amendoim e girassol com produções de 31,5 e 30,41 milhões de toneladas, respectivamente. Os principais países responsáveis por essas produções são os Estados Unidos, Brasil e Argentina.

O expressivo crescimento da produção de soja no país, de cerca de 250 vezes no transcorrer de apenas quatro décadas, determinou uma série de mudanças sem precedentes na sua história. Foi a soja, inicialmente auxiliada pelo trigo, a grande responsável pelo surgimento da agricultura comercial no Brasil. Também foi a grande responsável pela aceleração da mecanização das lavouras brasileiras, pela modernização do sistema de transportes, pela expansão da fronteira agrícola, pela profissionalização e pelo incremento do comércio internacional, pela modificação e pelo enriquecimento da dieta alimentar dos brasileiros, bem como pela tecnificação de outras culturas como o milho (Embrapa, 2004).

Com a alta produção mundial, não só de soja como de outros grãos, no que se refere aos produtos alimentares, a preocupação com o processo industrial é permanente, buscando-se através da qualidade da matéria-prima um resultado final de alto padrão, para mercados cada vez mais exigentes e competitivos.

Além das proteínas e do óleo, a soja é considerada boa fonte de minerais, especialmente magnésio, fósforo, cobre, zinco, ferro e de vitaminas do complexo B. Muitos pesquisadores têm se empenhado no estudo dessa leguminosa, a qual possui importantes qualidades para a nutrição humana e animal, tendo como constituintes principais proteínas (cerca de 40%) com alto valor biológico e também o óleo (24%) representado principalmente por ácidos graxos poliinsaturados (linoléico e linolênico).

## **2.2 Características do grão**

O grão de soja é formado basicamente por um embrião protegido pelo tegumento. O embrião é composto de dois cotilédones e um eixo embrionário (epicótilo, hipocótilo e radícula). Devido às características morfológicas dos grãos, o eixo hipocótilo-radícula apresenta-se protegido somente pelo tegumento, sendo um grão que pode sofrer facilmente danos mecânicos, o que pode afetar o embrião.



Segundo Carvalho & Nakagawa (2000), sementes exalbuminosas, como a soja, têm como principal tecido de reserva os cotilédones. Como o tecido cotiledonar é o embrionário, a soja fica mais suscetível a danos mecânicos devidos à exposição do eixo embrionário, pois em grãos arredondados a probabilidade que ocorra impacto sobre o eixo embrionário é igual a mesma de outra região qualquer. Esse problema é de menor ocorrência se comparado com grãos de milho, girassol e sorgo, que apresentam maiores quantidades de tecido de proteção ao embrião.

Grãos de soja se caracterizam por apresentar teores relativamente altos de proteínas e médio teor de óleo, o qual é altamente suscetível à oxidação dos ácidos graxos, originando o “flavor de feijão ou oxidado” e da enzima urease, que é indicador da presença de fatores antinutricionais, além de proteases, lectinas, antivitaminas, alérgenos e fitatos (Liener, 1994).

Durante o armazenamento podem ocorrer modificações deteriorativas que se expressam principalmente pela elevação dos níveis de ácidos graxos livres. Pomeranz (1974) e Penfield & Campbell (1990) afirmam que as modificações deteriorativas em grãos ou óleos podem ser oxidativas, resultando em rancificação de sabor e odor e hidrolítica, com produção de ácidos graxos livres. Entretanto, devido à presença de uma elevada quantidade de antioxidantes, a gordura presente em grãos inteiros está protegida contra efeitos do oxigênio do ar.

Por outro lado, os lipídeos são prontamente decompostos pela ação das lipases em ácidos graxos livres e glicerol durante o armazenamento, particularmente quando a temperatura e o teor de água são elevados e, portanto favoráveis à deterioração, sendo o processo acelerado pelo desenvolvimento de fungos, que possuem intensa ação lipolítica.

Segundo Copeland (1979), o alto teor de água dos grãos, a alta temperatura e a elevada atividade de fungos se constituem nos principais fatores que contribuem para o aumento nos teores de ácidos graxos livres. Fungos de campo e de armazém podem danificar sementes e grãos por meio de dois mecanismos: produção de enzimas hidrolíticas e exocelulares ou pela formação de toxinas. A hidrólise do material graxo tem início muito mais rapidamente do que a hidrólise de proteínas ou carboidratos, sendo por isso citada por diversos pesquisadores como um índice de deterioração incipiente nos grãos (Ramatatnam & Kulkarni, 1983; Rupollo, 2003; Marini, 2004).

### **2.3 Coheita e Secagem**

Numa lavoura, quando as plantas se aproximam do final do ciclo produtivo é importante se determinar o ponto de colheita para que seja possível interferir nas ações tecnológicas de pós-colheita. O grau de umidade ideal para a colheita é dependente de diversos fatores, como variedade cultivada, condições ambientais e método de colheita a ser empregado, sendo, a partir disto, freqüentemente associado ao número de dias pós-floração, à qualidade fisiológica e às características físicas dos grãos, principalmente. Na verdade, não se trata de um ponto, mas de uma faixa de umidade que expressa um momento ou mesmo um período mais conveniente para a operação (Elias, 2002).

O retardamento da colheita contribui para a deterioração dos grãos, pois equivale a armazená-los a campo, em condições desfavoráveis, expondo-os por um maior período aos agentes patogênicos. Determina, ainda, redução significativa do peso do hectolitro e alterações na coloração dos grãos, com sua depreciação industrial (Martins, 2003). Para Silva e Hara (1998), um excesso de umidade nos grãos na colheita significa gastos extras em energia para a secagem, desgaste dos equipamentos, além de, em alguns casos, promover perda em qualidade do produto.

Após a colheita, os grãos devem ser submetidos à operação de pré-limpeza antes da secagem. A pré-limpeza realizada eficientemente reduz os riscos de incêndio; facilita o movimento do ar e dos grãos, permitindo uniformização da secagem; reduz custos, já que os materiais inúteis não estarão presentes para serem secos, e diminui as fontes de inóculo de microrganismos e de pragas, cujas presenças são indesejáveis na classificação e na conservação posterior (Elias e Franco, 2006).

Os principais sistemas de secagem de grãos contam com secadores mecânicos, onde o produto a ser secado transita, em bateladas ou de forma contínua, conforme o tipo de estrutura existente, tornando possível dessa maneira, a retirada da água. Via de regra o ar é aquecido a temperaturas que variam conforme o tipo de secador, e é direcionado de tal forma que passa pelo produto, aquecendo-o e reduzindo-lhe a umidade através de suas características higroscópicas (Biagi et al., 2002).

Segundo Porto (2001), na secagem há remoção parcial de um líquido da matéria sólida, por evaporação. Quando o calor necessário para evaporar a água é

fornecido ao material, ocorrem transferências simultâneas de calor e massa. O ar, ao mesmo tempo em que fornece calor ao sistema, absorve água do produto em forma de vapor. O gasto de energia térmica provocado pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento do ar. Contudo, o ar absorve em forma de vapor o que perde sob a forma de calor, caracterizando um processo adiabático ou isoentálpico. Grãos são produtos higroscópicos e, como tal, podem sofrer variações no seu conteúdo de água, a qualquer momento, de acordo com as condições do ar ambiente que os circundam (Boemeke, 2000; Elias et al., 2005; Barbosa et al., 2006).

Altas pressões de vapor podem causar danos irreversíveis nos grãos, pois a retirada muito acelerada da água causa desestruturação de suas camadas mais internas. Os danos mais freqüentemente observados, quando a secagem por ar aquecido não for convenientemente controlada, são reduções de vigor e germinação nas sementes, alterações de cor, formação de crosta periférica, perda de matéria seca, redução da integridade física nos grãos, diminuição da digestibilidade das proteínas, desestruturação do amido, suscetibilidade à incidência de defeitos e redução da conservabilidade, além do desperdício de tempo e de energia (Elias et al., 2006).

Os métodos de secagem artificiais que normalmente são utilizados para grãos de soja são o estacionário, o contínuo e o seca-aeração. Ainda existem os métodos de secagem naturais, que são dependentes de condições climáticas da região e sobre os quais não se tem controle, sendo, por isso, limitados e pouco utilizados (Elias, 2002).

A secagem artificial é realizada a partir de estruturas específicas construídas para esse fim, onde o ar é forçado a passar pela massa de grãos, possibilitando a secagem de grandes quantidades de grãos em curtos espaços de tempo, independentemente das condições de temperatura e umidade relativa do ambiente. São realizados controles das condições de temperatura e de umidade relativa do ar, exigindo-se, portanto conhecimentos técnicos sobre o assunto. Suas vantagens são permitir o controle da temperatura, do fluxo de ar de secagem e do tempo de exposição do produto ao ar aquecido.

Segundo Cavariani (1996), diversas fontes de energia podem ser usadas na secagem artificial, para aquecimento do ar. O que realmente caracteriza um método como artificial é o fato de o processo ser executado com o auxílio de alternativas

mecânicas, elétricas ou eletrônicas e o ar que atravessa a massa de grãos ter sua passagem forçada.

No Brasil os pesquisadores têm dedicado grande atenção nos últimos anos à secagem estacionária de soja. Devido a uma constante profissionalização do setor envolvido com a pós colheita de grãos, as pesquisas têm gerado novas tecnologias que podem ser implantadas junto à classe de produtores com baixo capital de investimento (Silva & Lacerda Filho, 1984; Martins, 2003). O método estacionário é caracterizado pela passagem forçada do ar, em fluxo axial ou radial, através de uma massa de grãos, a qual permanece parada no compartimento de secagem. Dentre os métodos artificiais, este é o único em que pode ser utilizado ar natural, sem aquecimento (Barbosa et al., 2001). A secagem com utilização de ar sem aquecimento é dependente das condições psicrométricas do ar ambiente e geralmente é muito lenta, tendo como agravante o risco de desenvolvimento microbiano durante o processo, além da morosidade e do baixo fluxo operacional (Rupollo, 2003).

A secagem contínua faz uso de secadores contínuos, que são constituídos por uma estrutura com pelo menos duas câmaras, uma de secagem propriamente dita e outra de resfriamento, podendo haver outra, intermediária, neutra, entre as duas. Neste sistema, os grãos ingressam úmidos, mantêm contato com ar aquecido na primeira câmara, se aquecem e secam. Ao passarem pela segunda câmara, tomam contato com ar à temperatura ambiente, quando são resfriados. O contato ar-grãos e os fluxos de movimentação dos grãos ocorrem de forma ininterrupta. A entrada de grãos úmidos e a saída de grãos secos e resfriados são constantes e simultâneas (Elias et al., 2007).

A seca-aeração utiliza secador convencional contínuo, adaptado, em que a câmara originalmente destinada ao resfriamento passa a receber ar aquecido, passando o secador a ter duas câmaras de secagem, donde os grãos saem ainda quentes e parcialmente secos, indo diretamente a um secador estacionário, onde permanecem em repouso durante um tempo médio de 4 a 12 horas. Como a energia interna dos grãos na saída do secador convencional ainda é elevada, durante o repouso a água migra para a periferia, sendo removida através da ventilação forçada com ar não aquecido, que completa a secagem, após o período de repouso, a qual pode também ser realizada na forma multi-seqüencial ou em multiciclo (Milman, 2001). Esse processo pode aumentar em até 60% a capacidade de secagem do

secador, com redução de consumo de combustível de até 30% (Zimmer et al., 1992).

Do ponto de vista da qualidade dos grãos, o mais recomendável seria a colheita em seu ponto de maturidade fisiológica, com secagem imediata em temperaturas e taxas de secagem que não agridam o produto, ou dependendo da situação e período da safra, que apresentam os menores danos possíveis.

Cada vez mais os consumidores estão desenvolvendo uma consciência da importância do valor que existe na qualidade dos grãos e que, por isso podem remunerar melhor os produtos com mais qualidade. Assim como para o arroz, os parâmetros de qualidade incluem a percentagem de grãos inteiros, a cor e a aparência, para a soja devem incluir a acidez do produto, pois essa interfere diretamente no rendimento nos custos de refinação do óleo. Valem igualmente para o milho, onde contaminações por toxinas reduzem a convertibilidade do alimento produzido, assim como para sementes, onde devem preservar a germinação e o vigor.

A secagem pode ser uma fonte de problemas quando mal realizada ou realizada por pessoas que desconhecem alguns princípios básicos, como taxa horária de remoção de água, temperatura limite do ar e temperatura da massa de grãos. A má aplicação das técnicas de secagem acarreta enormes problemas de perda de produto principalmente por deterioração, pela alta taxa de respiração, pela ocorrência de danos térmicos em grãos, ou mesmo pela supersecagem e sua conseqüente redução de peso.

## **2.4 Armazenamento**

A soja, por suas características morfológicas e fisiológicas, é muito propensa à deterioração e sensível a práticas inadequadas de manejo durante a colheita e no pré-processamento, denotando um baixo poder de armazenamento. De acordo com Delouche (1975), a deterioração da soja é muito mais rápida do que em arroz, milho, sorgo, trigo e outras espécies, quando submetidos às mesmas condições de campo, colheita, secagem e armazenamento.

Quando atingem a maturidade fisiológica, onde há máxima acumulação de matéria seca e de qualidade, os grãos de soja possuem um teor de água próximo a 50%, o que inviabiliza o processo de colheita mecânica. Com isso, eles permanecem

no campo de produção até atingirem o ponto de colheita e ficam sujeitos a fatores adversos que são potencialmente desfavoráveis à preservação da sua qualidade. Portanto, é necessária a realização da colheita a partir do momento em que ocorre a compatibilização entre o grau de umidade e o método de colheita.

As perdas na qualidade dos grãos após a colheita ocorrem em sua maior parte por causas como infestação de insetos, deterioração por fungos e ataques por roedores e pássaros. A respiração e a deterioração gradual da viabilidade, da qualidade nutritiva e das propriedades relacionadas com o uso final dos grãos contribuem com proporção menor, porém importantes, no total de perdas que ocorrem durante a estocagem (Athié et al.,1998). Saliente-se que a etapa de pós-colheita é tão importante como a de produção no campo. O armazenamento de grãos não deve ser considerado como uma ação onde simplesmente são guardados grãos num silo para posterior venda, sem preocupação do que se sucede durante esse tempo.

A etapa de armazenamento inclui atividades que devem ser realizadas com o objetivo principal da conservação dos grãos a um menor custo possível, dentro de um contexto de qualidade, onde o destino final da produção de soja é a industrialização para extração de óleo e proteínas, ou para consumo direto humano, seja para o mercado interno ou externo. Segundo Rodriguez (2006), é muito importante destacar na atividade da pós-colheita, o critério de “SLAM”, que é definido como: S: sanidade, L: limpeza, A: aeração e M: de monitoramento, sendo as quatro ações indispensáveis para uma boa conservação dos grãos durante o armazenamento.

Os principais fatores externos que afetam o ecossistema da massa de grãos são a temperatura e a umidade relativa que prevalecem no local de armazenamento. A variação da temperatura ambiente pode ser extrema, desde valores abaixo de zero até acima de 40°C, podendo ter implicações positivas ou negativas na extensão das perdas durante a armazenagem. Também a umidade relativa pode apresentar grandes variações, desde valores abaixo 10% em desertos, até acima de 90% nos trópicos. O efeito combinado da umidade relativa e da temperatura em um determinado local de armazenamento determina a atividade de todos os componentes bióticos do sistema, os quais conduzem a um armazenamento seguro ou a perdas do produto (Athié et al.,1998).

De acordo com Acasio (1997), grãos de soja com umidade entre 14 e 14,3%, mantidos a uma temperatura de 5 a 8°C, podem ser armazenados por mais de dois anos sem danos causados por fungos, enquanto que mantidos a 30°C, podem ser atacados por fungos em poucas semanas e severamente danificados em seis meses. O desenvolvimento de insetos pode ocorrer quando a soja for armazenada a uma umidade de 10,5 %, mas nessa umidade há redução de ataque de fungos.

Temperaturas elevadas provocam alterações bioquímicas nos grãos e, durante a secagem natural ou artificial, podem prejudicar a qualidade do produto. Temperaturas elevadas também afetam a viabilidade das sementes e em umidades relativas mais elevadas sementes mortas são mais suscetíveis à deterioração por fungos. Em grandes volumes de grãos armazenados a granel, o efeito da temperatura é limitado, devido à baixa condutibilidade térmica dos grãos. No entanto, quando o volume da massa é pequeno ou estão em sacarias, os efeitos da temperatura ambiente são maiores e ocorrem dentro de um período de tempo mais curto (Teixeira, 2001).

Com o aumento da temperatura, têm-se também um aumento na taxa de deterioração de grãos armazenados. Esse aumento na taxa de deterioração cresce até temperaturas de 27°C, sendo que a partir de valores superiores de temperatura alguns microrganismos encontram grandes dificuldades de ação.

Conforme Hall (1980), sérias deteriorações podem ocorrer na viabilidade de sementes armazenadas a 21°C e 90% de umidade relativa ou altas perdas em apenas um mês, enquanto se armazenadas por três anos a 21°C e 57% de umidade relativa haverá apenas um pequeno decréscimo na viabilidade. Ainda o autor afirma que a deterioração do grão é dependente de umidade, temperatura, taxa de oxigênio disponível e dos microrganismos envolvidos.

Elevados graus de umidade relativa do ar causam danos importantes em grãos armazenados, podendo resultar no desenvolvimento de fungos, que ocorrem em umidades relativas maiores do que 70%. O conteúdo de vapor d'água do ar intergranular, em um grande volume de massa de grãos, pode diferir bastante do ar ambiente, e apesar das suas propriedades higroscópicas, os grãos não alteram o seu conteúdo de umidade adquirindo ou perdendo água para o ar ambiente, com exceção das camadas mais externas dos grãos. Entretanto, a difusão de vapor d'água do ar intergranular para o ar externo e vice-versa pode ser facilitada quando

ocorrem gradientes de temperatura ou é feita aeração na massa de grãos (Athié et al., 1998).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Matéria-Prima**

Grãos de soja, produzidos no município de Capão do Leão, região Sul do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em parceria com produtores rurais e a Universidade Federal de Pelotas, foram colhidos mecanicamente, quando a umidade dos grãos estava próxima a 20%, transportados e armazenados no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, da Universidade Federal de Pelotas em ambiente climatizado, com temperatura de 17°C. Posteriormente, foram submetidos às operações de pré-limpeza, em máquina de peneiras circulares, seguindo-se a secagem.

#### **3.2 Caracterização do Local**

O município de Capão do Leão está situado a 31° 52' 00" de latitude Sul e 52° 21' 24" de longitude, numa altitude de 13,24m. O clima é temperado, sendo 1.280 mm a média anual de precipitação pluviométrica e temperatura média anual de 17,9°C.

#### **3.3 Procedimentos experimentais**

O trabalho, composto de dois experimentos, foi assim dividido: no Experimento I, estudou-se a secagem e foi dividido em dois estudos: a) Estudo I: gradiente de temperatura do ar e altura da camada de grãos de soja na secagem estacionária; b) Estudo II: modelagem matemática em camada delgada de 0,2m de grãos de soja; no Experimento II, estudou-se o armazenamento, avaliando-se as condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar no armazenamento de grãos de soja.

O Experimento I, foi avaliado em dois Estudos. No Estudo I foram avaliados parâmetros da dinâmica da secagem estacionária em quatro temperaturas do ar de entrada com monitoramento nos 0,50; 1,00 e 1,50 m de espessura da camada de grãos. No Estudo II as avaliações foram feitas em modelagem matemática em camada delgada de 0,2m de altura dos grãos de soja, sendo os resultados aplicados



em cinco modelos: Page, Midilli, Henderson & Pabis, Henderson & Pabis Modificado e Levis. Os grãos foram submetidos à secagem estacionária em protótipos de secador no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos. A secagem estacionária foi realizada em secador-piloto modelo Vitória laboratório, com fluxo de ar axial de  $7,02 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{ton}^{-1}$ , em quatro temperaturas: 15(S1), 30(S2), 45(S3) e 60°C(S4). No secador estacionário, nas alturas de camada de grãos de 0,5, 1,0 e 1,5m foram adaptados três tubos redutores, em cada secador, permitindo a realização de secagens simultâneas em triplicatas. Termômetros de mercúrio e anemômetro de hélice foram usados para medir a temperatura e fluxo de ar, respectivamente. O acompanhamento da umidade e da temperatura do ar, realizado com sensores instalados no interior do secador na altura de camada de 0,5m com três repetições, totalizando 240 kg de grãos para cada secagem.

No Experimento II avaliaram-se os efeitos da temperatura do ar de secagem e das condições de armazenamento sobre a qualidade dos grãos, analisando-se no 1, 90 e 180 dias de armazenamento a umidade, o teor de óleo, a acidez do óleo, o teor de proteínas e o peso volumétrico nos grãos secados com ar a 15, 30, 45 e 60°C, armazenados em duas condições ambientais: 17°C/65% e 27°C/45%, respectivamente de temperatura e umidade relativa do ar.

### **3.4 Delineamento experimental e análise estatística**

Para as avaliações dos efeitos da temperatura do ar de secagem, das condições ambientais e do tempo de armazenamento sobre a qualidade dos grãos, os experimentos foram conduzidos em delineamento completamente casualizado com três repetições para os diferentes tratamentos. Os resultados foram analisados com auxílio do programa estatístico SAS (SAS INSTITUTE).

## **4. EXPERIMENTOS**

### **4.1 EXPERIMENTO I: SECAGEM**

#### **4.1.1 ESTUDO I: DINÂMICA DE SECAGEM ESTACIONÁRIA EM GRÃOS DE SOJA**

##### **4.1.1.1 INTRODUÇÃO**

A etapa da secagem, realizada na hora certa e com equipamentos adequados e regulados é, sem dúvida, o principal item que define a qualidade dos grãos. A secagem é uma das mais antigas e usuais operações encontradas nos diversos processos utilizados em indústrias agrícolas e tantos outros setores. É também uma das operações mais complexas e menos entendidas, devido a dificuldades e deficiências na descrição matemática dos fenômenos envolvidos de transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento no sólido (Brod & Fabbro, 2006).

As condições climáticas adversas na época da colheita, a falta de tecnologia específica para cada tipo de secagem de grão, as estruturas de secagem deficientes e o conhecimento limitado sobre as operações básicas de secagem caracterizam elevadas perdas, com tendência de agravamento pelo aumento da produção.

A importância da secagem de produtos agrícolas aumenta com o incremento da produção, devida principalmente às seguintes características: permite antecipar a colheita e o armazenamento dos produtos, durante períodos mais longos, com baixos riscos de deterioração, mantém o poder germinativo das sementes durante longo período, dificulta o desenvolvimento de microrganismos e insetos, minimiza a perda do produto no campo, reduz a atividade enzimática e aumenta consideravelmente o tempo de armazenamento. Também reduz a massa dos grãos e facilita o transporte e o manejo (Jayas & Ghosh, 2006).

Objetivou-se, com o trabalho, avaliar influências de diferentes temperaturas do ar na dinâmica de secagem estacionária na formação de gradientes de umidade e temperatura dos grãos.

#### 4.1.1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A secagem necessita de diferentes gradientes de pressões parciais de vapor de água entre grãos e o ar de secagem. De acordo com as propriedades higroscópicas, o fluxo de vapor de água ocorre no sentido da maior para a menor pressão de vapor. Com o aquecimento do ar, há redução de umidade relativa e o conseqüente aumento do potencial de retenção de água. A secagem mediante circulação forçada do ar aquecido estabelece dois fenômenos que ocorrem simultaneamente: transferência da água superficial dos grãos para o ar e o movimento da água do interior para a superfície dos grãos, decorrente dos gradientes hídricos e de pressão entre essas duas regiões.

O método estacionário é um método artificial que consiste em forçar a passagem do ar através de uma massa de grãos, que permanece estática. Na operação de secagem, o ar é responsável pelo transporte do calor até os grãos e por evaporar a água presente na superfície destes, levando-a para fora do sistema (Booker, 1992; Barbosa et al., 2005).

Segundo Garcia et al. (2004), a secagem em condições comerciais, com secadores estacionários, vem se tornando uma prática recomendada em função da redução dos danos mecânicos, devido a ser um processo estático, porém o grande tempo de secagem torna-se uma limitação quando comparados aos secadores contínuos. Na tentativa de reduzir essa limitação, os produtores acabam utilizando altas temperaturas e elevados fluxos de ar nos secadores estacionários, prejudicando a qualidade dos grãos.

Na secagem estacionária de fluxo axial, a perda de água dos grãos ocorre em camadas, sendo que as mais próximas da entrada do ar aquecido secam antes das demais, formando-se, então, uma zona de secagem. Essa região formada, também denominada frente de secagem, gera a camada em que os grãos estão em processo de secagem, sendo que abaixo dessa camada os grãos encontram-se secos e, acima úmidos. A secagem em cada camada, prossegue até a umidade dos grãos atingir o ponto de equilíbrio higroscópico com a umidade relativa do ar de secagem (Brooker et al., 1992).

As trocas de umidade entre grãos e ar acontecem por toda a extensão representada pela altura da camada de grãos, iniciando na parte inferior e avançando no sentido ascendente. Forma-se então a frente de secagem, que é o local onde a secagem está acontecendo e ocorre uma redução da umidade dos

grãos até um ponto de equilíbrio com as condições psicrométricas do ar. Os grãos que estão abaixo desta zona de secagem estão essencialmente em equilíbrio com as condições de temperatura e umidade relativa do ar, resultando num estado chamado umidade de equilíbrio. Os grãos que se encontram acima da zona, ainda estão com o grau de umidade inicial, pois seu processo de secagem não iniciou. A velocidade de deslocamento da frente de secagem é função da temperatura e do fluxo de ar utilizados (Portella & Eichelberguer, 2001).

O fenômeno da secagem pode ser melhor entendido, observando-se dois aspectos que ocorrem simultaneamente, quando grãos são submetidos ao processo: 1) transferência de energia (comumente calor) do ambiente para evaporar água superficial. Esta transferência depende de condições externas de temperatura, umidade do ar, fluxo e direção do ar e espécie de grão; 2) transferência de massa, (umidade) do interior para a superfície do grão e sua evaporação. O movimento interno de umidade também possui determinadas características dependentes da natureza do grão, da temperatura e do conteúdo de umidade.

Na secagem estacionária são recomendadas temperaturas baixas, evitando-se, assim, a super secagem das camadas que se encontram mais próximas da entrada de ar aquecido, o que certamente provocará danos térmicos nos grãos, independentemente da espécie.

O aquecimento excessivo de um produto agrícola durante a secagem pode provocar danos como trincamentos internos, rompimento do tegumento e alteração da coloração. A dimensão causada por esses danos depende da interação entre temperatura, tempo de exposição e teor de água do produto a ser seco (Nellist, 1971; Biagi et al., 2002).

O ar que passa através da massa de grãos localizada acima da frente de secagem está em equilíbrio com a umidade inicial dos grãos, portanto, não tem a capacidade de secagem. Esse ponto de equilíbrio é dependente das condições de temperatura e umidade relativa do ar, possuindo as características das condições de secagem utilizadas no silo secador. Dois são os gradientes formados na então denominada zona de secagem: o conteúdo de água do grão que varia com a umidade inicial e a umidade de equilíbrio, e a temperatura do ar, que da mesma forma, varia com a temperatura inicial e a final do grão. A temperatura final do grão se aproxima da temperatura do ar de secagem (Brooker, 1992).

A secagem estacionária é a única que permite utilização de ar sem aquecimento, ou seja, ar ambiente na secagem. Esse sistema de secagem depende principalmente do equilíbrio higroscópico, que por sua vez depende da umidade relativa e da temperatura do ar ambiente. Embora estes parâmetros não permaneçam constantes, os valores médios das temperaturas e das umidades relativas durante o período de secagem determinam o grau de umidade final. Outro fator importante é o fluxo de ar utilizado, que irá determinar o tempo de secagem. Quando se aumenta o fluxo de ar, uma maior quantidade de água é retirada da massa de grãos. Portanto, a velocidade da frente de secagem é proporcional ao fluxo de ar (Elias et al., 2005).

No sistema estacionário, o produto permanece estático e é atravessado por um fluxo de ar propelido por um ventilador acoplado. Quando a umidade relativa do ar for, em média, inferior a 70%, fluxos de ar ambiente adequadamente escolhidos, sem qualquer aquecimento (apesar do aquecimento ao passar pelo ventilador, 1°C por cada 60 mm de H<sub>2</sub>O de pressão estática) são suficientes para secar o produto (Queiroz e Pereira, 1982).

No estudo de secagem estacionária de sementes, Roa e Villa (1977) relatam que a secagem com ar ambiente pode ser realizada em silos completamente cheios (altura da camada de até 5m), sendo possível obter uma eficiência térmica elevada, isto é, o ar sai praticamente sem capacidade de secagem pela sua alta umidade relativa e baixa temperatura.

Rangel et al. (1997), em estudo realizado com secagem de arroz com temperatura ambiente, concluiu que ele mantém sua qualidade fisiológica durante o período de 180 dias de armazenamento e apresenta rendimentos de engenho superiores à secagem realizada em secadores intermitentes. Para Teter (1987), outra vantagem da secagem com ar sem aquecimento é a minimização dos riscos de sobre-secagem, assim como a utilização do próprio silo secador como unidade de armazenamento, reduzindo custos estruturais e operacionais.

Ao verificar diferenças de umidade e qualidade fisiológica em sementes de sorgo, em diferentes pontos do secador em secagem estacionária, com distribuição radial do ar, Cardoso Sobrinho (1997) verificou diferenças significativas no teor de água nas sementes localizadas em diferentes distâncias dos dutos de entrada do ar e os testes de qualidade fisiológica indicaram efeito da secagem nos diferentes pontos da massa, em relação à altura e à distância do duto central.

Elias et al., (2006) estudaram efeitos da temperatura do ar de secagem estacionária na qualidade de grãos de milho e concluíram que a secagem realizada em condições brandas de temperatura (20°C) provoca menos danos imediatos e mais danos latentes aos grãos ao longo de seis meses de armazenamento. A mesma pesquisa mostra que um aumento da temperatura do ar para 50°C ocasiona aumentos nas incidências de danos metabólicos e físicos. Os mesmos autores com estudos de grãos de arroz afirmam que a secagem com temperaturas de até 35°C resulta em menores danos à integridade física e conseqüentemente em maior rendimento de grãos inteiros e que quanto maior for a temperatura dos grãos na secagem, mais intensa é a incidência de defeitos durante o armazenamento.

A literatura registra estudos em secagem estacionária com grãos de trigo (Elias et al., 2006), milho (Elias et al., 2006), sorgo (Sobrinho, 1997) e arroz (Elias et al., 2007), mas não apresenta trabalhos com secagem estacionária de soja. O presente trabalho pretende contribuir para superação desta lacuna.

#### **4.1.1.3 MATERIAL E MÉTODOS**

##### **4.1.1.3.1 Matéria prima**

Grãos de soja produzidos no município de Capão do Leão, localizado no Sul do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em parceria entre produtores rurais da região e a Universidade Federal de Pelotas.

##### **4.1.1.3.2 Métodos**

###### **4.1.1.3.2.1 Colheita**

A colheita foi com automotriz, quando a umidade dos grãos estava próxima a 20% e em seguida o produto foi transportado até o Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, da Universidade Federal de Pelotas, aonde permaneceram em ambiente climatizado, a uma temperatura de 17°C até o momento de cada secagem.

###### **4.1.1.3.2.2 Pré-limpeza e secagem**

Os grãos foram submetidos à operação de pré-limpeza em máquina de peneiras, escala piloto laboratorial, imediatamente antes de cada secagem. As secagens foram em protótipos de secadores estacionários pertencentes ao Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, com quatro

temperaturas do ar: 15, 30, 45 e 60°C, com precisão de  $\pm 5^\circ\text{C}$  em três repetições, conforme diagrama mostrado na Figura 1.

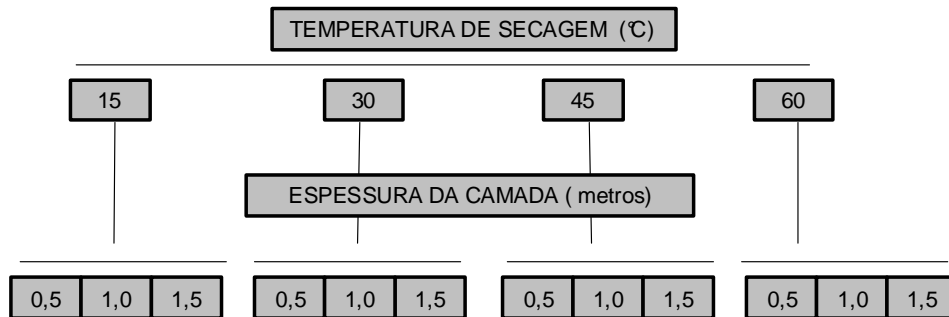


Figura 01. Diagrama das condições de secagem estacionária.

Os silos secadores utilizados foram munidos de três aberturas, sendo a cada 0,5m de altura, com dispositivos que permitem retiradas de amostras, assim como permitem mensurações de temperatura e fluxo de ar, viabilizando o monitoramento dinâmico de cada operação.

Durante a secagem, as coletas de amostras para determinação de umidade foram realizadas em intervalos de três horas na secagem com ar na temperatura ambiente, e a cada duas horas nas demais secagens, que utilizaram ar aquecido.

Para avaliação da temperatura dos grãos, as amostras foram retiradas de cada ponto de coleta do silo secador diretamente para caixas de isopor, as quais permaneciam fechadas durante três minutos, sendo então a temperatura lida em termômetro de mercúrio. As análises de umidade foram determinadas através de estufa com circulação natural de ar por 24 horas em temperatura de  $105^\circ\text{C} \pm 3$ , segundo método oficial do Ministério da Agricultura (Brasil, 1992).

#### 4.1.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições psicrométricas do ar no ambiente de secagem são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Condições psicrométricas do ar ambiente no momento da secagem.

Condição climática	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Gradientes do dia	15 a 18	70 a 85
Gradientes da noite	12 a 14	75 a 88

Nas Figura 02 a 05 são apresentados comportamentos da variação de umidade de grãos de soja ao longo do tempo nas operações de secagem.

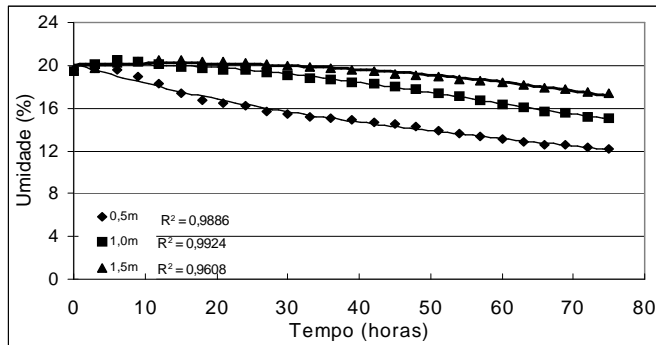


Figura 02: Perfil de umidade dos grãos de soja em função da espessura da camada, na secagem estacionária com ar a 15°C.

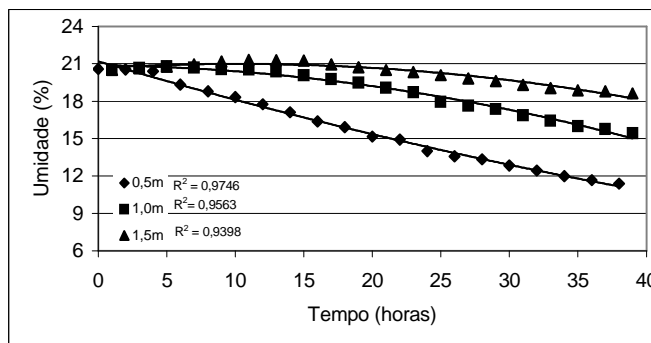


Figura 03: Perfil de umidade dos grãos de soja em função da espessura da camada, na secagem estacionária com ar a 30°C.



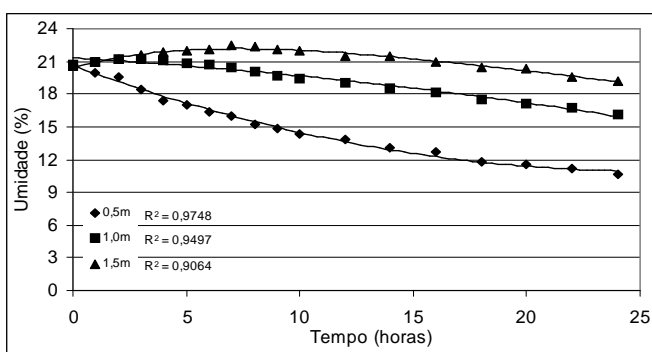


Figura 04: Perfil de umidade dos grãos de soja em função da espessura da camada, na secagem estacionária com ar a 45°C.

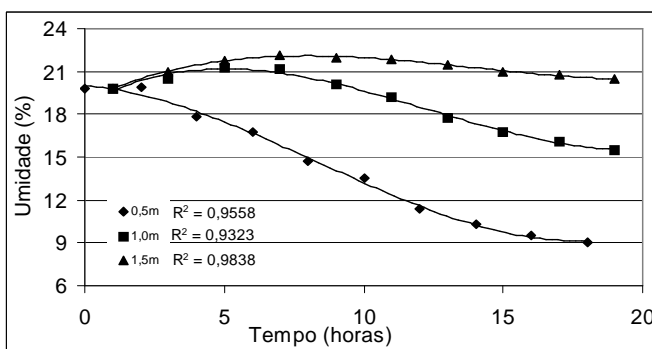


Figura 05: Perfil de umidade dos grãos de soja em função da espessura da camada, na secagem estacionária com ar a 60°C.

Observando-se os dados da Figura 02, é possível verificar que na secagem com ar não aquecido a diminuição da umidade dos grãos foi muito lenta, sendo a secagem finalizada com 78 horas, com valores de umidade na camada de 0,5 m apresentando tendência ao equilíbrio higroscópico com ar ambiente apenas no final da secagem. Já nas camadas mais espessas, a redução da umidade além de ser lenta, foi parcial, proporcionando valores finais próximos a 15% na espessura de 1,0m e 17% na de 1,5m. A secagem estacionária sem aquecimento é dependente das condições psicrométricas do ar, e foi realizada em ambiente com baixas temperaturas do ar e alta umidade relativa (Tabela 01), mas o aquecimento do ar provocado pelas pás do ventilador possibilitou a secagem até valores próximos a 12%.

Observando-se os dados das Figuras 03, 04 e 05, onde aparecem os perfis de variação na umidade nos grãos em secagem com ar aquecido com três

diferentes temperaturas, é possível verificar que a umidade nos grãos de soja diminui com o tempo em todas as camadas, até atingir o equilíbrio higroscópico, mas em tempos cujos comportamentos mostram tendência inversa à temperatura do ar e à espessura da camada que está secando.

Observando-se os comportamentos da variação de umidade dos grãos nas diferentes temperaturas do ar é possível observar que até 30°C (Figuras 02 e 03) as secagens são lentas, mas não aparecem transferências de água das camadas mais baixas para as mais altas como ocorre nas secagens com ar aquecido a 45 e 60°C (Figuras 04 e 05).

Ao final das quatro secagens (Figuras 02 a 05) são observadas formações de diferentes gradientes de umidade dos grãos nas diferentes espessuras de camada e nas diferentes temperaturas do ar de entrada nos silos-secadores.

A secagem com ar a 15°C (Figura 02) proporcionou o menor gradiente equivalente a cinco pontos percentuais verificado entre a camada inferior de 0,5m e a superior de 1,5m de espessura. Quando o ar foi aquecido a 30°C (Figura 03), a 45°C (Figura 04) e a 60°C (Figura 05), os gradientes foram de 7,0; 8,0 e 11,0 pontos percentuais, respectivamente, demonstrando tendência de aumento de gradientes de umidade com o aumento da temperatura do ar, o que significa aumento da desuniformidade na secagem. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de o aquecimento do ar aumentar a sua capacidade de absorção de água. Portanto, as maiores temperaturas possibilitam maiores absorções de água das camadas inferiores, ocorrendo mais rapidamente a saturação do ar, havendo com isso a transferência dessa água para as camadas superiores, através da passagem desse ar mais próximo da saturação, o que altera os tempos de secagem. Isso pode ser evidenciado pelo fato de que, com ar a 15°C, o tempo total de operação alcançou 78 horas, enquanto na realizada a 60°C foram suficientes 18 horas de secagem.

A observação conjunta das secagens (Figuras 02 a 05) permite verificar que o aumento da temperatura do ar de secagem aumenta as chances de ocorrência de super secagem nas camadas inferiores, ainda que a umidade na camada mais espessa apresente valores altos e inadequados quanto ao aspecto do armazenamento seguro, de acordo com a literatura (Elias, 2002).

A tendência de equilíbrio higroscópico é evidente em todas as espessuras, sendo alcançada mais rapidamente na espessura menor e avançando ao longo do tempo para as camadas mais espessas.

Nas Figuras 06, 07, 08 e 09 estão os comportamentos da temperatura dos grãos de soja durante a secagem.

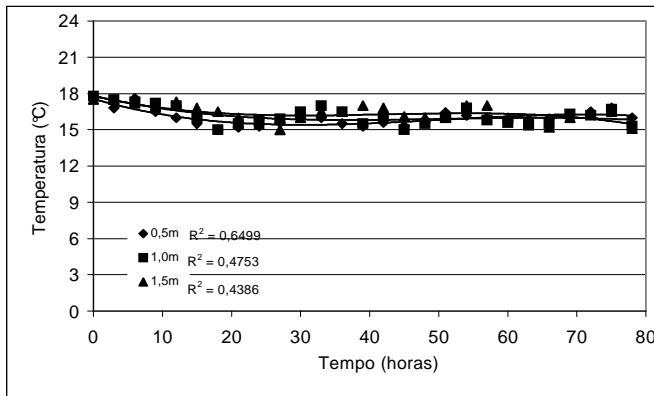


Figura 06: Perfil de temperatura da massa de grãos de soja em diferentes espessuras de camada com secagem a 15°C.

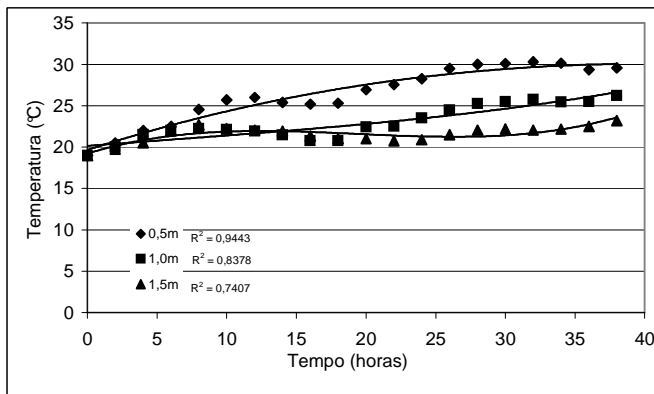


Figura 07: Perfil de temperatura da massa de grãos de soja em diferentes espessuras de camada com secagem a 30°C.

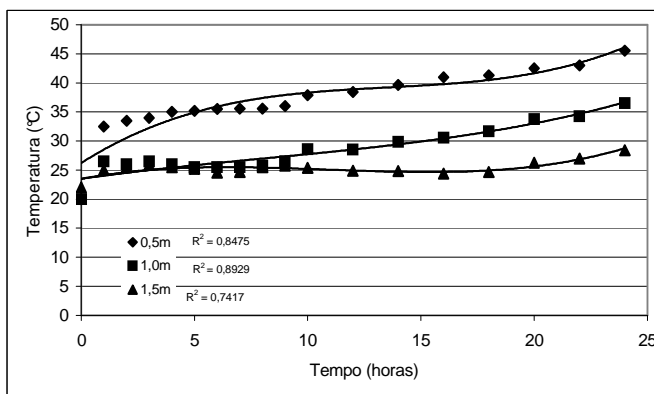


Figura 08: Perfil de temperatura da massa de grãos de soja em diferentes espessuras de camada com secagem a 45°C.

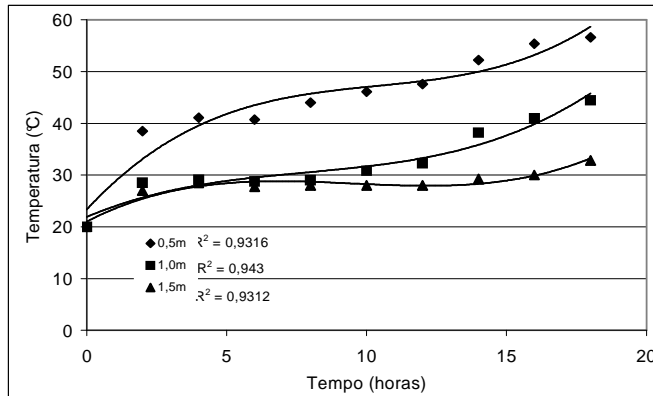


Figura 09: Perfil de temperatura da massa de grãos de soja em diferentes espessuras de camada com secagem a 60°C.

A observação dos dados (Figuras 06 a 09) permite verificar que há tendência de aumento da temperatura dos grãos durante a operação e que esse efeito é mais acentuado na espessura de 0,5m, independentemente da temperatura do ar utilizada, exceto naquela realizada com ar ambiente (Figura 06), a qual permaneceu uniforme em todo o período. O fato de a temperatura dos grãos diminuir à medida que aumenta a espessura da camada decorre da absorção de água pelo ar à medida que ele passa pelo produto e isso é consequência da troca havida na secagem, onde o ar cede calor e recebe água num fenômeno isoentálpico.

O comportamento da temperatura dos grãos apresentou tendência similar ao da umidade, ou seja, nas maiores temperaturas do ar de secagem se formaram os maiores gradientes de temperatura nas camadas mais espessas, evidenciando assim a formação e o avanço da frente de secagem.

Observando-se a Figura 07, resultante da secagem com ar a temperatura de 30°C, o gradiente térmico alcançou 7°C. Na Figura 08, na secagem com ar a 45°C o gradiente formado foi de 17°C, enquanto para a secagem com ar a 60°C foi de 29°C (Figura 09). Esse aspecto da temperatura dos grãos é muito importante pelo fato de que isso pode ser um agravante na qualidade dos grãos, podendo causar danos imediatos e/ou latentes quando os grãos ultrapassam determinadas temperaturas limites pré-estabelecidas. O maior problema enfrentado durante o processo de secagem, é a temperatura alcançada pelos grãos e o tempo de exposição a essa temperatura, o que pode ocasionar graves injúrias, prejudicando a qualidade tecnológica e nutritiva dos grãos.

Nas Figuras 10, 11 e 12 são apresentados os perfis de umidade de grãos de soja em função da espessura da camada.

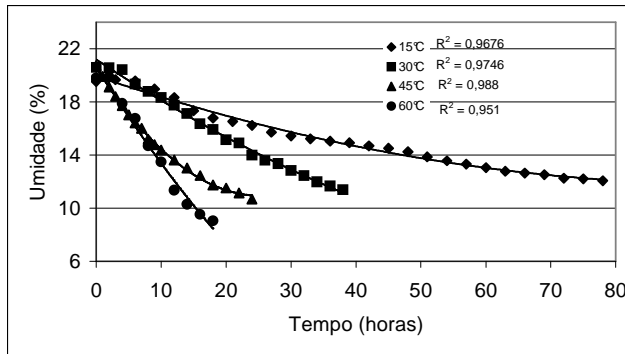


Figura 10. Perfil de umidade de grãos de soja, com espessura da camada de 0,5m para quatro temperaturas de secagem.

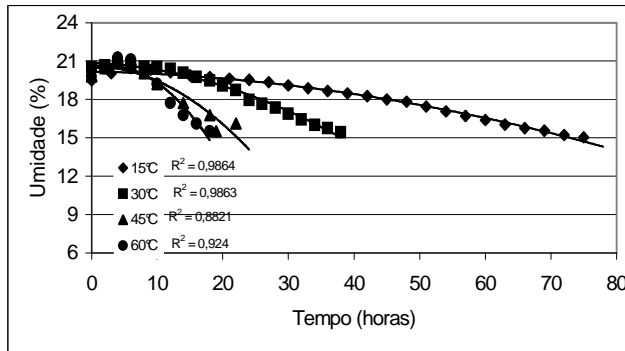


Figura 11. Perfil de umidade de grãos de soja, com espessura da camada de 1,0m para quatro temperaturas de secagem.

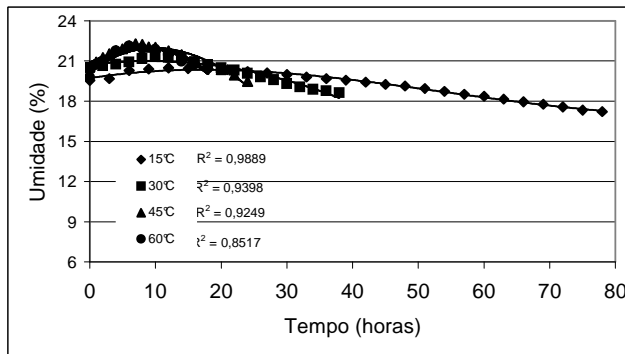


Figura 12. Perfil de umidade de grãos de soja, com espessura da camada de 1,5m para quatro temperaturas de secagem.

Observa-se uma redução da umidade nas espessuras estudadas, principalmente na de 0,5m, com tendência a atingir equilíbrio higroscópico com o ar, independentemente da temperatura utilizada. Nota-se que os grãos ao atingirem o equilíbrio higroscópico com as características do ar, nas temperaturas de 45 e 60°C, apresentam uma super secagem, ou seja, alcançam valores muito baixos quando comparados com a umidade de comercialização no Brasil.

França Neto et al., (1998) afirmam que os danos da secagem excessiva são consequência da redução do teor de água de sementes ou grãos abaixo de 10%. Os danos são caracterizados por trincas transversais nos cotilédones, sempre na mesma posição, e quando submetidos a um impacto mecânico, quebram preferencialmente nessa mesma posição.

No sistema de secagem estacionária, a utilização de baixas temperaturas é recomendada e necessária, para evitar o problema de surgimento de regiões no secador que atinjam umidades muito baixas, ocasionando danos aos grãos.

Em relação à espessura de camada de 1,5m, evidencia-se uma pequena redução de umidade no final do processo, resultando numa espessura inadequada de secagem para essas condições do experimento.

Nas Figuras 13, 14 e 15 estão representadas as temperaturas dos grãos em função das espessuras de camada, para quatro temperaturas do ar de secagem.

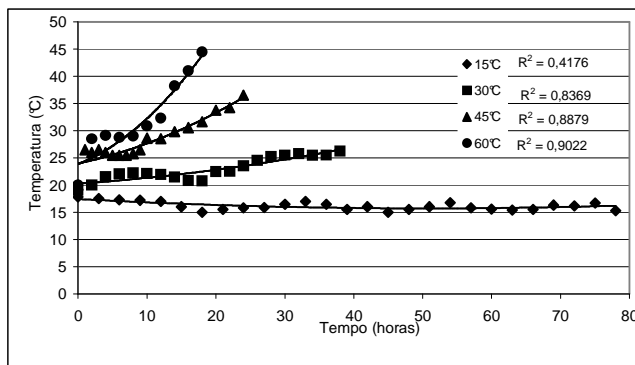


Figura 13. Perfil de temperatura de grãos de soja, com espessura da camada de 0,5m para quatro temperaturas de secagem.

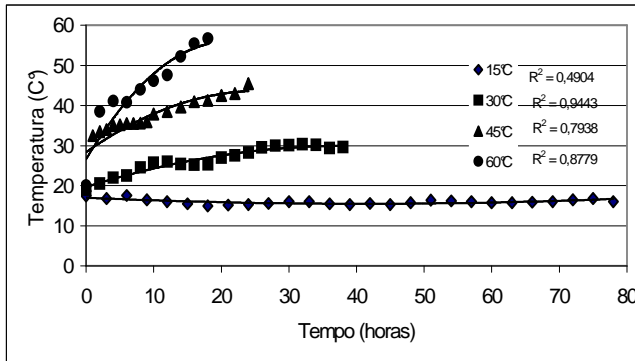


Figura 14. Perfil de temperatura de grãos de soja, com espessura da camada de 1,0m para quatro temperaturas de secagem.

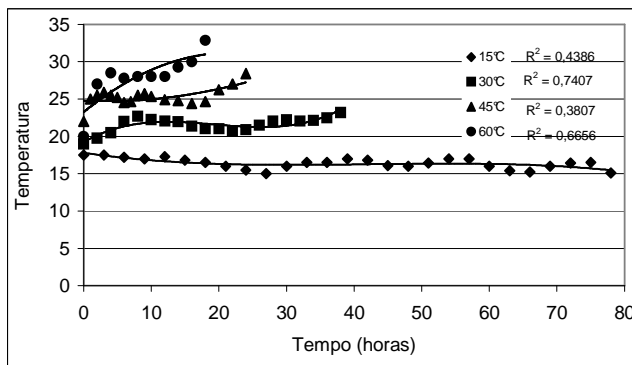


Figura 15. Perfil de temperatura de grãos de soja, com espessura da camada de 1,5m para quatro temperaturas de secagem.

Observa-se um comportamento similar ao da umidade (Figuras 10 a 12), onde quanto maior a temperatura do ar de secagem, maiores também são os gradientes de temperaturas entre as diferentes camadas, todas com tendência de equilíbrio com as condições de temperatura do ar de secagem.

#### 4.1.1.5 CONCLUSÕES

a) A secagem estacionária com ar a 15°C é a mais de morada quando comparada àquelas com aquecimento do ar, sendo viável para espessuras de até 0,5m;

b) Na secagem com ar aquecido a 30°C não há super secagem, mas há desuniformidade quando a espessura da camada dos grãos for superior a 1,0 m;

c) A secagem com ar aquecido de 45 e 60°C é viável somente com espessura de camada de grãos de até 1,0m, havendo super secagem nas camadas de 0,5m;

d) A secagem com ar aquecido de 45 e 60°C não é recomendada para camadas de grãos superiores a 1,0m;

e) Quanto maior for a temperatura do ar de secagem mais aumentam os gradientes de umidade entre as diferentes espessuras das camadas de grãos, ocasionando desuniformidade na secagem.



## **4.1.2 ESTUDO II**

### **AVALIAÇÃO DE MODELOS NA SIMULAÇÃO MATEMÁTICA NA SECAGEM DE GRÃO DE SOJA EM CAMADA DELGADA**

#### **4.1.2.1 INTRODUÇÃO**

Com o estudo e o desenvolvimento de novas tecnologias na etapa de pós-colheita, especialmente na secagem, o produtor pode optar pelo momento mais adequado para realização da operação de colheita nas lavouras de soja. Dentre as alternativas, uma é a colheita do produto seco, com umidade que permita armazenagem segura, e a outra, a antecipação da colheita, permitindo a realização desta quando o produto se encontra com umidade alta (18 a 20%), com o máximo acúmulo de matéria seca e conseqüentemente o máximo valor qualitativo. A secagem de produtos agrícolas é uma das formas mais antigas de preservação de alimentos conhecidas pelo homem, e é o mais importante processo de preservação desde que se identificou a alta conservação das características de qualidade em produtos armazenados secos. São vários os métodos utilizáveis na secagem de cereais e grãos oleaginosos, e dentre esses a secagem estacionária (leito fixo) tem sido muito estudada por pesquisadores do mundo todo nos últimos anos, envolvendo análises de aspectos econômicos, tecnológicos e simulações. A secagem em camada delgada é o processo no qual o material a ser seco está inteiramente exposto ao ar que se move através dele (Queiroz et al.,1985).

A simulação se baseia em modelos, ou seja, em conjuntos de suposições, em geral na forma de relações lógicas ou matemáticas, utilizadas para descrever como um sistema se comporta. Por meio da simulação, a avaliação do modelo pode ser realizada de maneira mais rápida e eficiente, gerando resultados que possibilitem estimar as características reais do processo. Dessa forma, são evitados gastos exagerados na execução de um determinado experimento, utilizando menos tempo e diferentes possibilidades podem ser analisadas para um mesmo processo.

A simulação da secagem é definida como o uso de modelos matemáticos para prever a dinâmica da secagem de grãos, contribuindo para o entendimento dos mecanismos e processos envolvidos durante toda a operação.

A técnica de simulação matemática do processo de secagem permite que se avaliem os graus de influência de cada uma das variáveis sobre o teor de água final, o tempo de secagem e, conseqüentemente, da qualidade do produto seco. Além disso, permite aos projetistas, engenheiros e técnicos desenvolverem ou otimizarem modelos de secadores que melhor se adaptem a determinada espécie, sem a necessidade de construir protótipos até que se chegue ao modelo mais adequado. As equações obtidas permitem avaliar também o comportamento do produto sob quaisquer condições psicrométricas do ar em diversos métodos de secagem, sejam em camada fixa, em fluxos cruzados, concorrentes, contracorrentes, mistos, em secadores com inversão do fluxo de ar ou com reaproveitamento do ar de secagem, estabelecendo quais as combinações que resultam em um produto de melhor qualidade (Dionello, 2005).

Os modelos teóricos que empregam a teoria da difusão podem descrever de forma aceitável o perfil da distribuição de água no interior de determinado produto agrícola desde que seja possível correlacionar sua forma à geometria de um sólido perfeito, além da exigência do estabelecimento de uma relação funcional entre o coeficiente de difusão, o teor de água e a temperatura. Por outro lado, muitos pesquisadores têm preferido utilizar equações empíricas de secagem (Souza, 2002; Abu-Hamdeh, 2004; Lopez, 2005; Akpinar, 2006; Cihan, 2006). O uso de modelos matemáticos para simular a operação de secagem em secadores tem se tornado uma ferramenta importante para os engenheiros que trabalham na área de secagem e armazenagem de grãos (Queiroz et al., 1999; Souza, 2002; Mohapatra e Rao, 2005). De acordo com Queiroz et al. (1985), modelos semi-teóricos de secagem em camada delgada seriam aqueles que concorreriam para que houvesse harmonia entre a teoria e a facilidade de uso.

Os modelos semi-teóricos oferecem freqüentemente facilidade de uso, sendo válidos somente para as faixas de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e teor de água em que eles foram obtidos (Mohapatra e Rao, 2005).

Na modelagem matemática da secagem de grãos de cereais e oleaginosas, devido ao valor relativamente reduzido do teor de água inicial, o processo de transferência de massa é governado exclusivamente por processos de difusão

interna de água ou vapor, e ocorre totalmente na fase conhecida como secagem à taxa decrescente. Outro fator que facilita a criação de modelos teóricos de secagem de grãos por convecção é o fato de as dimensões desses produtos não serem significativamente alteradas do início ao fim do processo, ou seja, o grau de redução de volume não precisa ser incluído no modelo para que sejam obtidos resultados satisfatórios (Pabis, 1999).

De acordo com Queiroz et al. (1985) são dois os métodos comumente usados para analisar a secagem de produtos biológicos no período de taxa decrescente: o empírico e o teórico. O método empírico consiste em formar grupos físicos adimensionais que possam ser facilmente investigados por experimentos de laboratório e se baseia em condições externas, como temperatura, razão da mistura e velocidade do ar de secagem. Entretanto, não fornece indicação sobre o transporte de energia e de água no interior dos produtos. Os métodos teóricos usados para descrever o processo de secagem são baseados em leis físicas que tentam explicar o mecanismo de transferência de calor e água.

Considerando-se as diferentes condições que o produto enfrenta durante a secagem, no presente trabalho os objetivos foram avaliar e identificar o melhor modelo matemático em função de diferentes temperaturas utilizadas na secagem estacionária em camada delgada de grãos de soja.

#### **4.1.2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizados grãos de soja, colhidos com umidade próxima a 20%, transportados até o Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, da Universidade Federal de Pelotas, onde foram armazenados em ambiente controlado com 17°C até o início das operações de secagem.

A secagem foi realizada em secador estacionário piloto, com aquecimento do ar em três temperaturas, 30, 45 e 60°C com variações de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . O acompanhamento da temperatura do ar, realizado por controle automático, com uso de sensores instalados junto a diversos pontos no interior do secador, foi realizado em altura de camada de 0,20m, com três repetições para cada secagem, totalizando 30 kg de grãos em cada operação.

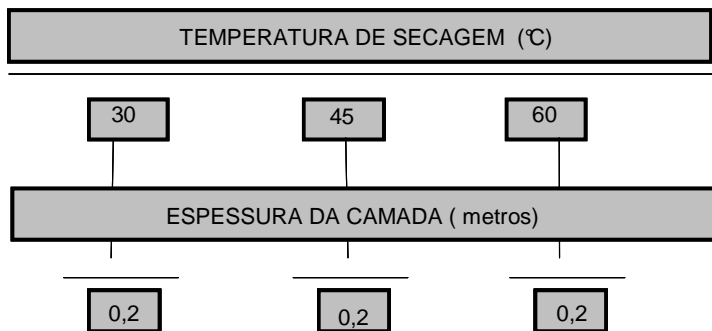


Figura 16: Diagrama do sistema de secagem utilizado para aplicação de modelagem matemática.

#### 4.1.2.2.1 Ajuste dos Modelos Matemáticos

#### 4.1.2.2.2 Umidade de Equilíbrio

A umidade de equilíbrio de um material, sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa, é definida como o teor de água correspondente ao equilíbrio entre as pressões de vapor da água existente no material e aquela presente no meio ambiente, ou seja, quando a pressão de vapor do grão é igual à pressão de vapor do ar. É esta variável que determina o grau mínimo de umidade que o material pode atingir sob determinadas condições operacionais. Para o cálculo da umidade de equilíbrio dos grãos foi utilizada a equação de Halsey-modificada (Osborn et al., 1989), citado por Barrozo et al., (1996):

$$U_{eq} = ((-\exp(-0,00672 \cdot T_s + 3,02)) / \ln(UR))^{1/1,508}$$

Onde

$U_{eq}$  = Umidade de equilíbrio

$T_s$  = Temperatura de secagem

UR = Umidade relativa do ar, em %

#### 4.1.2.2.3 Formulação Matemática

As diferentes equações mostradas na Tabela 02 foram utilizadas com o objetivo de identificar o modelo mais adequado para a simulação da secagem estacionária de grãos de soja, realizada em camada delgada, sendo que os valores experimentais foram calculados pela equação expressa a seguir:

$$RU = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}$$

Onde RU é a razão de umidade (adimensional),  $M_t$ ,  $M_0$ ,  $M_e$  são os valores de umidade medidos no tempo  $t$ , no início da secagem e no equilíbrio higroscópico, respectivamente.

Os dados experimentais de secagem em camada delgada foram ajustados aos cinco modelos matemáticos de secagem em camada delgada, apresentados na Tabela 02. Nesse quadro,  $k$ ,  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $n$ , representam as constantes dos modelos, RU é a razão de umidade e  $t$  é tempo de secagem. Foram avaliados os seguintes modelos matemáticos:

Tabela 02. Modelos matemáticos avaliados na secagem estacionária de grãos de soja.

	Modelos	Equação
1	Page	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$
2	Midilli	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$
3	Henderson & Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
4	Henderson & Pabis Modificado	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$
5	Lewis	$RU = \exp(-k \cdot t)$

Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais de secagem, através de análise de regressão não-linear pelo método Simplex e Quasi-Newton, utilizando-se o programa computacional STATISTICA® 6.0, sendo os valores dos parâmetros dos modelos estimados em função da temperatura do ar de secagem.

O grau de ajuste do modelo aos dados experimentais foi avaliado em função da magnitude do coeficiente de determinação ajustado ( $r^2$ ), dos menores valores do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE) e da verificação da falta de ajuste do modelo estatístico, pela análise dos resíduos e dos gráficos de correspondência entre os valores estimados e observados.

Através das equações a seguir, foram calculados o erro médio relativo (P) e o erro médio estimado (SE), para cada modelo.

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y}$$

e

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y_o)^2}{GLR}}$$

onde:

n - número de observações

Y - valor observado experimentalmente

Y<sub>o</sub> - Valor calculado pelo modelo

GLR - graus de liberdade do modelo

O experimento foi realizado empregando-se um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

#### 4.1.2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 17 apresenta os resultados das condições psicrométricas médias do ar durante todo o mês de maio/06, correspondente ao período de realização do experimento.

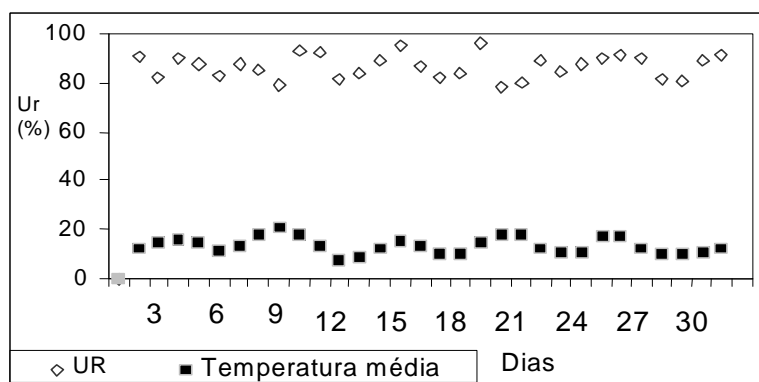


Figura 17: Condições ambientais médias de temperatura e umidade relativa do ar do mês de maio/06.

Fonte: Estação Agrometeorológica de Pelotas.

Pode-se observar na Figura 17 que os valores médios de umidade relativa durante o período de realização do experimento foram sempre superiores a 70% e as temperaturas médias máximas não ultrapassaram 25 °C.

Nas Fig. 18, 19 e 20 são mostrados os resultados dos testes experimentais e simulados dos teores de água dos grãos de soja durante a operação de secagem e mostram a influência da temperatura do ar na taxa de remoção de água.

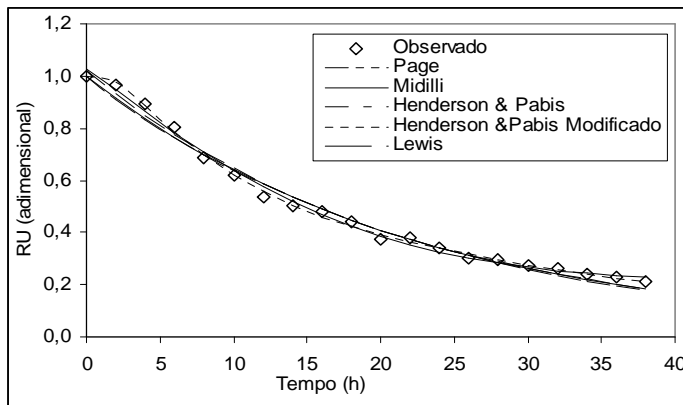


Figura 18: Valores experimentais e simulados, em secagem realizada com aquecimento do ar a 30°C.

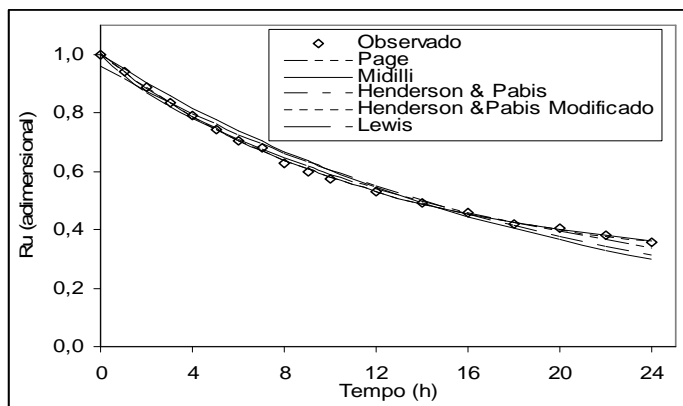


Figura 19: Valores experimentais e simulados, em secagem realizada com aquecimento do ar a 45°C.

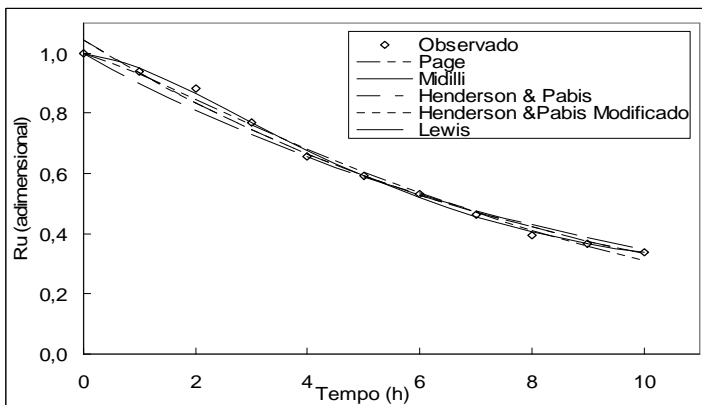


Figura 20: Valores experimentais e simulados, em secagem realizada com aquecimento do ar a 60°C.

As configurações das curvas obtidas com os resultados observados e simulados apresentam resultados muito semelhantes na secagem a 30°C (Figura 18), mostrando valores simulados subestimados no período inicial da secagem. A partir das 8 horas, os valores simulados são superestimados, voltando a valores subestimados a partir das 30 horas. Para a secagem em temperatura de 30°C, o valor do coeficiente de determinação ajustado ( $r^2$ ), variou de 0,9868 a 0,9980, o valor do erro médio relativo (P) variou de 1,8162% a 5,7872% e o valor do erro médio estimado (SE) variou de 0,0224 a 0,1282 entre os modelos estudados. O modelo de Henderson & Pabis Modificado foi o que apresentou o maior valor do  $r^2$  (0,9980) e os menores valores para P (1,8162%) e SE (0,0224), mostrando ser o modelo que mais se ajusta a estes dados de secagem, resultados estes apresentados na Tabela 3.

A secagem com aquecimento do ar a 45°C (Figura 19), mostra que nos grãos com elevados teores de água iniciais os valores simulados foram superiores aos experimentais, ocorrendo uma inversão final do processo, quando o teor de água é reduzido. Os resultados apresentados na Tabela 3, para a secagem em temperatura de 45°C, mostram que o valor do coeficiente de determinação ajustado ( $r^2$ ) variou de 0,9762 a 0,9995, o valor do erro médio relativo (P) variou de 0,6807 a 4,8811% e o valor do erro médio estimado (SE) variou de 0,0086 a 0,1276 entre os modelos estudados. O modelo de Henderson & Pabis Modificado foi o que apresentou o maior valor do  $r^2$  (0,9995) e os menores valores para P (0,6807%) e SE (0,0086), mostrando também ser o modelo que mais se ajusta a estes dados de secagem. Resende (2006), estudou diversos modelos de secagem, sendo quatro dos estudados presentes nesse experimento, com exceção do modelo de Lewis, em feijão preto nas temperaturas de secagem de 35 e 45 °C, obteve com os melhores ajustes aos dados de secagem os modelos de Page e Midilli.

A Figura 20 representa a secagem com ar a 60°C, mostrando valores simulados e observados muito próximos. Os resultados apresentados na Tabela 3, para a secagem em temperatura de 60°C, mostram que o valor do coeficiente de determinação ajustado ( $r^2$ ) variou de 0,9811 a 0,9980, o valor do erro médio relativo (P) variou de 1,2342% a 3,5529% e o valor do erro médio estimado (SE) variou de 0,0196 a 0,1034, entre os modelos estudados. O modelo de Midilli foi o que apresentou o maior valor do  $r^2$  (0,9980) e os menores valores para P (1,2342%) e SE (0,0196), que prova ser o modelo que mais se ajusta a estes dados de secagem). Ertekin e Yaldiz (2004), ao avaliarem a adequação de 14 modelos de



secagem em camada delgada, incluindo os quatro avaliados no presente trabalho, com exceção do modelo de Lewis, verificaram que o melhor desempenho foi obtido pelo modelo de Midilli, para temperaturas variando de 30 a 70°C. Resultados semelhantes aos obtidos por Akpinar (2006), para maçã, abóbora e batata, testando diversos modelos e incluindo os mesmos quatro testados neste trabalho, com exceção do modelo de Lewis, em temperaturas de 60 a 80 °C.

Para as três temperaturas de secagem estudadas, os baixos valores do P(%) indicam bons ajustes dos modelos matemáticos estudados, o que, de acordo com Mata & Dantas (1998), um modelo matemático para ser considerado satisfatório deve atingir valores sempre menores do que 20% para erro médio relativo.

Como efeito esperado, o aumento da temperatura do ar promoveu uma maior velocidade da operação de secagem, reduzindo o tempo. Esses dados estão de acordo com Gong et al., (1997), que estudaram efeitos da temperatura do ar na taxa de remoção de água em grãos de trigo utilizando temperatura crescente do ar. No entanto, o aumento da temperatura do ar deve ter um limite, porque existem temperaturas críticas que devem ser respeitadas, que acima destas podem ocasionar danos térmicos nos grãos, principalmente trincamentos, que resultam em altas perdas durante curtos períodos de armazenamento, além de facilitar a ocorrência de danos por insetos e fungos.

Segundo Souza (2002), a diferença entre os resultados simulados e experimentais nas secagens pode estar associada à uniformidade de distribuição do ar ao no secador, já que o modelo utilizado assume que o ar foi distribuído uniformemente no secador.

Na Tabela 03 são apresentados os valores dos coeficientes de determinação ajustados ( $r^2$ ), erro médio relativo (P) e erro médio estimado (SE) que foram obtidos por meio de regressão não linear dos dados experimentais de secagem de grãos de soja, considerando diferentes temperaturas de aquecimento do ar como variáveis independentes.

Tabela 03: Desempenho (P, SE e  $r^2$ ) de cinco modelos matemáticos na descrição da secagem em camada delgada em três temperaturas (30, 45 e 60 °C) de grãos de soja.

Modelos	Temperatura			
	do ar (°C)	P (%)	SE	$r^2$
Page	30	5,1031	0,1280	0,9868
	45	1,8915	0,0522	0,9960
	60	2,5599	0,0568	0,9943
Midilli	30	3,4300	0,0477	0,9945
	45	0,7784	0,0120	0,9994
	60	1,2342	0,0196	0,9980
Henderson & Pabis	30	5,7872	0,1237	0,9877
	45	3,6786	0,1022	0,9847
	60	2,5900	0,0791	0,9890
Henderson & Pabis Modificado	30	1,8162	0,0224	0,9980
	45	0,6807	0,0086	0,9995
	60	2,5900	0,0354	0,9890
Lewis	30	5,3407	0,1282	0,9868
	45	4,8811	0,1276	0,9762
	60	3,5529	0,1034	0,9811

Nos resultados apresentados na Tabela 03 é possível verificar que todos os modelos matemáticos se ajustaram com bom grau de precisão aos dados observados de razão de umidade na secagem de grãos de soja, apresentando coeficientes de determinação acima de 97% e erros médios estimados abaixo de 0,13% para todas as temperaturas estudadas. Coeficientes de determinação ( $r^2$ ) acima de 97% indicam um bom ajuste do modelo para representação do fenômeno de secagem (Madamba et al., 1996; Andrade et al., 2003). O modelo dentre os cinco estudados que apresentou menor desempenho foi o de Lewis, apresentando os menores valores de  $r^2$  e os maiores valores de P e SE, para as três temperaturas estudadas. De acordo com Draper e Smith (1981), o valor de SE é inversamente proporcional à capacidade do modelo em descrever com fidelidade o fenômeno. Todos os modelos apresentaram valores para o erro médio relativo (P) abaixo de

10%, o que é considerado como aceitável conforme diversos autores (Madamba et al., 1996; Park et al., 2002; Kaymak-Ertekin e Gedik, 2005; Mohapatra e Rao, 2005).

Embora várias teorias tenham sido propostas para prever o comportamento da secagem de grãos, na maioria das vezes, as relações empíricas e semi-empíricas têm se mostrado como melhores opções para prever o processo de secagem, apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (Brooker et al., 1992). Trabalhando com secagem de arroz em camada delgada, Abe e Afzal (1997) usaram vários modelos matemáticos, em secagem natural e artificial, e encontraram os melhores ajustes para o modelo de Page. Kahveci (2006) estudou diferentes tempos de temperagem em secagem de arroz com casca, e encontrou o modelo de Midilli como o que melhor se ajustou aos dados.

#### **4.1.2.4 CONCLUSÕES**

a) Todos os modelos estudados apresentaram bom ajuste aos dados experimentais para a secagem de soja em camada delgada nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C;

b) Para as temperaturas de secagem de 30 e 45 °C, o modelo de Henderson e Pabis Modificado foi o que apresentou os melhores ajustes em relação aos dados experimentais;

c) Para a temperatura de secagem de 60 °C, o modelo de Midilli foi o que apresentou os melhores ajustes em relação aos dados experimentais.

## **4.2. EXPERIMENTO II: ARMAZENAMENTO**

### **4.2.1 EFEITOS DA TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM E DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO SOBRE A CONSERVABILIDADE DE GRÃOS DE SOJA**

#### **4.2.1.1 INTRODUÇÃO**

Os fatores que afetam os produtos durante o armazenamento, incluem as condições ambientais, as condições em que foi realizada a colheita, a umidade do grão e a temperatura com que os grãos foram armazenados.

O armazenamento pode ser realizado através de vários sistemas, como a granel, em sacaria, hermético, com atmosfera modificada ou não. Em qualquer circunstância, o armazenamento deve ser compatível com as características de cada espécie e com a quantidade de grãos. Também deve ser levada em conta a estrutura que irá armazenar os grãos, para que se possa fazer o controle e manejo operacional adequado durante o período de armazenamento.

As informações a respeito de armazenamento de grãos são limitadas no Brasil, por isso são necessários estudos que gerem conhecimentos fundamentais para manter a qualidade dos grãos em toda a cadeia produtiva.

Historicamente o Brasil teve como estratégia comercializar a soja na entressafra dos Estados Unidos, pois conseguia preços mais compensadores no mercado internacional, sendo os grãos destinados ao mercado interno armazenados predominantemente nas indústrias, cooperativas e cerealistas. Em consequência disso o país não se estruturou para armazenar soja nas propriedades rurais e nem desenvolveu tecnologias adequadas a esse segmento, o qual exige condições específicas pelas próprias limitações que lhes são características.

No armazenamento os grãos fazem parte de um ecossistema, no qual os elementos bióticos (grãos, insetos e microflora) e abióticos (impurezas, ar intergranular, vapor d'água e estrutura de armazenagem) são afetados, tanto

química como biologicamente, por fatores ambientais como temperatura, umidade e composição do ar. Esses componentes são as variáveis do sistema e estão continuamente interagindo entre si (Athié et al., 1998).

Objetivou-se, com o trabalho, estudar as influências da temperatura do ar na secagem estacionária e das condições ambientais no armazenamento sobre a conservabilidade de grãos de soja.

#### **4.2.1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nos últimos anos têm aumentado consideravelmente a demanda de estudos no que se refere a métodos aplicáveis a agroindústrias e a agricultores, os quais praticam cada vez mais as atividades de pós-colheita na unidade de produção rural, contribuindo assim para o avanço nas informações sobre colheita, secagem e armazenamento, que auxiliam na manutenção da qualidade dos grãos armazenados (Martins, 2003).

As condições de armazenamento se refletem diretamente no rendimento e na qualidade do produto final, por isso certas propriedades dos grãos devem ser consideradas nesse contexto. As reações químicas envolvidas no processo respiratório são controladas por enzimas e o aumento da umidade dos grãos favorece a atividade biológica porque as enzimas e o substrato são mais facilmente mobilizados para o processo. Quanto maior for a temperatura, maior será a atividade respiratória dos grãos, aumentando assim a deterioração da matéria prima (Moretto & Fett, 1998; Elias, 2002; Soares, 2005). No armazenamento, fatores como a umidade e a temperatura dos grãos armazenados precisam ser levados em conta, pela importância que têm no sistema.

A umidade dos grãos, o tempo e as condições de armazenamento são os principais fatores que agem sobre a qualidade do produto, influenciando diretamente no metabolismo de grãos, na atividade de fungos e outros organismos associados.

Manter a qualidade do grão é o principal objetivo de um administrador de unidade armazenadora. Procedimentos e condições de armazenagem segura possibilitam preservar as características qualitativas dos grãos por longos períodos (Elias, 2002; Rupollo, 2003).

O conceito de grau de umidade tem origem no fato de os grãos serem constituídos de um complexo de substâncias sólidas, denominado de matéria seca, e de certa quantidade de água. O teor de água contido nos grãos é o principal fator

que governa as qualidades do produto e sua determinação deve ocorrer desde a colheita até o beneficiamento. Os grãos são produtos higroscópicos e, como tais, sofrem variações no seu conteúdo de água, de acordo com as condições do ar ambiente que os circundam (Lasseran, 1978; Puzzi, 2000, Elias et al., 2006).

Segundo Brooker et al. (1992), grãos com umidade entre 16 e 18,5% podem ser armazenados com segurança por período de 3 a 18 meses se ocorrer a redução da temperatura do grão para valores entre 3 e 10°C. O desenvolvimento de fungos e insetos, assim como as perdas de germinação das sementes são inibidos nesta faixa de temperatura. Existe uma tendência de expansão do uso de resfriamento para grãos armazenados, mas que não irá substituir a secagem. Juntamente com a secagem, o resfriamento permite maior tempo de espera antes da secagem (Elias et al., 2006), mas é um processo de alto custo, embora possibilite a preservação da qualidade ao reduzir o desenvolvimento microbiano e de insetos.

Os valores de umidade nos quais ocorre aumento expressivo na taxa respiratória estão próximos daqueles nos quais o aquecimento e a deterioração se iniciam no armazenamento. Os valores críticos de grau de umidade são de 14% para cereais e 11% para sementes oleaginosas (Athié et al., 1998; Teixeira, 2001).

Em estudo similar, Cerqueira et al. (1979), avaliaram a influência da umidade inicial sobre a qualidade de soja armazenada em dois níveis de umidade (10 e 14%), durante nove meses em Goiânia - GO, concluíram que, após três meses de armazenamento, a umidade estava próxima de 10%, não ocorrendo efeitos negativos sobre a qualidade fisiológica das sementes durante todo o período.

Temperaturas elevadas provocam alterações bioquímicas nos grãos e, durante a secagem podem prejudicar a qualidade do produto. Temperaturas elevadas também afetam a viabilidade das sementes e em umidades relativas mais elevadas, sementes mortas são mais susceptíveis a invasão por fungos. Em grandes volumes de grãos armazenados a granel, o efeito da temperatura é limitado, devido à baixa condutibilidade térmica dos grãos. No entanto, quando o volume da massa for pequeno ou o armazenamento ocorrer em sacaria, o efeito da temperatura ambiente é maior e ocorre num tempo mais curto (Athié et al., 1998).

De acordo com Acasio (1997), soja com umidade de até 14%, se mantida entre 5 a 8°C, pode ser armazenada por mais de dois anos sem danos causados por fungos, enquanto que se mantida a 30°C pode ser invadida por fungos em poucas semanas e ser severamente danificada em seis meses. O mesmo autor afirma que a

soja pode ser armazenada com 10,5% de umidade em qualquer temperatura, sem ser danificada por ataque de fungos. Entretanto, com esta umidade, pode haver infestação de insetos, a menos que a temperatura seja mantida abaixo de 20°C. Além do mais, durante o armazenamento, os grãos tendem a entrar em equilíbrio hídrico e térmico com o ar ambiente.

A umidade de equilíbrio ou equilíbrio higroscópico é o grau de umidade dos grãos quando em equilíbrio com o ar que os envolve, sendo dependente da espécie, da variedade, do grau de maturidade e das condições prévias a que o grão foi submetido. O conhecimento do grau de umidade de equilíbrio é muito importante nos processos de secagem de grãos porque ele representa o valor limite de redução do conteúdo de umidade para determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar. Quando a pressão de vapor da água do grão é igual a do ambiente ao seu redor, seu grau de umidade é igual à umidade de equilíbrio. Assim, nessa condição, a umidade relativa do ar é denominada de umidade relativa de equilíbrio. Quando se alcança esta condição, a taxa de transferência de água dos grãos para o ambiente é igual à taxa transferência de água do ambiente para os grãos. Essa condição é denominada equilíbrio dinâmico.

O conceito de umidade de equilíbrio é importante no estudo da secagem de grãos uma vez que determina o menor grau de umidade (condições limites) no qual o grão pode ser secado sob determinadas condições de secagem (Brooker et al., 1992).

A umidade de equilíbrio dos grãos com elevado conteúdo de óleo é menor do que dos grãos com altos teores de amido e/ou de proteínas nas mesmas condições de temperatura e umidade relativa do ambiente. Por exemplo, a 25°C e 70% de umidade relativa o conteúdo de umidade de equilíbrio da soja é de 11,5% e para o trigo é de 13,9% (Elias et al., 2007).

As diferentes variedades de uma mesma espécie apresentam composição química com pequenas diferenças e o mesmo ocorre com grãos com diferentes fases de maturidade. Uma alteração na composição química pode modificar consideravelmente o valor da umidade de equilíbrio de produtos biológicos. Em secagem artificial, por exemplo, pode ser diminuída a umidade de equilíbrio do milho em 0,5 a 1,0 %, em razão de modificações químicas que ocorrem nos grãos, quando submetido à secagem e a temperatura do grão atinge valores superiores a 60°C (Brooker et al., 1992).

A qualidade dos grãos é fator fundamental tanto na armazenagem quanto no comércio, na indústria e no consumo.

No caso de grãos de soja, há indicadores de qualidade como os definidos pela Portaria Ministerial 262, de 23 de novembro de 1983 (Brasil, 1992), tanto para comércio interno como para exportação. A ANEC (Associação Nacional dos Exportadores de Cereais) utiliza para a exportação o mesmo padrão da portaria ministerial que avalia os parâmetros de umidade, grãos avariados, grãos quebrados, grãos verdes, impurezas e matérias estranhas.

Dependendo da empresa compradora do produto e da destinação do mesmo, atualmente há busca por informações sobre parâmetros mínimos de qualidade, como teores de proteínas e conteúdos de óleo e acidez, que são relativamente simples e rápidos de analisar. Esses parâmetros são influenciados pelas práticas de manejo do produto, tanto na secagem como no armazenamento e uma correta avaliação dos parâmetros possibilita a padronização dos produtos.

O mercado qualitativo já é uma realidade da qual o setor armazenador não pode excluir-se sob alegação da falta de condições imediatas de adequação. Sendo assim, será necessário estreitarem-se os laços comerciais com o mercado interno, para ajustes de preços aos produtos de melhor qualidade (Fink, 1993; Lorini, 2006).

A padronização protege os direitos de todas as partes intervenientes na indústria para processamento de grãos e, assim, assegura classificações justas e preços honestos para compradores e vendedores, regula os encargos de movimentação das empresas de grãos, ou seja, garante a qualidade (Bevilaqua, 1994).

#### **4.2.1.3 MATERIAL E MÉTODOS**

##### **4.2.1.3.1 Matéria prima**

Grãos de soja produzidos no município de Capão do Leão, localizado no Sul do Estado do Rio Grande do Sul, em parceria com produtores rurais da região e a Universidade Federal de Pelotas, tiveram as operações de pós-colheita realizadas no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, da Universidade Federal de Pelotas.



#### 4.2.1.3.2 Métodos experimentais

O delineamento utilizado foi o completamente casualizado, num esquema fatorial 4 X 3 X 2 (4 temperaturas de secagem X 3 tempos de armazenamento X 2 temperaturas de armazenamento), com três repetições para cada tratamento, conforme o diagrama a seguir.

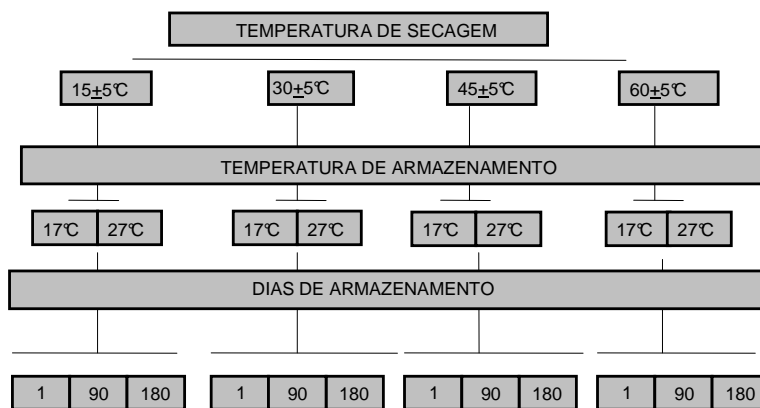


Figura 21: Representação do delineamento experimental.

A colheita foi com automotriz quando a umidade dos grãos estava próxima a 20%, sendo as amostras transportadas e acondicionadas em ambiente climatizado, a 17°C, no próprio laboratório de pesquisas. Posteriormente, foram submetidas às operações de pré-limpeza e secagem. Logo após o término de cada secagem, os grãos foram misturados para que ocorresse a uniformização da umidade. Em seguida, as amostras foram divididas em partes iguais e então armazenadas durante seis meses em sacos de polipropileno, em duas condições controladas, em 17°C a 65% e em 27 °C e 45% de umidade relativa.

#### 4.2.1.3.3 Avaliações

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita e Industrialização de Grãos, DCTA-FAEM-UFPEL, constituindo-se de umidade, teor de óleo, acidez do óleo, proteínas e peso volumétrico de acordo com a metodologia oficial.

#### **4.2.1.3.3.1 Umidade**

O teor de umidade foi avaliado pelo método de estufa a  $105^{\circ}\text{C}\pm 3$ , com circulação natural de ar, por 24 horas (Brasil, 1992). Os resultados das análises realizadas em triplicata foram expressos em porcentagem de umidade e base úmida.

#### **4.2.1.3.3.2 Composição química**

A proteína bruta (Nx6,25) foi determinada pelo método Kjeldahl, conforme procedimento n° 46-12 da AACC (1983). Os lipídios totais foram determinados em aparelho Soxhlet, de acordo com o procedimento descrito pelo método n° 30.20 da AACC (1983). A determinação do índice de acidez foi realizada de acordo com o método n° Ca5a-40 da AOCS (1990).

#### **4.2.1.3.3.3 Peso volumétrico**

O peso volumétrico foi avaliado em equipamento volumétrico Dalle Molle e balança eletrônica digital com precisão de 0,01g e com capacidade de  $\frac{1}{4}$  de litro, sendo necessária a conversão dos valores para peso volumétrico, expresso em  $\text{kg.m}^{-3}$ .

#### **4.2.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Tabela 04 estão os valores médios de umidade final dos grãos submetidos às secagens estacionárias e armazenados durante seis meses.

Tabela 04: Umidade de grãos de soja (%) submetidos à secagem estacionária e armazenados durante seis meses a 17 e 27°C.

Armazenamento a 17°C e 65% de umidade relativa			
Temperatura de secagem (°C)	Dias de armazenamento		
	1	90	180
15	A 12,86 a	A 12,70 a	A 13,10 a
30	A 13,32 a	A 12,45 b	AB 12,48 b
45	A 13,55 a	A 12,49 b	B 12,20 b
60	A 13,00 a	A 12,60 b	AB 12,46 b

Armazenamento a 27°C e 45% de umidade relativa			
Temperatura de secagem (°C)	Dias de armazenamento		
	1	90	180
15	A 12,86 a	A 9,50 b	B 7,86 c
30	A 13,32 a	A 9,31 b	AB 8,32 c
45	A 13,55 a	A 10,20 b	B 8,73 c
60	A 13,00 a	A 9,80 b	AB 8,36 c

Médias de três repetições por análise acompanhadas por diferentes letras minúsculas na linha, ou por letras maiúsculas na coluna, para mesma temperatura de armazenamento, diferem entre si a 5% de significância pelo Teste T.

Observando-se os dados da Tabela 04 é possível verificar que em todas as amostras secadas com ar aquecido a temperaturas mínimas de 30°C houve redução de umidade durante o armazenamento, diferentemente do que ocorreu com as amostras secadas com ar a 15°C e armazenada em ambiente a 17°C e 65% de umidade relativa. Esse comportamento é devido ao fato de a secagem dessas amostras terem sido executadas na mesma condição ambiental em que ocorreu o armazenamento e isso determinou que o equilíbrio higroscópico entre grãos e ar ambiente ocorreu já durante a secagem, o que é uma característica desse método de secagem.

Nas amostras secadas com ar aquecido, as variações de umidade mostraram mais dependências das condições de armazenamento do que da temperatura em que os grãos foram secados, mas em ambos os ambientes as maiores alterações ocorreram do 1º aos 90 dias de armazenamento, tendendo ao equilíbrio dos 90 aos 180 dias. Em todos os casos o armazenamento a 27°C resultou em menores valores de umidade, e isso é devido à menor umidade relativa do ar nessa condição.

Os grãos armazenados a 17°C (Tabela 04) apresentaram inicialmente umidades próximas a 13%, mas a partir do terceiro mês de armazenamento houve redução da umidade, atingindo valores próximos a 12%, e aí se mantendo até o final. No armazenamento a 27°C houve redução da umidade já no terceiro mês,

mostrando-se valores próximos a 10, alcançando valores ainda menores no sexto mês de armazenamento.

Esses valores de variação de umidade mostram a característica de equilíbrio higroscópico dos grãos, quando armazenados em ambiente cuja pressão de vapor do ar seja diferente daquela apresentada pelos grãos.

Os grãos em contato com um ambiente onde a umidade oscila ou se mantém constante, vão absorver ou ceder umidade, quando a umidade relativa do ambiente é aumentada ou diminuída. No ponto de equilíbrio, a pressão de vapor d'água dentro do grão é igual a pressão de vapor d'água contida no ar.

O sistema de armazenamento em sacaria de polipropileno proporciona grande permeabilidade e permite intensas trocas hídricas e térmicas entre os grãos e o ambiente de armazenagem, conforme foi verificado ao longo do experimento, e está de acordo com a literatura especializada (Martins, 2003).

As Tabelas 05 a 07 apresentam os teores (%) de óleo em grãos de soja secados em quatro temperaturas e armazenados durante 180 dias a 17 e 27°C.

A análise estatística (Tabelas 05 a 07) mostra interações significativas entre as diferentes condições em que foram submetidas as amostras, ou seja, todos os fatores (temperatura de secagem, tempo e temperatura de armazenamento) tiveram influências entre si, num nível de significância de 5% no teste T.

Tabela 05. Efeitos da temperatura do ar de secagem e do tempo de armazenamento nos teores de óleo (%) de grãos de soja armazenados a 17 e 27°C.

Secagem		Armazenamento	
Ar (°C)	Dias	Temperatura (°C)	
		17	27
15	1	25,81 a	25,81 a
	90	25,17 a	24,56 b
	180	25,09 a	23,87 b
30	1	25,78 a	25,78 a
	90	25,78 a	24,37 b
	180	24,98 a	23,95 b
45	1	25,82 a	25,82 a
	90	25,74 a	25,01 b
	180	24,83 a	23,72 b
60	1	25,67 a	25,67 a
	90	25,63 a	24,56 b
	180	24,99 a	23,90 b

Médias de três repetições por análise seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Tabela 06. Efeitos da temperatura do ar de secagem e temperatura de armazenamento nos teores de óleo (%) de grãos de soja armazenados por 180 dias.

Secagem		Armazenamento		
Ar (°C)	Temperatura (°C)	Dias		
		1	90	180
15	17	25,81a	25,47 a	25,08 b
	27	25,81a	24,56 b	23,87 c
30	17	25,78 a	25,78 a	24,97 b
	27	25,78 a	24,36 b	23,95 c
45	17	25,83 a	25,74 a	24,83 b
	27	25,83 a	25,01 b	23,72 c
60	17	25,67 a	25,53 a	24,99 b
	27	25,67 a	24,56 b	23,71 c

Médias de três repetições por análise seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Tabela 07. Efeitos do tempo e temperatura de armazenamento nos teores de óleo (%) de grãos de soja submetidos a quatro temperaturas do ar de secagem.

Armazenamento		Secagem			
Dias	Temperatura (C°)	Ar (C°)			
		15	30	45	60
1	17	25,81 a	25,78 a	25,83 a	25,67 a
	27	25,81 a	25,78 a	25,83 a	25,67 a
90	17	25,47 a	25,78 a	25,64 a	25,53 a
	27	24,56 a	24,36 a	25,01 a	24,56 a
180	17	25,09 a	24,97 a	24,83 a	24,99 a
	27	23,87 a	23,95 a	23,72 b	23,70 b

Médias de três repetições por análise seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Na Tabela 05 estão os teores de óleo nas duas temperaturas de armazenamento testadas e revela diferenças significativas a partir dos 90 dias, independentemente da temperatura de secagem dos grãos. Também se verifica que os teores de óleo (%) são sempre maiores nas amostras que foram armazenadas em ambiente a 17°C do que naquelas armazenadas a 27 °C, evidenciando a maior conservabilidade no armazenamento em temperaturas mais baixas.

Os dados da Tabela 06 permitem observar as influências da temperatura do ar de secagem e da temperatura de armazenamento sobre os teores de óleo dos

grãos ao longo do armazenamento, e se verifica que o teor de óleo reduz significativamente com o tempo de armazenamento naquelas amostras armazenadas a temperatura de 27°C já aos 90 dias, e quanto para as armazenadas a 17°C há diferenças significativas somente aos 180 dias de armazenamento.

Pelos dados da Tabela 07, é possível verificar que o tempo e a temperatura de armazenamento influenciaram significativamente no teor de óleo dos grãos de soja somente nas condições mais drásticas de operação, ou seja, nas maiores temperaturas de secagem (45 e 60°C) e no tempo mais longo (180 dias).

A observação conjunta dos dados das Tabelas 05 a 07 permite concluir que os lipídios se caracterizam como fração bastante suscetível à deterioração durante o armazenamento, o que pode ser verificado pela redução do seu conteúdo total e/ou pela suscetibilidade a alterações estruturais, como a hidrólise e/ou a oxidação dos ácidos graxos, confirmando o que relata a literatura especializada (Pomeranz, 1974, Molteberg et al., 1995; Rupollo et al., 2004). Elias (2006) relata comportamentos similares com outros grãos e registra que o grau de degradação é proporcional ao teor de lipídios.

Trabalhos similares foram realizados por Alencar et al. (2006), que armazenaram grãos de soja com umidades de 11,2 12,8 e 14,8%, em temperaturas de armazenamento de 20, 30 e 40°C durante 180 dias, verificaram que houve redução significativa do conteúdo de óleo somente na amostra armazenada com 14,8% de umidade nas temperaturas de 30 e 40°C no final do armazenamento. Segundo os autores, a composição química de soja armazenada em diferentes condições incrementou o conteúdo de lipídios quando os grãos foram armazenados a 30°C e 84% de umidade relativa, não informando qual a variação que ocorreu.

Simic et al. (2006), estudaram armazenamento de grãos de milho, soja e girassol, durante 4 anos, em dois ambientes com temperaturas e umidades relativas do ar, de 25°C e 75%, e 12°C e 60%, respectivamente, e observaram uma redução de 0,8% de óleo no milho, 2,1% na soja e 9,2% em girassol para as condições de 25°C e 75%, e de 0,45%, 1,41% e 7,16% para milho, soja e girassol, respectivamente para o armazenamento a 12°C e 60% de umidade relativa. Eles afirmam ainda que a oxidação dos lipídios e o aumento do conteúdo de ácidos graxos livres durante o período de armazenamento são as principais razões para o decréscimo do conteúdo de óleo. Os comportamentos mostrados pelos dados das

Tabelas 05, 06 e 07 estão de acordo com outros autores (Reuzeau e Cavalie, 1995; Trawatha et al., 1995).

Nas Tabelas 08 a 10 estão os dados sobre efeitos da temperatura de secagem sobre a acidez lipídica em grãos de soja secados em quatro temperaturas e armazenados durante 180 dias a 17 e 27°C.

Tabela 08. Efeitos da temperatura do ar de secagem e tempo de armazenamento sobre a acidez do óleo (%) em soja armazenada a 17 e 27°C.

Secagem		Armazenamento	
Ar (°C)	Dias	Temperatura (°C)	
		17	27
15	1	3,90 a	3,90 a
	90	4,57 b	4,95 a
	180	4,96 b	5,09 a
30	1	3,71 a	3,75 a
	90	4,67 b	4,94 a
	180	5,13 b	5,30 a
45	1	3,83 a	3,85 a
	90	4,64 b	5,08 a
	180	5,16 b	5,85 a
60	1	3,77 a	3,87 a
	90	5,17 b	5,36 a
	180	5,30 b	5,87 a

Médias de acidez em % de ácidos graxos livres, expressa em ácido oléico, em três repetições por análise, seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Tabela 09. Efeitos da temperatura do ar de secagem e de armazenamento sobre a acidez do óleo (%) de soja armazenados por 180 dias.

Secagem		Armazenamento		
Ar (°C)	Temperatura (°C)	Dias		
		1	90	180
15	17	3,90 c	4,57 b	4,96 a
	27	3,80 c	4,95 b	5,09 a
30	17	3,71 c	4,67 b	5,13 a
	27	3,75 c	4,93 b	5,30 a
45	17	3,83 c	4,64 b	5,16 a
	27	3,85 c	5,08 b	5,84 a
60	17	3,77 c	5,18 b	5,30 a
	27	3,87 c	5,63 b	5,87 a

Médias de acidez em % de ácidos graxos livres, expressa em ácido oléico, em três repetições por análise, seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Tabela 10. Efeitos do tempo e temperatura de armazenamento sobre a acidez do óleo (%) em grãos de soja submetidos a quatro temperaturas no ar de secagem.

Armazenamento		Secagem			
Dias	Temperatura (°C)	Ar (°C)			
		15	30	45	60
1	17	3,9 a	3,71 a	3,82 a	3,77 a
	27	3,8 a	3,75 a	3,85 a	3,87 a
90	17	4,57 b	4,67 b	4,64 b	5,18 a
	27	4,95 c	4,93 c	5,08 b	5,36 a
180	17	4,96 c	5,13 c	5,16 b	5,3 a
	27	5,09 c	5,30 c	5,85 b	5,87 a

Médias de acidez em % de ácidos graxos livres, expressa em ácido oléico, em três repetições por análise, seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Os dados registrados na Tabela 08 permitem verificar que a acidez do óleo sofre efeitos significativos da temperatura de armazenamento a partir dos 90 dias, independentemente da temperatura de secagem dos grãos. Também se observa que aos 90 e 180 dias no armazenamento a 27°C, os valores de acidez do óleo são maiores quando armazenados a 17°C, evidenciando a maior conservabilidade dos grãos no armazenamento em temperaturas menores.

Os dados da Tabela 9 possibilitam observar que o aumento da temperatura de secagem influenciou significativamente sobre a acidez do óleo já aos 90 dias e se acentua até os 180 dias de armazenamento. Mesmo a temperatura de 17°C de armazenamento não foi suficiente para reduzir a atividade enzimática até parâmetros seguros. Isso demonstra a influência dos efeitos latentes oriundos do tempo de armazenamento na avaliação desse parâmetro.

Na Tabela 10 é possível observar que o índice de acidez foi influenciado pelo aumento da temperatura do ar de secagem, alterando-se significativamente a partir dos 90 dias de armazenamento, havendo nas condições mais drásticas de temperatura de secagem e tempo de armazenamento os índices de acidez mais elevados.

Os resultados expressos nas Tabelas 8 a 10 estão de acordo com Soares (2005), que estudou a variação de índices de acidez em óleo de soja e concluiu que é um bom parâmetro para avaliar incidência de efeitos latentes oriundos de danos



térmicos e mecânicos em soja, não sendo sensível o suficiente para detecção de efeitos imediatos.

A análise do índice de acidez tem como principal característica a sensibilidade de detecção das mudanças que ocorrem durante o armazenamento, demonstrando a alta instabilidade dos componentes do óleo de soja, mesmo quando armazenados por curtos períodos de tempo.

As lipases constituem o grupo das enzimas mais ativas no processo de degradação lipídica, podendo ter origem nos próprios grãos ou ser produzidas por microrganismos, ácaros e/ou insetos associados. A redução do teor de óleo e o aumento do teor de acidez estão diretamente correlacionados com a velocidade e a intensidade do processo deteriorativo dos grãos. A avaliação desses índices constitui-se num eficiente parâmetro para o controle da conservabilidade durante o armazenamento (Pomeranz, 1974; Marini, 2005; Elias et al., 2007).

Nas Tabelas 11 a 13 estão os dados sobre efeitos da temperatura de secagem sobre os conteúdos protéicos em grãos de soja secados em quatro temperaturas e armazenados durante 180 dias a 17 e 27°C.

Tabela 11. Efeitos da temperatura do ar de secagem e tempo de armazenamento sobre os teores de proteínas (%) em soja armazenada a 17 e 27°C.

Secagem		Armazenamento	
Ar (°C)	Dias	Temperatura (°C)	
		17	27
15	1	35,95 a	35,90 a
	90	35,68 a	35,54 b
	180	35,41 a	35,19 b
30	1	35,89 a	35,83 a
	90	35,66 a	35,46 b
	180	35,23 a	35,28 b
45	1	35,86 a	35,94 a
	90	35,61 a	35,41 b
	180	35,02 a	35,01 b
60	1	35,87 a	35,84 a
	90	35,5 a	35,63 b
	180	34,96 a	35,07 b

Médias de três repetições por análise, seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Tabela 12. Efeitos da temperatura do ar de secagem e de armazenamento sobre os teores de proteínas (%) em soja armazenada por 180 dias.

Secagem		Armazenamento		
Ar (°C)	Temperatura (°C)	Dias		
		1	90	180
15	17	35,95 a	35,68 b	35,41 c
	27	35,95 a	35,54 b	35,19 c
30	17	35,89 a	35,66 b	35,23 c
	27	35,83 a	35,46 b	35,28 c
45	17	35,86 a	35,61 b	35,01 c
	27	35,94 a	35,41 b	35,01 c
60	17	35,86 a	35,50 b	34,97 c
	27	35,84 a	35,63 b	35,08 c

Médias de três repetições por análise, seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Tabela 13. Efeitos do tempo e temperatura de armazenamento sobre os teores de proteínas (%) em soja submetida a quatro temperaturas no ar de secagem

Armazenamento		Secagem			
Dias	Temperatura (°C)	Ar (°C)			
		15	30	45	60
1	17	35,95 a	35,89 a	35,86 a	35,87 a
	27	35,96 a	35,82 a	35,94 a	35,84 a
90	17	35,68 a	35,66 a	35,61 a	35,50 a
	27	35,54 a	35,46 a	35,41 a	35,63 a
180	17	35,41 a	35,23 a	35,01 b	34,97 b
	27	35,39 a	35,28 a	35,01 b	35,08 b

Médias de três repetições por análise, seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Na Tabela 11 é possível verificar que a temperatura de armazenamento exerce efeitos significativos sobre os teores de proteínas em grãos de soja já aos 90 dias, independentemente da temperatura do ar em que foram secados.

Os dados constantes da Tabela 12 permitem observar o tempo de armazenamento influencia negativamente nos valores de proteína dos grãos de soja, independentemente da temperatura do ar utilizado na secagem e do ambiente no armazenamento.

As variações de proteína durante o período de armazenamento são pequenas, mas devido a homogeneidade das repetições na realização dessa análise

acusaram diferenças significativas. Essas diferenças pequenas em relação ao teor de proteína, representam a estabilidade dos componentes durante a armazenagem.

Os dados apresentados nas Tabelas 11 a 13 são similares a registros na literatura especializada. Teixeira (2001), observa que durante o armazenamento de soja com diferentes umidades, o índice de deterioração é acentuado em amostras que contém um grau maior de umidade, resultando numa rápida deterioração de óleo, proteína e uma elevação no índice de acidez em grãos de soja armazenados por um período de 238 dias.

Em estudo similar, Thomas *et al.* (1989) observaram que o armazenamento de soja em temperaturas de 20 e 30°C e umidade relativa de 65 e 85%, o teor de proteína decresceu com o tempo de armazenamento e que a umidade relativa e a temperatura influenciaram significativamente no teor de proteínas. A soja armazenada em ambiente com 65% de umidade relativa teve decréscimo no teor de proteínas mais rapidamente nos primeiros meses de armazenamento.

Nas Tabelas 14 a 16 estão os dados sobre efeitos da temperatura de secagem sobre os pesos volumétricos em grãos de soja secados em quatro temperaturas e armazenados durante 180 dias a 17 e 27°C.

Tabela 14. Efeitos da temperatura do ar de secagem e tempo de armazenamento sobre o peso volumétrico ( $\text{Kg.m}^{-3}$ ) de grãos de soja armazenados a 17 e 27°C.

Secagem		Armazenamento	
Ar (°C)	Dias	Temperatura (°C)	
		17	27
15	1	677,32 a	677,32 a
	90	677,21 a	677,20 a
	180	676,97 a	677,11 a
30	1	677,37 a	677,35 a
	90	677,26 a	677,12 a
	180	677,02 a	676,96 a
45	1	677,27 a	677,31 a
	90	677,12 a	677,12 a
	180	677,02 a	676,93 a
60	1	677,36 a	677,35 a
	90	677,19 a	677,13 a
	180	676,98 a	676,95 a

Médias de três repetições por análise, seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Tabela 15. Efeitos da temperatura do ar de secagem e do ambiente de armazenamento sobre o peso volumétrico ( $\text{Kg.m}^{-3}$ ) de grãos de soja armazenados por 180 dias.

Secagem		Armazenamento		
Ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Dias		
		1	90	180
15	17	677,33 a	677,21 b	676,97 c
	27	677,32 a	677,21 b	677,10 c
30	17	677,37 a	677,26 b	677,02 c
	27	677,36 a	677,12 b	676,96 c
45	17	677,27 a	677,12 b	677,02 c
	27	677,31 a	677,11 b	676,93 c
60	17	677,36 a	677,19 b	676,98 c
	27	677,35 a	677,13 b	676,95 c

Médias de três repetições por análise, seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

Tabela 16. Efeitos do tempo e da temperatura de armazenamento sobre o peso volumétrico ( $\text{Kg.m}^{-3}$ ) de grãos de soja, submetidos a quatro temperaturas do ar de secagem.

Armazenamento		Secagem			
Dias	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Ar ( $^{\circ}\text{C}$ )			
		15	30	45	60
1	17	677,33 a	677,37 a	677,27 a	677,36 a
	27	677,32 a	677,36 a	677,33 a	677,35 a
90	17	677,21 a	677,26 a	677,12 a	677,19 a
	27	677,21 a	677,12 a	677,12 a	677,13 a
180	17	676,97 a	677,02 a	677,02 a	676,98 a
	27	677,10 a	676,96 a	676,93 b	676,95 b

Médias de três repetições por análise, seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem a 5% de significância pelo teste T.

A observação dos dados constantes na Tabela 14 permite verificar que as diferenças observadas em relação ao peso volumétrico dos grãos não são influenciadas pela temperatura de armazenamento em nenhum dos parâmetros analisados. Já com relação ao tempo de armazenamento (Tabela 15), aparecem diferenças significativas já aos 90 dias de armazenamento, independentemente da condição de secagem e armazenagem.

Os dados apresentados na Tabela 16 permitem verificar que o aumento da temperatura da secagem produz redução significativa sobre o peso volumétrico apenas nas condições operacionais mais drásticas, ou seja, nas maiores

temperaturas de secagem (45 e 60°) com armazenamento na temperatura mais elevada (27°C) e pelo tempo mais longo (180 dias). As reduções de peso volumétrico, mantida a mesma umidade, significam perdas de substâncias nutritivas pelos grãos. Como as condições ambientais no armazenamento foram constantes durante todo o período, as variações verificadas nos pesos volumétricos estão relacionadas exclusivamente ao metabolismo dos próprios grãos e de microrganismos a eles associados, uma vez que o rigoroso controle fitossanitário não permitiu o desenvolvimento de insetos junto aos grãos. Essas reduções observadas durante o armazenamento, portanto, são conseqüências do metabolismo de organismos associados e dos próprios grãos, o que está de acordo com registros bibliográficos (Rombaldi, 1988; Elias et al., 2006).

As baixas reduções de peso volumétrico observadas nos grãos estão relacionadas também à boa integridade física dos grãos utilizados no experimento. Em condições normais, quanto menor for o grau de umidade do produto, maior será seu peso volumétrico. A secagem excessiva de um produto, a temperaturas muito elevadas, danifica o material e, conseqüentemente, esse terá um peso volumétrico menor. A uma mesma faixa de umidade final, quanto mais alta for a temperatura de secagem, menor será o peso volumétrico (Silva, 1995).

Os resultados obtidos estão de acordo também com relatos de Oliveira et al. (2006), que avaliaram efeitos do armazenamento em condições ambientais controladas e não controladas de grãos de aveia secados por método intermitente em temperaturas do ar de 60, 85 e 110°C, e verificaram que um aumento da temperatura do ar de secagem promoveu a diminuição do peso volumétrico.

#### **4.2.1.5 CONCLUSÕES**

- a) As variações de umidade dos grãos durante o armazenamento refletem sua higroscopicidade quando há controle na temperatura e na umidade relativa do ar durante todo o período;
- b) A redução de 27 para 17°C na temperatura de armazenamento de grãos de soja aumenta a preservação do teor de óleo, da acidez, do teor de proteínas e do peso volumétrico dos grãos de soja, retardando sua deterioração em pelo menos três meses;
- c) A temperatura de armazenamento tem muito mais influência sobre a preservação do óleo e das proteínas do que sobre o peso volumétrico.

### **4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho foi realizado com a finalidade de preencher uma lacuna existente na área de pesquisa relacionada com a pós-colheita de grãos de soja. A secagem estacionária representa uma boa alternativa de investimentos em estrutura para pequenos e médios produtores que desejam investir na área de pós-colheita, porque permite através de uma única estrutura a realização de trabalhos referentes a secagem e armazenagem de grãos cultivados na propriedade e assim possibilita agregar valor aos produtos e alcançar melhores preços no momento da comercialização.

Na área da pesquisa na pós-colheita de grãos, existe um grande número de trabalhos publicados na literatura pelas mais diversas instituições de pesquisa, sejam elas públicas ou privadas. Apesar desse esforço por parte dos pesquisadores, existe ainda, uma grande dificuldade no sentido de transmitir essas informações geradas para a classe dos produtores rurais, já que são eles os que mais demandam por essas novas tecnologias.

A secagem estacionária de grãos de soja mostrou por meio deste trabalho, vantagens importantes quando se trata de utilização de tecnologia de baixo custo para os produtores, desde que seja realizada de maneira consciente e correta, obtendo-se resultados excelentes em relação a qualidade de grãos. O uso de diferentes temperaturas do ar na secagem estacionária mostra as vantagens e limitações de cada uma, em relação a temperatura de aquecimento do ar e dos grãos na formação de gradientes de umidade e temperatura nas diferentes espessuras de camada de grãos.

O armazenamento de grãos de soja em diferentes temperaturas e umidade relativa do ar, proporcionou resultados bastante importantes em relação a valores de umidade, teores de óleo, acidez do óleo, proteínas e peso volumétrico. A temperatura de 17°C, quando comparada a de 27°C, de stacou-se em relação a manutenção de características importantes de qualidade nos grãos de soja, muito disputadas atualmente pela concorrência do mercado nacional e internacional.

Apartir desse trabalho, a idéia é contribuir junto as diferentes classes de produtores rurais que trabalham na área da pós-colheita de grãos, com novas tecnologias para que possam utiliza-lás em suas propriedades, garantindo assim a oferta de um produto com qualidade superior para o mercado consumidor.

#### 4.4 REFERÊNCIAS

- AACC- AMERICAN ASSOCIATION CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 8 ed. Saint Paul, 1983.
- ACASIO, A.U. Handling and storage of soybeans and soybean meal. Disponível em <<http://www.asasea.com/technical/ft35-1997.html>>, 29/01/2007.
- AKPINAR, E. K. Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. **Journal of Food Engineering**. Firat University, Elazig, Turkey. n. 77, p.864-870. 2006.
- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.D'A.; LACERDA FILHO, A. F.; FERREIRA, L. G.; MENEGHITTI, M. R. Influence of different storage conditions on soybean grain quality. In: **9th International Working Conference on Stored Product Protection**, 2006, Campinas. Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection. ABRAPOS. 2006. p. 30-37.
- ATHIÉ, I.; CASTRO, M. F. P. M.; GOMES, R. A. R.; VALENTINI, S. R. T. **Conservação de grãos**. Campinas, Fundação Cargill. 1998. 236p.
- BARBOSA, F. F.; ELIAS, M.C.; FAGUNDES, C.A.A.; PEREIRA, F.M.; RADÜNZ, L.L. Efeitos das secagens estacionária e intermitente e do tempo de armazenamento no desempenho industrial de grãos de arroz. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 83-90, 2005.
- BARBOSA, F.F.; FAGUNDES, C.A.A.; MARTINS, I.R.; ELIAS, M.C. Glp para o aquecimento do ar na secagem estacionária do arroz irrigado In: **II Congresso brasileiro do arroz irrigado/XXIV Reunião da cultura do arroz irrigado**, Porto Alegre, 2001. 664-666.
- BARBOSA, F.F.; MILMAN, M.J.; FAGUNDES, C.A.A.; MARTINS, I G ; SCHOWNKE, O.N.; CUNHA, A.C. da ; ELIAS, M.C. . Effect of stationary and intermittent drying on latent damages in rice grains stored. In: **9th International Working Conference on Stored Product Protection**, 2006, Campinas. Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection. ABRAPOS. 2006. p. 1003-1011.
- BARROZO, M.A.S.; SARTORI D.J.M.; FREIRE, J.T. e ACHCAR, J.A., "Discrimination of Equilibrium Moisture Equations For Soybean Using Nonlinearity Measures", **Drying Technology**, Vol 14, Num. 7, p. 1779-1794, 1996.
- BIAGI, J.D.; BERTOL, R.; CARNEIRO, M.C. Armazéns em unidades centrais de armazenamento. In: LORINI, I.; MILKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos**. IBG, Campinas, 2002. p. 157-174.
- BOEMEKE, L.R.S. **Desempenho energético e qualidade de grãos nas secagens estacionária e intermitente de arroz, Brasil**. 2001. 60f. Dissertação (Mestrado), UFPel, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- BRASIL. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, 1992. 365p.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and Storage of Grains and Oilseeds**. New York. 1992. 450p.
- Brod, E.; Fabro, S. Especial Armazenagem: **Armazenagem e conservação de grãos**. Kepler Weber, 2006. 42p. Encarte Técnico.

CARDOSO SOBRINHO, J. **Qualidade das sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) conforme a sua localização no secador de leito fixo com distribuição radial de ar.** Viçosa, 1997. Universidade Federal de Viçosa.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e Produção.** 4ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 588p.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial de fluxo de ar.** 1996. 85f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – ESALQ – USP.

CIHAN, A; KAHVECI, K.; HACIHAFIZOGLU, O. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. **Journal of Food Engineering.** Article in press. Edirne, Turkey. 2006.

COPELAND, L.O. **Principles of seed science and technology.** Minnessota: Burgess Publishing Company, 1979. 39 p.

DELOUCHE, J. C. Seed quality and storage soybeans. In: WHIGHAM, D. K. **Soybean production, protection and utilization.** Illinois: University of Illinois, p.86-107, 1975.

DIONELLO, R.G. **Desidratação por Imersão-impregnação e secagem complementar por convecção de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill).** 2005. 184p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: Wiley series in probability and mathematical statistics, John Wiley & Sons, 1981. 709p.

ELIAS, M.C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de Grãos.** Campinas: IBG, 2002. p.311-359.

ELIAS. M.C.; SCHIRMER, M.A.; MARINI, L.J. Propriedades e/ou características dos grãos e suas correlações com os processos conservativos e tecnológicos. In **Secagem e armazenamento de grãos em média e pequena escala.** 3.ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, p.26-61. 2002.

ELIAS, M. C. ; LORINI, I. . Qualidade de arroz na pós-colheita. 1. ed. Pelotas: Ed. Graf. UFPel, 2005. v. 1. 686 p.

ELIAS, M.C.; HELBIG, E.; MENEGUETTI, V.L.; STORCK, C.R.; PINNO, M.; ROMBALDI, C.V. Effects of resting on drying and storage period on the metabolic effects and industrial performance of polished and parboiled rice. In: **9th International Working Conference on Stored Product Protection**, 2006, Campinas. Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection. ABRAPOS. 2006. p. 1026-1036.

ELIAS, M.C.; MARTINS, I.; AOSANI, EL.; PRESTES, D.N; DIAS, A.R.G.; SACCHET, F.S. Intermittency relation in drying and period of storage on industrial quality and the mycotoxins occurrence in corn grains (*Zea mays* L.) In: **9th International Working Conference on Stored Product Protection**, 2006, Campinas. Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection, ABRAPOS. 2006. p. 1003-1011.



- ELIAS, M. C. ; FRANCO, D. F. . Pós-Colheita e Industrialização de Arroz. In: Ariano Martins de Magalhães Júnior; Algenor da Silva Gomes; Alberto Baêta dos Santos. (Org.). **Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil**. 1 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006, v. 1, p. 229-240.
- ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, S.A.A.; DIAS, A. R. G.; ANTUNES, P. L.; VAN DER LAAN, L.F. Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade. 1. ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária UFPEL, 2007. v. 1. 424 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, 2007. Disponível em < <http://embrapa.gov.br>>. Acesso em 08 de fevereiro de 2008.
- ERTEKIN, C., YALDIZ, O. (2004) Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, n. 63, p. 349-359.
- LAW, A.M.; KELTON, D.W. **Simulation modeling and analysis**. 2. ed. New York. McGraw-Hill, 1991.
- FRANÇA NETO, J. B., et al. **O teste de tetrazóleo em sementes de soja**. Londrina – CNPSO-EMBRAPA, 1988.72p.
- GARCIA, D. C. et al. **A secagem de sementes**. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.2, p. 603-608, mar-abr, 2004.
- GUTKOSKI, L. C.; SIMIONI, D. ; OLIVEIRA, M. ; MENEGHETTI, V. L ; OLIVEIRA, L. C ; ELIAS, M. C. . Drying and storage conditions in white oat grains quality. In: **9th International Working Conference on Stored Product Protection**. Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection. Campinas. ABRAPOS. 2006, v. 1, p. 1-13.
- JAYAS, D.S.; GOSH, P.K. Preserving quality during grain drying and techniques for measuring grain quality. IN: **9th International Working Conference on Stored Product Protection**. Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection. Campinas. ABRAPOS, 2006. p.969-980.
- JÚNIOR, P. C. A.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. v.3, n.3, p.349-353, 1999.
- KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Kinetic modeling of quality deterioration in onions during drying and storage. **Journal of Food Engineering**, v.68, p.443-453, 2005.
- LASSERAN, J.C. The drying of grains – principles, equipment, energy savings and fire safety. In: MULTON, J.L. (Editor). **Preservation and storage of grains, seeds and their by-products**. Tec & Doc-Lavoisier, Paris. 1978, p. 606-663.
- LIENER, Implications of antinutritional components in soybean foods. Critical Reviews In: **Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.34, n.1, p.31-67, 1994.
- LORINI, I. Descrição, biologia e danos das principais pragas de grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de Grãos**. Campinas: IBG, 2002. p.381-397.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.75-97, 1996.

- MARINI, L.J. **Efeitos da temperatura do ar de secagem e relações de intermitência sobre a qualidade de grãos de aveia branca durante o armazenamento**, 2004, 71f. (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- MARINI, L.J.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C.; MEZZOMO, N. Efeito da secagem intermitente na estabilidade de grãos de aveia branca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.3, p. 260-267, 2005.
- MATA, M.E.R.M.C.; DANTAS, L.A. Modelo de simulação de secagem de cacau (*Theobroma cacao* L.) em camada fixa. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.23, p.52-60, 1998.
- MARTINS, I. R. **Métodos de secagem e umidades de armazenamento na qualidade e ocorrência de micotoxinas em milho**, 2003. 95f. (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- MILMAN, M. J. **Manejo da relação de intermitência e da temperatura do ar na secagem industrial do arroz**. Pelotas, 2001. 54f. Dissertação (Mestrado), UFPel, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- MOLTEBERG, G.L.; VOGT, G.; NILSSON, A.; FROLICH, W. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. **Cereal Chemistry**, v.72, n.1, p.88-93, 1995.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, n.66, p. 513-518, 2005.
- NELLIST, M.E. Predicting the viability of seed dried with heated air. **Seed Science and Technology**, v.9, p. 439-455, 1981.
- OSBORN, G.S., WHITE, G.M., SULAIMAN, A.H. e WELTON. L.R. (). Predicting Equilibrium Moisture Proportions of Soybeans. **Transactions of the ASAE**, Vol. 32, p. 2109-2113, 1989.
- PABIS, S. The initial phase of convection drying of vegetables and mushrooms and the effect of shrinkage. **Journal of agricultural Engineering Research**. n. 72, p. 269-278. 1999
- PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 51, 2002.
- PENFIELD, M. P.; CAMPBELL, A.M. **Experimental food science**. San Diego, Academic Press, 1990. 543 p.
- POMERANZ, Y. Biochemical, function and nutritive change during storage. In: **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul, Minnessota: American Association of Cereal Chemistry, 1974. p 56 a 114.
- PORTELLA, J.A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001, 194p.
- PORTO, A.G. **Avaliação da qualidade de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) secas e armazenadas em silos metálicos**. Rio Grande, 2001. 128p. Dissertação (mestrado) – Mestrado em Engenharia de Alimentos, Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande.

- PUZZI, D.** Armazenamento e abastecimento de grãos. **Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas; 2000. 603p.**
- QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M. **Secagem à baixa temperatura.** Viçosa: UFV, 1982. 30p. Apostila do CETREINAR.
- QUEIROZ, D.M., PEREIRA, J.A.M., MELO, E.C. **Modelos Matemáticos de Simulação de Secagem de Grãos.** Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, Viçosa, 59p. 1985.
- RANGEL, M. A. S.; ZIMMER, G. J.; VILLELA, F.A. Secagem estacionária de sementes de arroz com ar ambiente. **Revista Agropecuária Brasileira.** v. 32, n. 10. 1997.
- RESENDE, O. **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento.** 2006. 180f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- REUZEAU, C., CAVALIE, G.,. **Activities of free radical processing enzymes in dry sunflower seeds.** New Phytol. n. 130, p. 59-66, 1995.
- ROA, G., VILLA, L.G. **Secagem e armazenamento da soja industrial e sementes a granel.** Campinas: Fundação Cargill, 1977. 64p.
- RUPOLLO, G. **Efeitos da umidade e do sistema de armazenamento na qualidade industrial de grãos de aveia.** 2003. 81f. (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- RUPOLLO, G., GUTKOSKI, L.C., MARINI, L.J., ELIAS, M.C.,. Hermetic and onventional storage systems in oat grains conservation. **Ciência Rural.** n. 34, p. 1715-1722. 2004.
- SCHIRMER, M.A.; FREO, J.D.; MÜLLER, M.M.; BUENO, P.D.F.; PRESTES, D.H.; ELIAS, M.C. Effects of drying methods and storage period in the industrial quality of wheat. In: **9th International Working Conference on Stored Product Protection**, 2006, Campinas. Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection. 2006. ABRAPOS. p. 59-63.
- SILVA, J. S.; HARA, T. **Contenido de humedad de los granos.** Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1998. 5p.
- SILVA, J.S. **Pré-Processamento de Produtos Agrícolas.** Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. 509p.
- SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F. **Construção de um secador para produtos agrícolas.** Viçosa: UFV, 1984. 17p. (UFV. Informe Técnico, 41).
- SIMIC, B.; SUDARIC, A.; LIOVI, I.; KALINOVIC, I.; ROZMAN, V; COSIC, J. Influence of storage condition on seed quality of maize, soybean and Sunflower. In: **9th International Working Conference on Stored Product Protection**, 2006, Campinas. Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection. 2006. ABRAPOS. p. 1019-1025.
- SOARES, T. A. **Análise de acidez graxa como índice de qualidade em grãos de soja.** 2005. 76f. (Dissertação mestrado). Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

SOUZA, C.M.A.; QUEIROZ, D.M.; LACERDA, A.F. **Simulação do processo de secagem de sementes de milho em camada fixa**. Scientia Agrícola, v.59, n.4, p.653-660, 2002.

TEIXEIRA, G. V. **Avaliação das perdas qualitativas no armazenamento da soja, Brasil**. 2001. 97f. Tese de Doutorado na área de Pós-Colheita. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TETER, N. **Paddy drying manual**. Rome: FAO, Agricultural Services Bulletin. 1987. 124p.

TRAWATHA, S.E., TEKRONY, D.M., HILDEBRAND, D.F. **Relationship on soybean quality to fatty acid and C6-aldehyde levels during storage**. Crop Sci. 35, 1415-1422. 1995.

ZIMMER, G.J.; VILLELA, F.A.; TILLMANN, M.A.A.; ZONTA, E.P. Aeração seca para sementes de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.27, n.9, p.1371-1378, 1992.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)