

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

QUALIDADE DE GRÃOS DE SOJA SUBMETIDOS À SECAGEM COM LENHA
E AR NATURAL E ARMAZENADOS EM BAGS DE POLIPROPILENO

Paulo Ricardo de Jesus Rizzotto Júnior
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Área de concentração Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Fevereiro de 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Rizzotto Júnior, Paulo Ricardo de Jesus
Qualidade de grãos de soja submetidos à
secagem com lenha e ar natural e armazenados em
bags de polipropileno. / Paulo Ricardo de Jesus
Rizzotto Júnior. -- 2018.

72 f.

Orientador: Rafael Gomes Dionello.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa
de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2018.

1. Soja. 2. Secagem. 3. Lenha. 4. Ar Natural. 5.
Armazenagem. I. Dionello, Rafael Gomes, orient. II.
Título.

PAULO RICARDO DE JESUS RIZZOTTO JÚNIOR
Engenheiro(a) Agrônomo(a) - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 26.02.2018
Pela Banca Examinadora

RAFAEL GOMES DIONELLO
Orientador(a)
UFRGS

SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE
Coordenadora do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

LAURI LOURENÇO RADUNZ
PPG Fitotecnia/UFRGS

RENAR JOÃO BENDER
PPG Fitotecnia/UFRGS

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de
Agronomia

LUIDI ERIC GUIMARÃES ANTUNES
UERGS

*Aos meus pais, **Terezinha e Paulo** pelo amor e ensinamentos que me guiam aos corretos caminhos da vida. A minha namorada, **Luiza Elena Ferrari**, pelo apoio, orientação, paciência e amor. A vocês, dedico este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, especialmente a Faculdade de Agronomia, pelos anos de acolhimento e ensino.

Ao professor Rafael Gomes Dionello, pela orientação, amizade, respeito e simplicidade, demonstrando, desde o meu período de iniciação científica, ser um grande profissional e orientador.

À minha irmã Carolina e esposo Ricardo Oaigen pelas orientações de vida, paciência devido às ausências e pelo presente de vida, Joaquim, e a nossa anjinha Sara (*in memoriam*).

À Maria Leonor Lazzarotto Ferrari, pela sua incansável generosidade, sendo sempre muito atenciosa, carinhosa, corajosa e amável. Meu eterno agradecimento.

Aos colegas do Departamento de Pós-Colheita de Grãos, Indianara Müller, Milena Zambiasi, Luciana Rehbein e Maurício Scariot, por serem sempre prestativos e descontraídos.

Ao professor Lauri Lourenço Radunz pelo suporte e colaboração nas análises estatísticas e demais explicações sobre outros assuntos.

Aos amigos da Faculdade de Agronomia e aos amigos de longa data de Novo Hamburgo/RS, pela paciência.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE GRÃOS DE SOJA SUBMETIDOS À SECAGEM COM LENHA E AR NATURAL E ARMAZENADOS EM BAGS DE POLIPROPILENO¹

Autor: Paulo Ricardo de Jesus Rizzotto Júnior

Orientador: Rafael Gomes Dionello

RESUMO

A crescente demanda mundial por alimentos faz da cultura da soja uma das principais fontes de proteína vegetal. A soja representa a principal commodity agrícola brasileira, sendo o Brasil o segundo maior produtor e o primeiro exportador mundial da oleaginosa. Com o propósito de avaliar os efeitos imediatos e latentes do processo de secagem, os grãos de soja foram submetidos à secagem com altas temperaturas (60 °C e 80 °C), utilizando lenha como combustível, com duas diferentes umidades (30 e 75%). A secagem dos grãos empregando lenha como combustível, para aquecimento do ar, é ainda, muito utilizado no país. O tratamento com ar natural foi representado pela secagem estacionária, com ar não aquecido, na condição ambiente. A secagem foi conduzida no polo de pós-colheita, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sendo os grãos de soja oriundos de lavoura da safra 2016/2017, os quais foram colhidos com umidade inicial de 17,5% em base úmida. Para realizar a avaliação dos efeitos latentes, os grãos de soja foram armazenados em bags do tipo ráfia (polipropileno), em local protegido de intempéries climáticas. O tempo de duração da armazenagem foi de 6 meses. Durante a secagem com altas temperaturas, foram acompanhados o teor de água, temperatura da massa de grãos, temperatura do ar de secagem, bem como após a secagem, avaliou-se os custos financeiros da realização da secagem com altas temperaturas. As avaliações físicas (teor de água, massa específica, peso de mil grãos), a análise química (proteína bruta) e análises tecnológicas foram realizadas após a secagem e em intervalos de 2 meses. Conclui-se que: 1) Os maiores custos de secagem por tonelada de grãos é superior quando se utiliza temperatura de ar de secagem em 60 °C e 2) Secagem com temperatura de ar de secagem em 80 °C apresenta maior eficiência de trabalho, com menor tempo total de secagem, bem como maior eficiência econômica e 3) Secagem com ar natural preserva as características qualitativas e quantitativas dos grãos e 4) A proteína bruta é um constituinte químico muito afetado durante o processo de secagem com altas temperaturas.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (72f.) Fevereiro, 2018.

QUALITY EVALUATIONS OF SOYBEANS SUBJECTED TO DRYING WITH WOOD AND NATURAL AIR AND STORED IN POLYPROPYLENE BAGS¹

Author: Paulo Ricardo de Jesus Rizzotto Júnior
Adviser: Rafael Gomes Dionello

ABSTRACT

The increasing global demand for food makes soybeans one of the main sources of vegetable protein. Soybeans represent the main Brazilian agricultural commodity, being Brazil the second largest producer and the world's leading exporter of that oilseed. In order to evaluate the immediate and hidden effects of the drying process, soybean grains were dried at high temperatures (60 °C or 80 °C) using firewood as fuel with two different moistures (30 and 75%). Grain drying using wood as fuel, for heating the air, is still widely used in the country. The control treatment was represented by stationary drying, using unheated air, at ambient conditions. The grain drying was conducted at the postharvest unit at the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul. Soybeans from the 2016/2017 season were harvested at the field with initial the moisture content of 17.5% on a wet basis. To evaluate the latent effects, the soybean grains were stored in raffia bags (polypropylene) and kept in a facility protected from the weather. The storage time was 6 months. During the drying process at high temperatures were evaluated the moisture, grain temperature, drying air temperature. After the drying process, the financial costs of drying were evaluated as well. The physical evaluations (moisture, specific mass and weight of thousand grains), chemical analyzes (crude protein) and technological analyzes were performed after the drying process and at 2-month intervals. Based on this work, it was possible to conclude that: 1) The highest drying costs per ton of grain was observed when the drying air temperature used was at 60 °C; 2) The drying process using air temperature of 80 °C had higher working efficiency, with a more reduced total time of drying and, as well, with better economic efficiency; 3) The drying process with natural air preserved the qualitative and quantitative characteristics of the grains and 4) Crude protein is the chemical constituent that is considerably affected during the drying process at high temperatures.

¹ Master Dissertation in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (72p.) February, 2018.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Importância da cultura da soja.....	4
2.2 Características do grão	5
2.3 Secagem	9
2.3.1 Secagem de grãos	9
2.3.2 Sistemas de Secagem	11
2.3.3 Fatores que influenciam o processo de secagem de grãos.....	13
2.3.3.1 Temperatura do ar de secagem e da massa dos grãos	14
2.3.3.2 Umidade relativa do ar	14
2.3.3.3 Fluxo do ar de secagem	15
2.3.3.4 Teor de água inicial e final do produto	16
2.3.3.5 Tempo de secagem.....	16
2.4 Fonte de aquecimento do ar de secagem.....	17
2.4.1 Lenha.....	17
2.5 Armazenagem	18
2.5.1 Fatores que alteram a qualidade dos grãos no armazenamento..	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Custos de secagem.....	25
3.1.2 Custos com eletricidade	26
3.2 Armazenagem	28

	Página
3.2.1 Condições ambientais durante período de armazenamento	29
3.3 Análises físicas, tecnológica e química	29
3.3.1 Teor de água	29
3.3.2 Massa Específica	29
3.3.3 Peso de 1000 grãos	30
3.3.4 Análise tecnológica	30
3.3.5 Proteína bruta	30
3.4 Delineamento experimental e análise estatística	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5 CONCLUSÕES	53
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
7 REFERÊNCIAS	56

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Períodos de armazenamento seguro em diferentes teores de umidade para grãos de soja.....	20
2. Valores dos parâmetros relativos ao tempo de secagem, teor de água inicial e final dos grãos de soja, massa de grãos na secagem, temperatura média do ar de secagem e temperatura máxima da massa de grãos durante as secagens com altas temperaturas. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	32
3. Resultados do tempo de secagem, quantidade de grãos de soja secos, consumo de eletricidade e lenha dos tratamentos utilizando altas temperaturas. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	33
4. Custos com eletricidade e lenha na secagem de grãos de soja, tanto por tonelada como unitário (saco de 60 kg) dos tratamentos utilizando altas temperaturas na secagem. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	35
5. Peso de mil grãos (g) de soja, submetidos à secagem e armazenados ao longo de seis meses. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	42
6. Limites máximos de tolerância, expressos em percentagem, para a soja do Grupo I.....	44
7. Limites máximos de tolerância, expressos em percentagem, para a soja do Grupo II.....	44
8. Percentual de defeitos, em grãos de soja, de acordo com Instrução Normativa nº 11 de 2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em função dos métodos, temperaturas de secagem e tempo de armazenagem. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	45
9. Grãos de soja partidos/quebrados e amassados (%), após secagem e armazenados ao longo de seis meses. Eldorado do Sul, RS, 2017..	46

10. Classificação dos grãos de soja em função dos tipos de secagem, temperaturas, teor de água da lenha e tempo de armazenagem, de acordo com a Instrução Normativa nº 11 de 2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) Eldorado do Sul, RS, 2017.....	50
11. Teor de proteína (%) dos grãos submetidos a diferentes tipos de secagem e armazenados durante seis meses em ambiente não controlado. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	51

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Composição centesimal do grão de soja em suas partes estruturais. (Aparício et al., 2008).....	6
2. Secador de grãos do tipo cascata, fluxo de ar cruzado com capacidade de 720,0 kg ⁻¹ . Eldorado do Sul, RS, 2017.....	22
3. Amostras utilizadas para verificar teor de água da lenha.....	23
4. Silos secadores com capacidade de 6.000,00 kg. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	25
5. Armazenamento de grãos de soja em bags de polipropileno. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	28
6. Teor de água (%) dos grãos de soja ao longo de seis meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	37
7. Valores médios da umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C) durante os meses de armazenamento dos grãos de soja submetidos a diferentes métodos e temperaturas do ar na secagem. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	39
8. Tabela de equilíbrio higroscópico (% b.u.) para soja. Fonte: Weber, 2005.....	40
9. Massa Específica (kg.m ⁻³) de grãos de soja, armazenados por seis meses em bags de polipropileno, após diferentes métodos e temperaturas do ar na secagem. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	41
10. Grãos mofados (%) após a secagem e ao longo dos seis meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS, 2017.....	48

1 INTRODUÇÃO

De acordo com estimativas da CONAB (2017), a produção de grãos na safra 2017/18 poderá ficar entre 224,17 e 228,21 milhões de toneladas. Apesar de haver previsão de aumento de áreas com o cultivo da soja, entre 1,6 e 3,8%, variando de 34 a 35 mil hectares, porém, haverá redução da produção total devido a anomalias climáticas, com estimativas de colher 108 milhões de toneladas deste grão. A soja é a principal cultura produzida no país, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial desta oleaginosa (USDA, 2017). Desta forma, a cultura mostra-se de grande relevância econômica para o país, principalmente através da exportação do grão e seus derivados, como óleo e farelo de soja.

Nos processos de pós-colheita de grãos, ocorrem perdas de ampla magnitude tanto quantitativa quanto qualitativa, onde estas se manifestam no processo de colheita, como também nas etapas do sistema pós-colheita, no transporte, manuseio, pré-limpeza, secagem, limpeza, armazenagem, processamento, comercialização e nos pontos finais de distribuição aos consumidores. As perdas na qualidade dos grãos na pós-colheita são causadas, em sua maioria, por infestações de insetos, deterioração por fungos e ataques de 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 armazenagem.

Em relação à soja, essas perdas em grãos são mais acentuadas, pelo fato de grande parte dos produtores esperarem o seu produto secar na planta, colhendo o grão praticamente seco, o que pode incrementar o percentual de danos mecânicos na colheita. Esse fato de colher grãos com baixa umidade, se deve, pois, a maioria dos produtores comercializam a soja logo após a colheita ou por não possuir capacidade estática de armazenamento para os grãos, resultando em danos mecânicos nos grãos colhidos com teor de água de colheita abaixo da recomendada. Desta forma, a colheita de grãos com o teor de água adequado (15 a 18%) é extremamente importante para manter a integridade e qualidade dos mesmos.

Há diversas técnicas para a secagem de produtos agrícolas, que dependem da finalidade e do produto a ser seco. Existem vantagens no processo de secagem, que permite a antecipação da colheita, minimizando perdas e danos que podem ocorrer no campo, proporcionando maior segurança na armazenagem e permitindo que a armazenagem ocorra por longos períodos.

Não há muitos estudos direcionados a secagem de grãos de soja no país, sendo que grande parte dos secadores utilizados, na prática, são os de altas temperaturas, com movimentação do produto no interior da câmara de secagem, onde o ar de secagem aquecido entra em contato direto com o produto, podendo desta forma, afetar a qualidade do grão (odores e contaminantes através da fumaça).

O comportamento dos grãos durante o processo de armazenagem está diretamente ligado à qualidade inicial do produto, às condições físicas, teor de água e temperatura dos grãos e a temperatura do ar ambiente. Com o armazenamento, visa-se minimizar perdas, buscando manter as características nutricionais, fisiológicas e tecnológicas dos grãos. No decorrer do armazenamento, por ser um organismo vivo, o processo respiratório dos grãos continua, e através das condições de armazenamento, a atividade metabólica pode ser acelerada ou retardada, influenciando as condições qualitativas e quantitativas dos grãos.

Desta forma, objetivou-se avaliar, com o presente trabalho, a qualidade de grãos de soja submetidos à secagem em duas temperaturas (60 e 80 °C), utilizando-se lenha com dois teores de água (30% e 75% base úmida), como combustível, em secador do tipo coluna, e secagem com ar natural em silo secador, com posterior armazenagem, durante seis meses, visando avaliar as características físicas, químicas e tecnológicas desses grãos, bem como, os custos de secagem utilizando altas temperaturas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância da cultura da soja

A cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) representa uma das mais importantes commodities mundial, sendo a principal provedora de proteína e óleo vegetal do mundo (USSEC, 2006; CONAB, 2017). Os primeiros relatos sobre o grão foram no período entre 2883 e 2838 A.C. na China. No Brasil, a soja foi introduzida em 1882, por Gustavo D'Utra, na Bahia, sendo que no estado do Rio Grande do Sul, em 1949, houve maiores progressos em expansão de área do seu cultivo, quando utilizada em sucessão com a cultura do trigo (Bonato *et al.*, 1987).

No cenário atual, a soja é cultivada em todo o território nacional, desde altas latitudes (Rio Grande do Sul) até as baixas latitudes equatoriais tropicais, apresentando nas diversas regiões, produtividades médias elevadas, mostrando a plasticidade e o potencial de cultivo da cultura, independente das regiões. Esse nível de produtividade somente se torna possível, devido ao uso de cultivares devidamente adaptadas às regiões, com suas incidências de luz, temperaturas adequadas, precipitações bem distribuídas ao longo do ciclo fenológico da cultura, além de outras características agrônômicas como fertilidade do solo, adubação equilibrada, tratamentos fitossanitários ajustados, visando a obtenção de altas produtividades (Câmara, 2005). O Brasil é o

segundo maior produtor de soja no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos, representando em torno de 30% do total da produção mundial (USDA, 2017).

Em relação às exportações do agronegócio brasileiro, no ano de 2017, as exportações brasileiras alcançaram cifras de US\$ 96 bilhões. O principal setor exportador do agronegócio neste período foi o complexo soja, com 33% de participação, totalizando US\$ 31,72 bilhões e 83,68 milhões de toneladas comercializadas.

Do complexo soja, o item mais exportado foi a soja em grãos, com 68,16 milhões de toneladas (US\$ 25,78 bilhões). O segundo produto do setor em geração de receita foi o farelo de soja, com 14,18 milhões de toneladas (US\$ 4,97 bilhões). Por fim, as exportações de óleo de soja alcançaram 1,34 milhão de toneladas, com receita de US\$ 1,03 bilhão. A principal importadora do grão de soja do Brasil é a China, do farelo de soja a União Europeia e do óleo de soja, a Ásia (exceto China) (CONAB, 2017).

2.2 Características do grão

A estrutura externa que constitui o grão de soja é basicamente o tegumento, sendo que este possui funções de proteção contra danos mecânicos e entrada de microrganismos bem como regular a velocidade de reidratação e velocidade de trocas gasosas (oxigênio e gás carbônico). O tegumento também protege o embrião que é composto por dois cotilédones e um eixo embrionário (epicótilo, hipocótilo e radícula) (Popinigis, 1985). Como o grão de soja possui apenas o tegumento como cobertura protetora, o mesmo é facilmente danificado por operações de colheita, secagem e manejo durante a armazenagem.

O grão de soja, após o processo de secagem, possui primordialmente na sua composição, 33,6% de proteínas, 22,2% de lipídeos, 30,7% carboidratos, 5,2% de cinzas e 8,3 de água (Kawaga, 1995). Aparício *et al.* (2008) analisou a composição centesimal das partes estruturais dos grãos de soja, encontrando os seguintes teores (Figura 1).

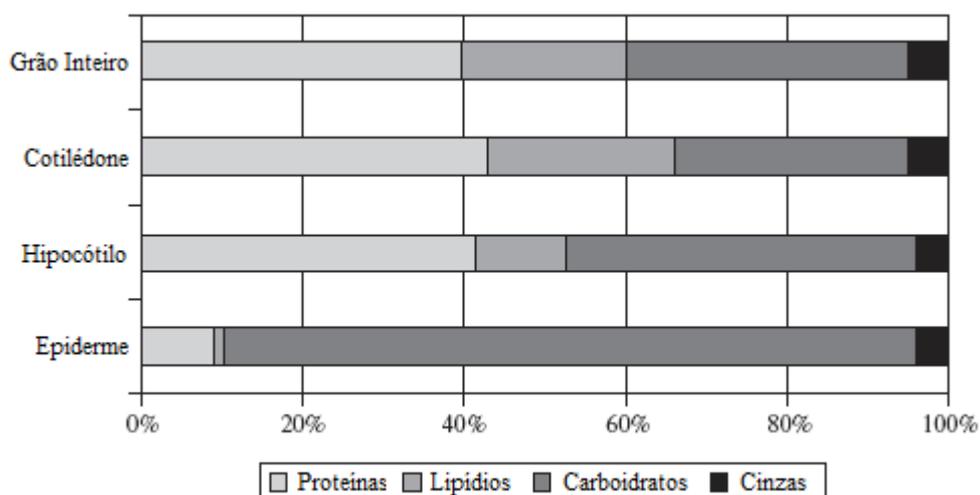


FIGURA 1. Composição centesimal do grão de soja em suas partes estruturais. (Aparício *et al.*, 2008).

Além dos teores de proteínas e do óleo, a soja é considerada boa fonte de minerais, especialmente magnésio, fósforo, cobre, zinco, ferro e vitaminas do complexo B, porém, a presença de óleo torna o grão altamente suscetível à oxidação dos ácidos graxos insaturados presentes em maiores teores na soja (Liener, 1994). A maioria das proteínas existentes na soja são as globulinas (Sgarbieri, 1996).

Proteínas são moléculas de alta complexidade, sendo formadas basicamente por aminoácidos ligados entre si por ligações peptídicas e constituídas essencialmente de carbono, oxigênio e hidrogênio (Pereda *et al.*,

2005). As proteínas apresentam-se de suma importância, como nutrientes para os humanos e animais, porém, o valor nutricional irá depender da sua composição, digestibilidade, biodisponibilidade dos aminoácidos essenciais e da ausência de toxicidade e/ou de propriedades antinutricionais (Sgarbieri, 1996). A proteína de soja normalmente é adicionada em formulações de diversos alimentos, pois aumenta a absorção de água em razão de sua adição.

O grão é bastante versátil no seu uso, sendo empregado na alimentação humana e animal, dando origem a diversos produtos e subprodutos, muito utilizados em agroindústrias, indústrias químicas e indústrias alimentícias. Dentre os diversos usos do grão, estão: biodiesel, produtos embutidos, chocolates, leite, produtos de carne, bebidas, alimentos dietéticos, temperos para saladas, entre outros produtos. No entanto, o uso mais conhecido é como óleo refinado, obtido a partir do óleo bruto. Através do óleo bruto é obtido a lecitina, um agente emulsificante que é utilizada na fabricação de maioneses, achocolatados, salsichas, dentre outros produtos. Com relação à alimentação animal, a soja é utilizada para a produção de farelo, alimento de alto potencial nutritivo (Ciabotti *et al.*, 2007; Sedyama, 2009).

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 baixo potencial 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. No decorrer do armazenamento, alguns fatores como o alto

teor de água dos grãos, alta temperatura e elevada incidência de fungos contribuem para a elevação de ácidos graxos livres.

A elevação dos ácidos graxos livres está relacionada com modificações deteriorativas, que podem ser oxidativas ou hidrofílicas, sendo que ambas podem causar a rancidez nos grãos. Por outro lado, devido a presença elevada de antioxidantes e pela gordura estar compartimentalizada nas estruturas celulares, os grãos inteiros são menos suscetíveis a rancidez, por estarem protegidos contra os efeitos do oxigênio do ar (Penfield & Campbell, 1990; Coneglian *et al.*, 2011).

Comumente os alimentos são submetidos a diversos processamentos na sua elaboração e estes processos podem acarretar na alteração das funcionalidades das proteínas. As modificações estão diretamente relacionadas com o tipo de processo e intensidade que é aplicado ao alimento. Em tratamentos moderados, apenas a conformação da proteína pode-se alterar, porém, em tratamentos mais intensos, a estrutura primária da proteína pode ser alterada. Em alimentos, comumente, são aplicados tratamentos térmicos, que podem causar modificações em aminoácidos, hidrólise de ligações peptídicas e alterações estruturais. Entretanto, essas alterações irão depender da intensidade do tratamento, condições ambientais e natureza da proteína. Em casos de alimento submetido a processo de desidratação, há aumento de concentração de componentes não aquosos, principalmente na aplicação de temperaturas elevadas, onde ocorre a eliminação da água (Pereda *et al.*, 2005).

2.3 Secagem

O processo de secagem de alimentos normalmente é realizado através da aplicação de uma fonte de calor, de forma controlada, com o objetivo de retirar uma determinada quantidade de água presente no alimento. Através desse processo, a vida de prateleira dos alimentos é prolongada, pois a atividade de água dos mesmos é reduzida.

Com a realização da secagem, há diminuição e/ou inibição do crescimento microbiano e da atividade enzimática nos alimentos (Fellows, 2006). No processo de secagem de alimentos, não somente o teor de água dos produtos é afetado, como também propriedades físicas, químicas e biológicas, tais como a atividade enzimática, contaminação microbiológica, dureza, viscosidade, aroma, sabor e palatabilidade (Barbosa-Cánovas & Vega-Mercado, 1996). Tais alterações dos alimentos podem ser minimizadas, quando utilizado processos de secagem adequados, fazendo-se necessários estudos dos processos, parâmetros e equipamentos.

2.3.1 Secagem de grãos

A secagem de grãos pode ser considerada como uma das mais importantes e mais frequentes operações aplicadas em todos os setores de produção de produtos sólidos, tendo por objetivo a retirada de água, reduzir a atividade de micro-organismos e controlar alterações físico-químicas (Silva, 2008).

De acordo com diversos autores (Henderson *et al.*, 1997; Athié *et al.*, 1998; Puzzi, 2000; Silva, 2008; Elias, 2007, Elias *et al.*, 2013) as principais vantagens da secagem são:

- Permitir antecipar a colheita, reduzindo e/ou impedindo perdas a campo desenvolvidas por intempéries climáticas, ataque de roedores, insetos, pássaros e micro-organismos;

- Possibilidade de comercialização na entressafra, visando obter melhores preços pelos produtos, no caso de a secagem estar associada ao armazenamento;

- Permitir a formação de estoques reguladores de mercado e armazenagem por períodos mais longos;

- Possibilidade de disponibilizar áreas, antecipadamente, para novos cultivos;

- Permitir a oferta de produtos de alta qualidade, no caso de grãos, pelas características organolépticas e nutricionais e, no caso de sementes, pela alta percentagem de germinação e vigor.

Entretanto, apesar das vantagens apresentadas pelo processo de secagem, a secagem é uma operação de alto risco à qualidade dos grãos. A magnitude do dano depende de manejos corretos dos teores de água inicial e final do produto, da temperatura de secagem, da temperatura do ar, da umidade relativa, do fluxo de ar, da taxa de secagem e do período de exposição ao ar aquecido (Miranda *et al.*, 1999; Biagi *et al.*, 2002).

No caso do grão de soja, a colheita pode ser realizada quando o produto está com teor de água entre 15 a 18% em base úmida (b.u.), evitando danos mecânicos. Os grãos devem ser secos até o teor de água de 11% b.u., com temperaturas máximas na massa de grãos de 38 °C para sementes e 48 °C para grãos destinados à agroindústria, para que se mantenha a integridade do produto e para uma armazenagem segura. Reduzir o teor de água abaixo de

10% pode favorecer o aparecimento de trincas no tegumento durante o manuseio do grão (Silva, 2008).

2.3.2 Sistemas de Secagem

A secagem de grãos pode ser classificada da seguinte maneira: a) secagem natural, quando a secagem do produto ocorre no campo, na própria planta, sem interferência do homem; b) secagem artificial, quando a secagem ocorre por processos manuais ou mecânicos, tanto no manejo quanto na passagem do ar pelo produto, com interferência do homem. A secagem artificial pode ser dividida em dois grupos: ventilação natural, onde a secagem ocorre através da ação dos ventos, e, ventilação forçada. A ventilação forçada é subdividida em três subgrupos: I) secagem com ar natural; II) secagem com baixa temperatura; III) secagem com alta temperatura (Silva, 2008).

- I) Secagem com ar natural: A secagem de grãos com ar natural normalmente ocorre em silo secador, com ventilação forçada. Esse processo é lento devido ao baixo fluxo de ar insuflado na massa de grãos e à dependência da capacidade de secagem do ar em estado natural. O potencial de secagem do ar ambiente e o aquecimento provocado pelo ventilador (2 a 3 °C) propiciam com suficiência a obtenção do teor de água final dos grãos para o armazenamento seguro (Silva *et al.*, 2000)
- II) Secagem com baixa temperatura: ar levemente aquecido em até 10 °C acima da temperatura ambiente. A duração de secagem, por este método, é dependente da temperatura, umidade relativa e vazão do ar de secagem. É de suma importância estes três parâmetros estarem

definidos corretamente, para que a secagem seja completa, para não ocorrer a deterioração do produto (Silva, 2008).

- III) Secagem com alta temperatura: temperatura superior a 10 °C em relação a temperatura do ambiente. A secagem com altas temperaturas é a mais rápida e independe das condições climáticas locais. Neste processo, o princípio baseia-se no aumento da temperatura do ar úmido, diminuindo a umidade relativa e, conseqüentemente, o ar adquire capacidade de absorver umidade. A técnica de secagem com altas temperaturas é muito utilizada em indústrias de transformação, unidades armazenadoras-coletoras, fazendas e intermediários (Silva, 2008).

Nos sistemas de secagem com alta temperatura, o secador mais utilizado no país é do tipo cascata, que é constituído por uma série de calhas invertidas na forma de “V”, disposta em linhas alternadas, dentro do secador. A massa de grãos movimenta-se no sentido descendente, entre as calhas. O ar de secagem entra numa linha e sai em outra linha de calhas (adjacentes, superiores ou inferiores).

Em relação à operação, os sistemas de secagem contínuos são aqueles que a massa de grãos permanece constantemente, sob ação do ar quente. Após esse processo, os grãos vão para uma câmara de resfriamento, chamada de equalizadora, onde são atravessados por um fluxo de ar com temperatura ambiente, que tem por finalidade resfriar a massa de grãos (Silva *et al.*, 2000; Elias, 2002). As temperaturas do ar utilizadas neste sistema, na entrada do secador, podem variar de 70 a 130 °C, desde que a massa de grãos não contenha grande quantidade de impurezas e/ou matérias estranhas, sendo necessária a realização de inspeção diária e remoção de poeiras, para evitar

incêndios (Elias *et al.*, 2013). Durante a operação, há grandes riscos de danos térmicos nos grãos, que é uma das características mais indesejáveis deste sistema, que tem por característica principal, a redução do tempo total de secagem para uma grande quantidade de produto (Silva *et al.*, 2000; Elias *et al.*, 2013).

Já os sistemas de secagem intermitentes, o contato da massa de grãos com o ar aquecido é descontínuo, desta forma, os grãos sofrem ação do calor em pequenos intervalos de tempo, intercalado com períodos de repouso, ou seja, quando a massa de grãos passa na descarga, elevador e na câmara equalizadora, não recebe ação de ar. Os grãos, durante essa operação, recirculam no secador até atingir a umidade desejada. As temperaturas utilizadas na secagem intermitente variam de 70 a 100 °C, na entrada do secador, quando os grãos estiverem com umidade elevada. Nesse sistema, os danos mecânicos nos grãos são as características mais indesejáveis e como características mais positivas a uniformidade, rapidez e baixos riscos de danos térmicos (Elias *et al.*, 2013).

2.3.3 Fatores que influenciam o processo de secagem de grãos

A temperatura, umidade relativa do ar, fluxo do ar de secagem, teor de água inicial e final do produto, sistema de secagem utilizado e tempo de permanência do produto na câmara de secagem são os principais parâmetros que podem influenciar na qualidade final dos grãos no processo de secagem (Brooker *et al.*, 1992).

2.3.3.1 Temperatura do ar de secagem e da massa dos grãos

A temperatura do ar de secagem empregada possui efeito significativo sobre a qualidade dos grãos. Quando há incidência de temperatura superior a necessária para a evaporação de água no grão, por convecção, podem ocorrer danos físicos (quebra e trincas), descoloração do produto, bem como redução do teor de óleo, proteína e amido. Antes de se determinar a temperatura do ar de secagem, devem-se considerar fatores como o destino final do grão, o teor de umidade inicial e o tipo de produto.

É de suma importância conhecer a temperatura do ar de secagem e a temperatura da massa de grãos. Em sistemas de altas temperaturas, deve-se ter cuidado para a prevenção de danos aos grãos (Silva *et al.*, 1995). Segundo Oliveira (2010), a temperatura de secagem acima de 40 °C reduz significativamente o teor de óleo nos grãos de soja. Estas reduções ocorrem devido ao processo de oxidação das gorduras. Os grãos de soja, quando aquecidos a altas temperaturas, aceleram o processo da oxidação e decomposição termo-oxidativa (Dobarganes *et al.*, 1989; Reda, 2004).

2.3.3.2 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é um fator muito importante nos processos de secagem com ar natural ou artificial em baixas temperaturas (até 10 °C acima da temperatura ambiente), ou quando é realizado o processo de aeração dos grãos. Em condições de umidade relativa do ar baixa, quando realizada a secagem ou aeração, o produto pode entrar em equilíbrio higroscópico com um teor de água abaixo do necessário para o armazenamento, causando perdas de matéria seca do produto, por consequência, perdas econômicas para o

produtor. Da mesma forma, quando o produto passa por secagem ou aeração em ambientes com alta umidade relativa do ar, o produto tende a entrar em equilíbrio higroscópico com teor de água acima do recomendado para o armazenamento, ocasionando maiores taxas de respiração dos grãos (causando perdas na sua composição). Em alta umidade relativa do ar, os grãos estão mais propensos ao ataque de fungos e insetos-pragas (Silva *et al.*, 1995).

A umidade relativa do ar influencia na taxa de secagem artificial com altas temperaturas, devido à eficiência energética, sendo necessário um maior uso de combustível para aquecer o ar e reduzir a umidade relativa (Silva *et al.*, 1995).

2.3.3.3 Fluxo do ar de secagem

A eficiência da secagem está primordialmente ligada ao correto dimensionamento do fluxo de ar. Alguns parâmetros devem ser considerados: tipo de secagem (alta ou baixa temperatura), altura da camada de grãos (secagem estacionária), movimentação ou não dos grãos durante a secagem, velocidade da movimentação dos grãos, teor de impurezas e a perda de carga (Athié *et al.*, 1998). Quando utilizado fluxo do ar impróprio, como fluxo abaixo do mínimo, a qualidade do produto pode ser comprometida, já quando utilizado fluxo do ar mais elevado do que o necessário, a secagem irá ocorrer mais rapidamente, porém ocorrerá maior consumo de energia, conseqüentemente, maior investimento. Sendo assim, o fluxo do ar de secagem depende do tipo do produto, condições climáticas do local e o teor de umidade inicial do produto (Silva *et al.*, 1995).

2.3.3.4 Teor de água inicial e final do produto

A determinação do teor de água inicial do produto é um fator de suma importância para a seleção da temperatura de secagem. A escolha da temperatura proporciona a evaporação da água no grão, pois quanto maior a temperatura, maior a velocidade da migração da água do interior do grão para a sua superfície. De certa forma, quanto maior for o teor de água dos grãos, menor deve ser a temperatura de secagem utilizada (Athié *et al.*, 1998).

Nos processos de secagem de grãos, conhecer o grau de umidade de equilíbrio se torna um fator considerável, pois através dele, sabe-se o valor limite de redução do teor de água dos grãos em determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar. A umidade de equilíbrio dos grãos com teores de óleo elevado é inferior, se comparado aos grãos com maiores teores de amido e/ou proteína, quando submetidos as mesmas condições de temperatura e umidade relativa do ar. Por exemplo, em condições de 24 °C e 70% de umidade relativa, o teor de umidade de equilíbrio da soja é 12,2% e para o milho é de 13,6% (Weber, 1995; Elias, 2002).

2.3.3.5 Tempo de secagem

Segundo Athié *et al.* (1998), o tempo de secagem é estimado em função do conteúdo de água a ser removido dos grãos, do calor necessário para remoção da água e a quantidade de calor que o sistema fornece. A movimentação de água no grão depende de alguns fatores como: maturação dos grãos, teor de água, genótipo, permeabilidade da camada protetora,

temperatura, umidade relativa do ar, fluxo do ar e método de secagem empregado.

2.4 Fonte de aquecimento do ar de secagem

2.4.1 Lenha

No Brasil, o produto mais utilizado como fonte de aquecimento do ar de secagem de produtos agrícolas é a lenha. O teor de água da madeira influencia negativamente na geração de energia, afetando o calor liberado durante a queima, diminuindo a eficiência energética. Em trabalho realizado por Moreira *et al.* (2012), verificou-se que a lenha de *Eucalyptus benthanii*, quando com 0% de teor de água, apresentou poder calorífico de 19.264 kJ.kg⁻¹ e quando com 50% de teor de água, o poder calorífico diminuiu para 10.078 kJ.kg⁻¹. Na prática, podendo relacionar a secagem da madeira no campo, a mesma, desta espécie, entra em equilíbrio ao ponto de saturação de fibras com 22% a 30% de teor de água, onde nesta faixa o poder calorífico varia de 15.549 kJ.kg⁻¹ a 14.063 kJ.kg⁻¹.

De acordo com Precci *et al.* (2001), a utilização da lenha na secagem de grãos possui vantagens e desvantagens. As vantagens são: 1) Combustível de menor custo, tanto por tonelada quanto por unidade de energia; 2) geração de emprego e fixação do homem no campo, não exigindo mão-de-obra qualificada; 3) combustível com baixo teor de cinzas; 4) facilidade no armazenamento. As desvantagens são: 1) Exigências burocráticas de órgãos ambientais; 2) exigência de mão de obra ao manejar a lenha, aumentando os custos na produção final; 3) Poder calorífico menor comparado aos combustíveis fósseis.

Um fator importante na utilização da lenha para a secagem de produtos agrícolas é a qualidade da combustão. Por se tratar de um combustível sólido, sua combustão é relativamente incompleta, liberando grande quantidade de compostos químicos, sendo algumas moléculas nocivas para a saúde dos consumidores, como os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) (Portella & Eichelberger, 2001).

2.5 Armazenagem

A armazenagem tem por finalidade a preservação das características que os grãos apresentam logo após a colheita. No entanto, durante o armazenamento, os grãos estão sujeitos à ação de fatores como o calor, umidade, oxigênio, diversas pragas, organismos associados e atividades enzimáticas. Da mesma forma, os processos depreciativos dos grãos e a intensidade como que esses processos ocorrem, estão ligados às características intrínsecas dos mesmos (Brooker *et al.*, 1992; Elias *et al.*, 2013).

De acordo com Elias *et al.* (2013), para que no processo de armazenagem as propriedades qualitativas e quantitativas dos produtos armazenados sejam minimamente afetadas, algumas etapas de manutenção devem ser realizadas. A movimentação ou manuseio da massa de grãos, expurgo, transilagem, intra-silagem, aeração, retificação dos processos de secagem ou da pré-limpeza e limpeza, proteção contra o ataque de microrganismos, insetos e pássaros e combates de roedores. Essas etapas devem ser acompanhadas por amostragens periódicas e monitoramento do produto armazenado.

O teor de água final do grão de soja para uma armazenagem segura, sem que haja incidência, principalmente de fungos, bem como não haver um processo de deterioração, através de um elevado processo respiratório dos grãos, deve ser em torno de 11% em base úmida. Quando a umidade do grão for abaixo de 11%, podem ocasionar trincas no tegumento durante o manuseio (Silva *et al.*, 2000).

2.5.1 Fatores que alteram a qualidade dos grãos no armazenamento

Há três principais fatores que afetam a soja e seus subprodutos durante a armazenagem: teor de água do produto, temperatura e duração do armazenamento. Existem outros fatores, como grãos quebrados e a percentagem de matérias estranhas que afetam a capacidade de armazenamento (Acasio, 1997).

Para obter um eficiente armazenamento, o primeiro e mais importante fator, é o teor de água dos grãos, pois alto teor de água consiste em num meio ideal para o desenvolvimento de microrganismos, insetos e ácaros (Athié *et al.*, 1998; Puzzi, 2000). Na Tabela 1, Barre (1976), citado por Acasio (1997), apresentou os períodos de armazenamento seguro para grãos de soja quando armazenados com diferentes teores de umidade.

TABELA 1. Períodos de armazenamento seguro em diferentes teores de água em base úmida (b.u.) para grãos de soja.

Teor de água (%) b.u.	Período de armazenamento seguro
10,0 - 11,0	4 anos
11,0 - 12,5	1 a 3 anos
12,5 - 14,0	6 a 9 meses
14,0 - 15,0	até 6 meses

Fonte: adaptado de Barre (1976), citado por Acasio (1997).

O segundo fator que se destaca, principalmente em relação as taxas respiratórias dos grãos, é a temperatura. Através do aumento da temperatura, há elevação na intensidade do metabolismo que é proporcional ao aumento da temperatura que, por consequência, é dependente do teor de água dos grãos. Com um índice alto do teor de água, superior a 13 – 14%, a respiração aumenta, causando deterioração (Faroni, 1998; Puzzi, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul – RS (30°05'52" S, 51°39'08" W e altitude média de 46 m), localizada no km 146 da rodovia BR 290. Foram utilizados grãos de soja (*Glycine max* L. Merrill), cultivar TEC 5936 IPRO, cultivada conforme recomendações técnicas para a cultura (EMBRAPA, 2014), na safra agrícola 2016/2017 e colhidos no mês de abril de 2017.

Os grãos foram colhidos mecanicamente (colhedora automotriz), com teor de água entre 16,5 e 17,5%, sendo posteriormente limpos em máquina de ar e peneiras planas, para retirada de impurezas, grãos quebrados e matérias estranhas. Em seguida, os grãos foram secos em secador tipo coluna, com capacidade para 720 kg⁻¹ de grãos de soja, com operação em coluna completa e fluxo intermitente de grãos, ou seja, com a massa de grãos sempre em constante movimento (Figura 2).

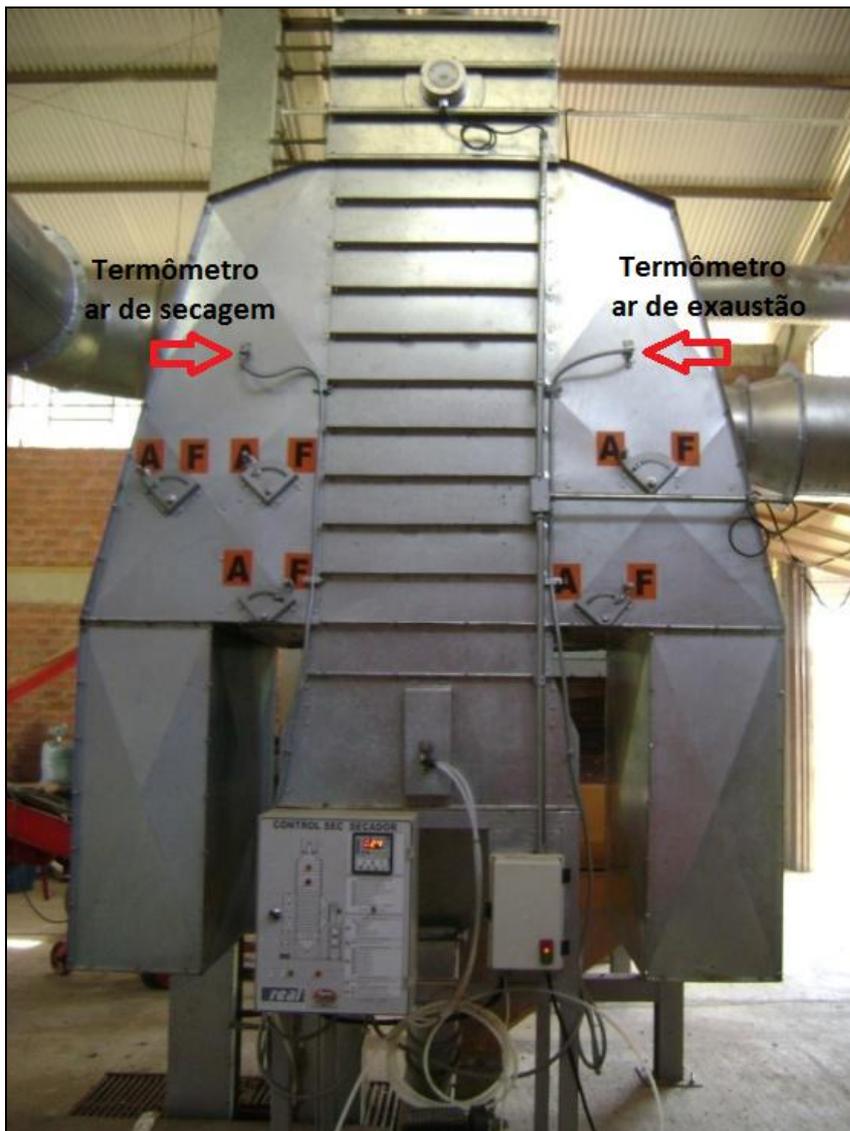


FIGURA 2. Secador de grãos do tipo cascata, fluxo de ar cruzado com capacidade de 720 kg^{-1} . Eldorado do Sul, RS, 2017.

A cada 30 segundos, 35 kg de grãos, que estavam na câmara de secagem, foram descarregados no elevador tipo caneca, sendo então transportados até o topo do secador para serem reintroduzidos na câmara de secagem. Os grãos foram secos até teor de água de aproximadamente 12,5 % em base úmida.

As temperaturas de ar de secagem utilizadas foram de 60 e 80 \pm 5 °C. Para cada temperatura de secagem foram realizadas duas repetições (dois secadores) por tratamento, caracterizando-se duas secagens.

O aquecimento do ar de secagem foi através da queima de lenha da espécie eucalipto, com diâmetro de até 20 cm e dois teores de água, sendo uma com 30% e a outra, com 75%. A determinação do teor de água da lenha foi realizada através do método de estufa, utilizando-se doze amostras, de no máximo 20 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento, pesadas e, posteriormente, colocadas em estufa a 103 °C (Figura 3). Foram considerados secos quando atingiram peso constante, após três pesagens consecutivas em intervalos de 24 horas em balança com precisão de 0,1g.



FIGURA 3. Amostras utilizadas para verificar teor de água da lenha.

O teor de água da lenha foi determinado, em base seca, pelo uso da equação abaixo (Gatto, 2002):

$$Tu = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

Tu = Umidade (base seca)

Pu = Peso Úmido

Ps = Peso Seco

Durante as operações de secagem, foi realizado o monitoramento do teor de água dos grãos com uso do determinador dielétrico (Marca GEOLE), previamente calibrado pelo método da estufa. As amostras foram obtidas em intervalos de tempo de 30 minutos durante o processo, o qual encerrou quando os grãos atingiram 12,5% de teor de água. Ao final das operações de secagem, todas as determinações do teor de água foram realizadas em estufa a 105 ± 3 °C, com circulação natural de ar (BRASIL, 2009).

Também foi coletado, a cada 30 minutos, dados referentes à temperatura do ar de entrada, temperatura da massa de grãos, temperatura do ar de exaustão, umidade relativa do ambiente e temperatura do ambiente. Foi utilizado um termômetro de mercúrio, para monitorar a temperatura do ar de entrada e de exaustão do secador. A temperatura da massa de grãos foi medida com termômetro de mercúrio, com escala de 0,5 °C, nas amostras coletadas na descarga do secador. Em relação à umidade e temperatura do ambiente, as mesmas foram obtidas da estação meteorológica existente na EEA/UFRGS.

Em relação a secagem estacionária, com ar não aquecido, a mesma foi realizada em silo secador com capacidade de 100 sacos (6.000 kg) (Figura 4). Foi realizada apenas uma secagem, com carga de 2.500 kg (\pm 42 sacos de soja), sendo este tratamento como controle (testemunha).



FIGURA 4. Silos secadores com capacidade de 6.000 kg. Eldorado do Sul, RS, 2017.

3.1 Custos de secagem

Os custos de secagem, calculados neste trabalho, são relativos aos custos de energia elétrica, para movimentação dos grãos no secador e o custo com o combustível de secagem (lenha).

3.1.1 Custos com lenha

Para determinação dos custos com a lenha foram utilizadas as seguintes deduções:

- 1 m³ de eucalipto com aproximadamente 32% de teor de água pesa 440 kg⁻¹ (Gatto, 2002).
- 1 m³ de eucalipto com aproximadamente 75% de teor de água pesa 635 kg⁻¹ (Garcia & Lopes, 2002).
- 1 m³ de lenha de eucalipto custa em média R\$ 41,00.

Com esses valores os custos foram determinados da seguinte forma:

- Custo unitário (R\$/saco 60 kg) = quantidade de lenha gasta (kg) para secar 60 kg de grãos, multiplicado pelo preço do kg da lenha com 32% de teor de água (R\$0,093/kg)
- Custo unitário (R\$/saco 60 kg) = quantidade de lenha gasta (kg) para secar 60 kg de grãos, multiplicado pelo preço do kg da lenha com 75% de teor de água (R\$0,065/kg)
- Custo por tonelada de grãos secos (R\$/t grãos) = (custo unitário X 1000 kg) / 60 kg

3.1.2 Custos com eletricidade

Em relação ao consumo e custos com eletricidade, levando-se em consideração o valor do kWh do mês de execução da secagem (abril/2017) foram realizados os seguintes cálculos:

Consumo total (kWh) = calculado a partir do consumo horário de eletricidade do motor do ventilador e do motor do transportador de grãos (elevador de canecos), multiplicado pelo tempo total de secagem.

Para cálculo do consumo horário (kWh) de eletricidade foi usado a seguinte equação para motor trifásico (Neves, 1999).

- $kW = (\sqrt{3} \times V \times A \times \text{Cos}\phi)/1000$, onde:
- V - Voltagem do local, 380 V;
- A – intensidade da corrente elétrica, em ampere, medida com amperímetro;
- $\text{Cos}\phi$ - Cosseno de ϕ , que indica o fator de potência, característico de cada motor;
- Custo unitário (R\$/saco 60 kg) = quantidade de eletricidade gasta (kg) para secar 60 kg de grãos, multiplicado pelo preço do kWh, considerando-se o preço de R\$ 0,36 por kWh, em abril de 2017.
- Custo por tonelada de grãos secos (R\$/t grãos) = (custo unitário X 1000 kg) / 60 kg

Os custos com energia elétrica foram decorrentes do consumo de dois motores elétricos, sendo um do elevador e outro do exaustor do secador. As especificações de cada motor são:

- Motor do Elevador: $\text{Cos}\phi$ 0,71, intensidade da corrente de 4 A, e voltagem de 380 V.
- Motor do Exaustor: $\text{Cos}\phi$ 0,60, intensidade da corrente de 0,6 A e voltagem de 380V.

Para cálculo do custo total de secagem foi utilizado o seguinte cálculo:

- Custo total = soma dos custos totais de lenha e eletricidade.

3.2 Armazenagem

Os bags foram colocados no galpão do polo de pós-colheita da EEA/UFRGS, em ambiente sem controle de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 5). O armazenamento dos grãos de soja foi realizado em bags de polipropileno, com capacidade de uma tonelada. Para cada secagem havia quatro bags. O armazenamento dos grãos que foram secos em altas temperaturas ocorreu no dia 23 de abril de 2017 e foi encerrado após 6 meses, no dia 23 de outubro de 2017. Para o tratamento controle (ar natural), o armazenamento iniciou no dia 23 de maio de 2017 e encerrou no dia 23 de novembro de 2017.



FIGURA 5. Armazenamento de grãos de soja em bags de polipropileno. Eldorado do Sul, RS, 2017.

As amostras para as análises foram coletadas logo após a secagem (tempo zero de armazenagem), com o auxílio de calador, de acordo com Instrução Normativa nº 11, 15 de maio de 2007 (BRASIL, 2007) e,

posteriormente, a cada 2 meses, até o final do experimento. Foi coletada uma amostra para cada bag, compostas com aproximadamente 2 kg.

3.2.1 Condições ambientais durante período de armazenamento

Durante o armazenamento foram obtidos os valores mínimos, máximos e médios da temperatura e umidade relativa do ar, entre os meses de abril e novembro de 2017, junto a Estação Meteorológica da EEA/UFRGS.

3.3 Análises físicas, tecnológica e química

As análises físicas, tecnológicas e químicas foram realizadas nos Departamentos de Fitossanidade e de Zootecnia (Laboratório de Nutrição Animal) da UFRGS, respectivamente. Essas análises foram realizadas antes da secagem, após o término da secagem (tempo zero de armazenamento), e aos 2, 4 e 6 meses, conforme descrito a seguir:

3.3.1 Teor de água

A determinação do teor de água foi pelo método da estufa a 105 ± 3 °C, com circulação natural de ar, por 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em percentagem de umidade (%), em base úmida.

3.3.2 Massa Específica

Determinada pela pesagem dos grãos em balança eletrônica com precisão de 0,001 g, a partir de uma quantidade de grãos colocados em

recipiente de volume conhecido. Os resultados da massa específica foram ajustados, para serem expressos em kg.m^{-3} , em base seca (BRASIL, 2009).

3.3.3 Peso de 1000 grãos

O peso de 1000 grãos foi determinado com a contagem oito repetições de 100 grãos e a pesagem em balança analítica, calculando-se o valor médio e multiplicando-o por dez. Os resultados foram expressos em gramas (g), em base seca (BRASIL, 2009).

3.3.4 Análise tecnológica

Os defeitos dos grãos foram determinados pela metodologia contida na instrução normativa nº 11, de 15 de maio de 2007, relacionando os grãos avariados (queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos), amassados, partidos e quebrados, esverdeados, mancha púrpura, mancha café ou derramamento de hilo, matérias estranhas e impurezas (BRASIL, 2007).

3.3.5 Proteína bruta

O teor de proteína bruta foi obtido pelo método *Kjeldahl*, descrito pela A.A.C.C. (2000). Os resultados foram expressos em percentagem, em base seca.

3.4 Delineamento experimental e análise estatística

Para as avaliações de qualidade foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x4 (5 formas de secagem e 4

tempos de avaliação), com duas repetições para as avaliações de secagem e quatro repetições para as análises de armazenagem, em cada tratamento, sendo as análises de armazenagem, feitas em duplicata.

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância (ANOVA) através do teste F ($p \leq 0,05$) e, quando acusado o efeito significativo, para a variável qualitativa, foi utilizado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e, para a variável quantitativa, a análise de regressão. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Assistat 7.7 e Sigma Plot (10.0).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados observados durante o processo de secagem constam na Tabela 2. São descritos o tempo de secagem, umidade inicial e final dos grãos de soja, massa de grãos na secagem, temperatura média do ar de secagem e a temperatura máxima.

TABELA 2. Valores relativos ao tempo de secagem, teor de água inicial e final dos grãos de soja, massa de grãos na secagem, temperatura média do ar de secagem e temperatura máxima da massa de grãos durante as secagens com altas temperaturas. Eldorado do Sul, RS, 2017.

Parâmetros	Condição de Secagem			
	60 °C Lenha Seca*	60 °C Lenha Úmida*	80 °C Lenha Seca*	80 °C Lenha Úmida*
Tempo de secagem (h)	5,07	5,15	3,23	3,59
Teor de água inicial (% b.u.)	17,3	17,1	17,4	16,6
Teor de água final (% b.u.)	12,3	12,2	13,2	12,5
Massa de grãos na secagem (kg)	686,8	596,2	645,2	644,8
Temp. média (°C) do ar de secagem	58,4	60,1	75,9	75,5
Temp. máxima (°C) da massa de grãos	40,3	43,0	46,3	46,5

*Médias de duas repetições de secagem.

O tempo de secagem a 60 °C, independente da umidade do combustível utilizado, foram relativamente semelhantes, indicando que, nesse caso, quando se utilizou temperatura mais baixa para a secagem, o teor de água da lenha não influenciou no tempo de secagem. Já a secagem com temperatura do ar a 80 °C mostrou ter maior eficácia em relação ao tempo de secagem quando

utilizado lenha seca, com 30% de teor de água, indicando que, nesse caso a umidade do combustível influencia na combustão da lenha e no tempo de secagem. O teor de água dos grãos de soja, no início de secagem estava entre 16,5 e 17,5%, atingindo em média 12,5% ao final da operação.

Em relação à quantidade da carga de grãos no secador, houve diferenças entre os processos de secagem, onde a maior variação foi de 90,6 kg. Essas diferenças são justificadas pelo fato de que o enchimento do secador não ocorrer de forma automática, havendo a necessidade de um operador para o fechamento manual da comporta existente entre a moega e o elevador de carga, responsável pelo transporte dos grãos até o secador.

As temperaturas maiores da massa de grãos fora de 46,3 e 46,5 °C, quando utilizado ar aquecido a 80 °C com lenha seca e lenha úmida, respectivamente, independente da duração da secagem. Nas secagens com temperatura de 60 °C, utilizando lenha seca, a temperatura da massa de grãos foi de 40,3 °C e com lenha úmida de 43,0 °C. Neste estudo, apenas foram relacionados os custos da secagem com o emprego de altas temperaturas de secagem, expressos na Tabela 3.

TABELA 3. Resultados do tempo de secagem, quantidade de grãos de soja secos, consumo de eletricidade e lenha dos tratamentos utilizando altas temperaturas. Eldorado do Sul, RS, 2017.

Tratamentos	Tempo Médio de Secagem (horas)	Quantidade média de soja seca (kg)	Consumo Médio		Consumo Tonelada	
			Eletricidade (kW)	Lenha (kg)	Eletricidade (kW/ton)	Lenha (kg/ton)
60 °C Lenha Seca	5,07	686,80	10,76	30,31	15,66	44,17
60 °C Lenha Úmida	5,15	596,20	11,06	34,42	18,50	58,00
80 °C Lenha Seca	3,23	645,15	6,63	25,89	10,33	40,17
80 °C Lenha Úmida	3,59	644,75	8,38	34,35	13,50	55,17

*Médias de duas repetições de secagem.

O emprego da maior temperatura de ar de secagem (80 °C), proporcionou menor tempo de secagem, bem como menor consumo de energia elétrica. No caso da secagem em que foi utilizado lenha úmida, o consumo de lenha com temperaturas de 60 °C e 80 °C foram semelhantes. Esse comportamento justifica-se pelo fato que na temperatura menor, utiliza-se mais lenha pelo maior tempo de secagem e no caso da temperatura maior, utiliza-se mais lenha para conservar a temperatura do ar de secagem mais elevado.

Em estudo realizado por Moreira *et al.*, (2012), os autores encontraram diferença de 143% na densidade energética (parâmetro que considera o poder calorífico do combustível) para lenha de eucalipto com 20% e 60% de umidade, mostrando que lenha com menor umidade apresenta maior poder calorífico inferior (energia liberada na forma de calor).

Em um estudo para estimar a demanda de lenha para a secagem de grãos no estado do Paraná, Bell (2012), analisou em 19 cooperativas agrícolas, as quais utilizam lenha de eucalipto com teor de água em torno de 30%. Considerando que a eficiência térmica global é de 60%, a autora encontrou a necessidade de 28,3 kg⁻¹ de lenha para secar uma tonelada de grãos de soja com teor de água inicial de 18% para teor de água final de 13%, resultado que está abaixo do neste estudo.

Segundo Rossi & Roa (1980), citado por Bell (2012), secadores que processam grandes quantidades de produto em pequenos espaços de tempo, apresentam eficiência térmica na ordem de 40%, sendo que grande parte destes secadores utiliza energia proveniente da combustão de derivados de petróleo e lenha. Através disso, há necessidades de buscar aumentar a eficiência na queima dos combustíveis, numa melhor homogeneidade do

combustível, principalmente a lenha e na capacitação da mão de obra, resultando melhoras e redução nos custos finais do processo de secagem.

Na Tabela 4 estão representados os custos calculados de energia elétrica e combustível (lenha) durante a secagem. Os custos com eletricidade referem-se ao consumo de energia, gerado pelo motor que movimenta os grãos no elevador e do motor que compõe o sistema de exaustão do secador.

TABELA 4. Custos com eletricidade e lenha na secagem de grãos de soja, por tonelada e unitário (saco de 60 kg) utilizando altas temperaturas na secagem. Eldorado do Sul, RS, 2017.

Tratamentos	Eletricidade*		Lenha**		Custo Total unitário (R\$/60 kg)	Custo Total tonelada (R\$/t seca)
	Custo tonelada (R\$/t seca)	Custo unitário (R\$/60 kg)	Custo tonelada (R\$/t seca)	Custo unitário (R\$/60 kg)		
60 °C Lenha Seca	5,65	0,34	4,11	0,25	0,59	9,77
60 °C Lenha Úmida	6,69	0,40	3,77	0,23	0,63	10,46
80 °C Lenha Seca	3,71	0,22	3,73	0,22	0,45	7,44
80 °C Lenha Úmida	4,87	0,29	3,59	0,22	0,51	8,46

* kWh R\$ 0,36 abril de 2017, empresa CEEE – Eldorado do Sul, RS.

** 1 m³ de lenha de eucalipto, custo de R\$ 41,00.

O maior custo total observado foi na secagem com menor temperatura de ar, utilizando lenha úmida, com um gasto de R\$ 10,46 por tonelada. Isso ocorre porque a menor a temperatura de secagem demanda mais tempo de secagem, maior consumo de energia elétrica, bem como maior o consumo de combustível, que neste caso tinha maior teor de água, conseqüentemente, menor sua eficiência na combustão, menor o seu poder calorífico inferior.

Já a secagem que obteve menor custo por tonelada, foi realizada a 80 °C e lenha com menor umidade, com custo de R\$ 7,44 por tonelada. Segundo a tabela de tarifa estipulada pelas coletoras da Companhia Estadual de Silos e Armazéns (CESA), para o processo de secagem de grãos de soja, o custo é de

R\$ 20,27 por tonelada (incluindo mão de obra, depreciação, etc.), com grãos a 17% de teor de água, justificando o valor mais elevado do que o observado neste estudo.

Lima (2014), avaliou a qualidade de grãos de milho submetidos à secagem com lenha e analisou os custos de secagem empregando diferentes temperaturas do ar de secagem (60, 60/80 e 80 °C) encontrando maior custo no tratamento com menor temperatura do ar de secagem e a melhor relação de custo no tratamento com 80 °C, relacionando esse menor custo devido ao menor tempo de secagem, mostrando que este estudo corrobora com o estudo realizado por Lima.

Em outro estudo, Portella & Eichelberger (2001) trabalharam com secagem estacionária de grãos de milho com diferentes umidades iniciais (35, 25 e 18%) e três diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 70 e 100 °C), utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP), até que os grãos alcançassem 13% de umidade. Os autores verificaram que o consumo, conseqüentemente o custo de energia elétrica aumentou nos tratamentos com menor temperatura de secagem, influenciados pela duração de secagem. Resultados estes que também são semelhantes aos resultados encontrados no presente estudo.

Os resultados das análises físicas, químicas e tecnológicas dos grãos “*in natura*”, ou seja, após a colheita e antes da secagem, foram os seguintes: 17,5%, massa específica de 690,90 kg.m⁻³, peso de mil grãos de 200,83 g, percentagem de grãos partidos/quebrados e amassados de 2,98%, de 0,45% de grãos mofados (Classificado como Grupo I – Tipo 1) e com 44,23% de proteína bruta.

Os resultados da análise estatística do teor de água dos grãos de soja submetidos à secagem e armazenados estão apresentados na Figura 6.

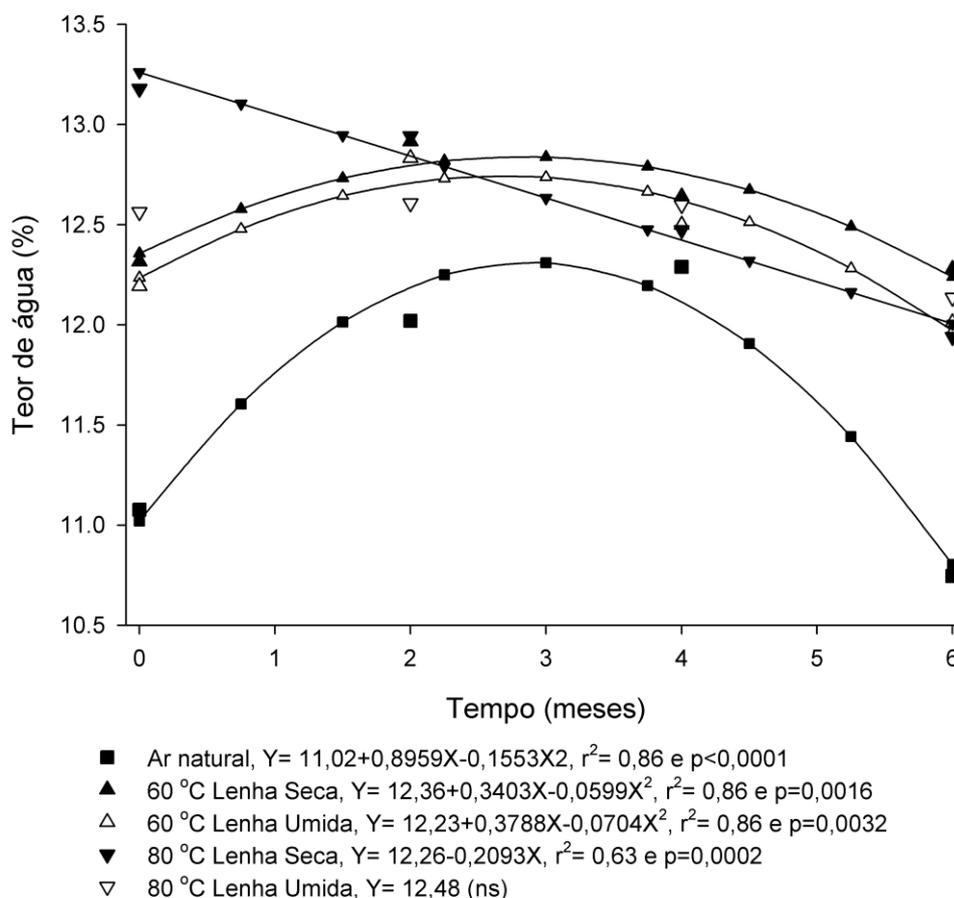


FIGURA 6. Teor de água (%) dos grãos de soja ao longo de seis meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS, 2017.

O teor de água final dos grãos após a secagem ficou próximo a 12,5%, exceto nos grãos secos a 80 °C utilizando lenha seca, que apresentou teor de água maior e os grãos secos com ar natural que atingiu teor de água menor. Nota-se que, com exceção da secagem a 80 °C utilizando lenha úmida, todos os outros tratamentos sofreram variações significativas do teor de água ao longo do armazenamento.

Devido aos grãos terem sido armazenados em bags de polipropileno, em ambiente não controlado de temperatura e umidade relativa do ar, os mesmos tenderam a entrar em equilíbrio higroscópico de acordo com as condições ambientais, durante os meses de armazenamento, de abril a novembro de 2017. Os grãos secos a 80 °C, e em lenha seca, por terem sido armazenados com teor de água mais elevado apresentaram redução de água durante todo o período. Segundo Martins (2003), a armazenagem em sacaria de polipropileno permite maior permeabilidade, possibilitando trocas hídricas e térmicas entre os grãos e o ambiente de armazenamento.

Durante o período de armazenamento, entre o segundo e quarto mês, que coincidiu com os meses de inverno (julho a setembro de 2017), a temperatura do ar foi menor e a umidade relativa do ar maior (Figura 7), os grãos aumentaram o teor de água, tendendo a entrar em equilíbrio higroscópico, com o ambiente onde estavam armazenados (Figura 8). Outros autores observaram o mesmo comportamento dos grãos, os quais apresentaram variação do teor de água durante o armazenamento (Oliveira *et al.*, 2010; Hartmann Filho *et al.*, 2016).

Na Figura 7 estão apresentados os dados observados das condições meteorológicas (temperatura e umidade relativa do ar) mensais durante o período de abril a novembro de 2017, correspondente ao período de armazenamento.

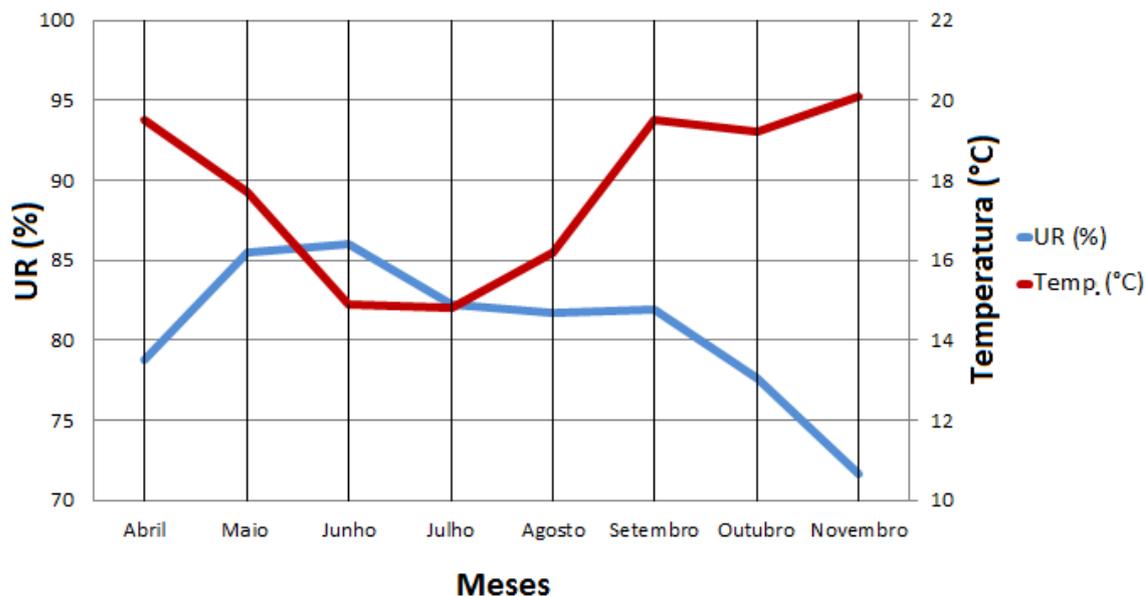


FIGURA 7. Valores médios da umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C) durante os meses de armazenamento dos grãos de soja submetidos a diferentes métodos e temperaturas do ar na secagem. Eldorado do Sul, RS, 2017.

O menor teor de água dos grãos secos com ar natural ao final do experimento, provavelmente ocorreu em função de uma maior desuniformidade na secagem, visto que o sistema que utiliza ar natural depende principalmente das condições do ambiente (temperatura e umidade relativa do ar), que são variáveis durante o período de secagem, levando a secagem menos homogênea, que corrobora com outros resultados já encontrados (Ferrari Filho *et al.*, 2014).

Espécie	Temperatura do ar (°C)	UMIDADE RELATIVA (% U.R.)										
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
		EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO (% b.u.)										
SOJA	12	8,5	8,9	9,3	9,7	10,4	11,2	12,0	13,2	14,4	15,5	16,7
	14	8,2	8,6	9,0	9,4	10,1	10,9	11,7	12,9	14,1	15,2	16,4
	16	7,8	8,2	8,6	9,0	9,7	10,5	11,5	12,5	13,7	14,8	16,0
	18	7,5	7,9	8,3	8,7	9,4	10,2	11,0	12,2	13,4	14,5	15,7
	20	7,2	7,6	8,0	8,4	9,1	9,9	10,7	11,9	13,1	14,2	15,4
	22	6,7	7,1	7,5	7,9	8,6	9,4	10,2	11,4	12,6	13,7	14,9
	24	6,3	6,7	7,1	7,5	8,2	9,0	9,8	11,0	12,2	13,3	14,5
	28	5,7	6,1	6,5	6,9	7,6	8,4	9,2	10,4	11,6	12,7	13,9
	32	4,9	5,3	5,7	6,1	6,8	7,6	8,4	9,6	10,8	11,9	13,1
	36	4,2	4,6	5,0	5,4	6,1	6,9	7,7	8,9	10,1	11,2	12,4

	Muito seco (perda de peso físico)
	Teor de umidade ideal
	Úmido (risco de deterioração rápida)
	Livre de fungos e insetos

FIGURA 8. Tabela de equilíbrio higroscópico (% b.u.) para soja. Fonte: Weber, 2005.

A Figura 9 apresenta o resultado da massa específica dos grãos submetidos à secagem com temperatura de ar de secagem de 60 e 80 °C utilizando lenha com distintas umidades, bem como do tratamento controle, e armazenados por seis meses. Pode-se observar que houve redução da massa específica ao longo do tempo de armazenamento em todas as secagens.

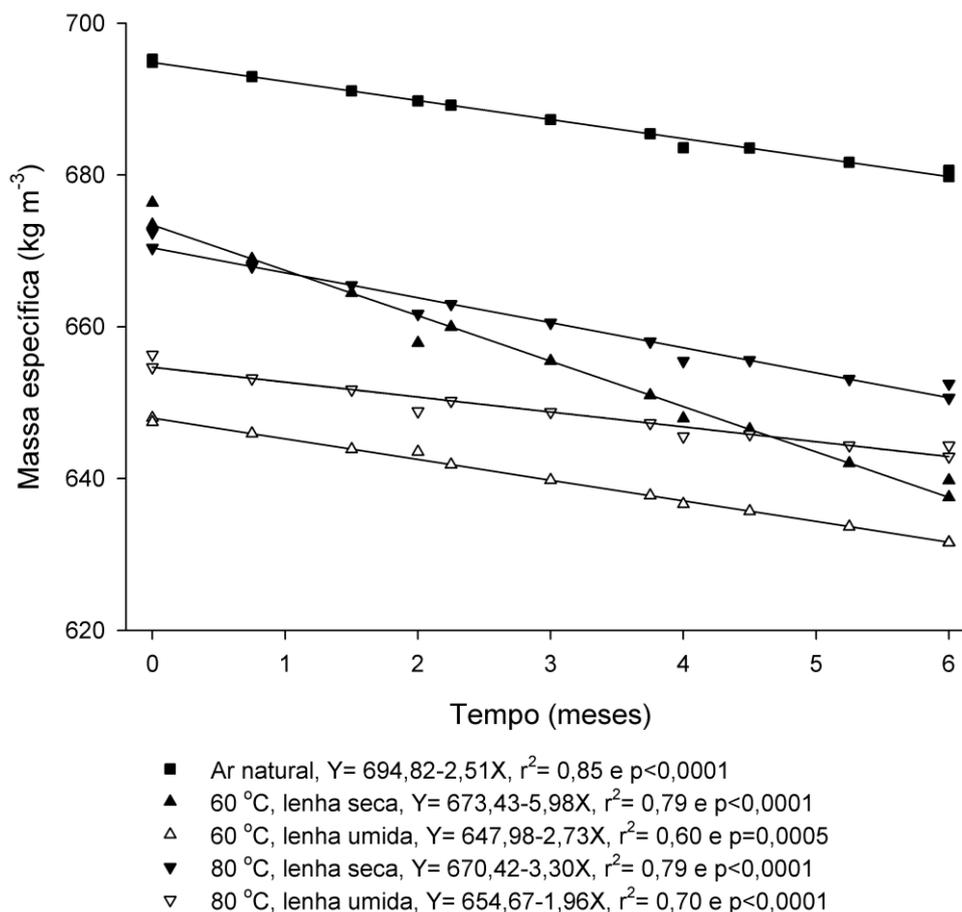


FIGURA 9. Massa Específica (kg.m⁻³) de grãos de soja, armazenados por seis meses em bags de polipropileno, após diferentes métodos e temperaturas do ar na secagem. Eldorado do Sul, RS, 2017.

Ocorreram reduções significativas da massa específica ao longo dos seis meses de armazenamento para todas as condições de secagem. No final do armazenamento foram observadas as maiores perdas, pelo fato dos grãos estarem armazenados em ambiente não controlado e ocorrer elevação da temperatura ambiente. Desta forma, a diminuição da massa específica está ligada a fatores como o metabolismo dos grãos, principalmente a respiração e a organismos associados. De acordo com Silva (2008) ocorre um incremento na taxa respiratória dos grãos proporcional ao aumento da temperatura, que fica na dependência do teor de água das sementes. Elias *et al.* (1997)

relacionaram a massa específica com a integridade biológica dos grãos, onde o consumo de nutrientes decorre da ação do metabolismo dos grãos e de organismos associados, reduzindo a massa específica.

Oliveira (2008) avaliou a massa específica de grãos de soja armazenados durante 12 meses, em ambiente não controlado, após secagem com cinco diferentes temperaturas, constatando queda significativa na massa específica dos grãos. O autor atribui às perdas quantitativas resultantes do metabolismo intrínseco, e à atividade microbiana. Em outro trabalho Alencar *et al.* (2009) verificaram redução na massa específica em grãos de soja a partir dos 90 dias de armazenamento, de grãos submetidos ao armazenamento com temperatura controlada de 30 °C e com umidade relativa do ar de 12,8%, atribuindo a resposta a incidência de microrganismos e insetos-pragas.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios do peso de mil grãos de soja, submetidos à secagem com duas temperaturas, utilizando lenha com diferentes umidades e armazenados por seis meses.

TABELA 5. Peso de mil grãos (g) de soja, submetidos à secagem e armazenados ao longo de seis meses. Eldorado do Sul, RS, 2017.

Tratamentos	Tempo de Armazenagem (meses)			
	0	2	4	6
Ar Natural	217,71*	215,75*	213,85*	213,37*
60 °C Lenha Seca	206,66	206,48	206,58	207,94
60 °C Lenha Úmida	212,59	213,84	215,42	212,93
80 °C Lenha Seca	212,65	203,67	210,63	209,03
80 °C Lenha Úmida	205,91	204,17	205,80	206,19
C.V. (%)	1,89			

Valores representam a média aritmética de quatro repetições expressos em gramas (g)

* Não significativo.

O peso de mil grãos não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, tendo como maior peso 217,71 g e menor peso 203,67 g. Antes de ser realizado o processo de secagem dos grãos, os mesmos passaram por processo de pré-limpeza, com peneiras superiores de dez milímetros e inferiores de seis milímetros de diâmetro, o que conferiu maior uniformidade da massa de grãos. Ao analisar o peso de mil grãos levou-se em consideração apenas grãos inteiros e íntegros, contribuindo assim para a uniformidade do peso de mil grãos entre as secagens.

Ferrari Filho *et al.*, (2014), ao estudar o efeito do processo de três tipos de secagem (GLP, Solar e Ar Natural), para grãos de milho, observou que não houve diferença significativa para o peso de mil grãos entre a secagem com GLP e Ar Natural, mostrando assim que o fator secagem com altas temperaturas (GLP) e com temperatura do ar ambiente (ar natural) não influencia no peso de mil grãos. Tiecker Júnior (2013), ao analisar o peso de mil grãos de soja armazenados com diferentes umidades (9,5, 11 e 11,5%), em quatro diferentes modos de armazenagem (tonel hermético e não hermético - sacaria hermética e convencional), durante oito meses, não encontrou diferença estatística significativa, evidenciando que estas condições de armazenagem mantiveram a conservação do parâmetro analisado. Os resultados dos estudos acima citados são semelhantes aos observados no presente trabalho.

Referente à análise tecnológica dos grãos de soja, os mesmos foram classificados de acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 11, de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), onde os grãos são enquadrados em dois Grupos (Grupo I e Grupo II). Esses grupos são

divididos em Tipos, que definem a qualidade dos grãos. Através do enquadramento de tipo, os grãos são encaminhados para destinos diversos em relação ao seu consumo. Os grãos são classificados como Fora de Tipo (FT) quando não atender em um ou mais aspectos às especificações previstas nas tabelas a seguir. Na Tabela 6 e 7 são apresentados os valores máximos permitidos pela IN para enquadramento de tipo dos grãos de soja.

TABELA 6. Limites máximos de tolerância, expressos em percentagem, para a soja do Grupo I.

GRUPO I							
Tipo	Avariados				Esverdeados	Partidos / Quebrados e Amassados	Matérias Estranhas e Impurezas
	Total de Ardidos e Queimados	Máximo de Queimados	Mofados	Total (1)			
1	1,0	0,3	0,5	4,0	2,0	8,0	1,0
2	2,0	1,0	1,5	6,0	4,0	15,0	1,0

Adaptada da Instrução Normativa N° 11, de 2007 (BRASIL, 2007).

(1) Soma de grãos queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos.

TABELA 7. Limites máximos de tolerância, expressos em percentagem, para a soja do Grupo II.

GRUPO II							
Tipo	Avariados				Esverdeados	Partidos / Quebrados e Amassados	Matérias Estranhas e Impurezas
	Total de Ardidos e Queimados	Máximo de Queimados	Mofados	Total (1)			
Padrão Básico	4,0	1,0	6,0	8,0	8,0	30,0	1,0

Adaptada da Instrução Normativa N° 11, de 2007 (BRASIL, 2007).

(1) Soma de grãos queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos.

Pelo fato de alguns parâmetros terem pouca incidência (ardidos, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos), estes não foram analisados estatisticamente. Na Tabela 8 estão expressos, de acordo com a

Instrução Normativa nº 11, de 2007, os valores (%) encontrados para os defeitos nos grãos de soja.

TABELA 8. Percentual de defeitos, em grãos de soja, de acordo com Instrução Normativa nº 11 de 2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em função dos métodos, temperaturas de secagem e tempo de armazenagem. Eldorado do Sul, RS, 2017.

Tratamentos	Tempo Armaz ¹ (meses)	Defeitos (%)					
		Total Ardidos e Queimados	Queimados	Mofados	Total (1)	Esverd ²	Partidos/Queb ³ e Amas ⁴
Ar Natural	0	0,32	0,00	0,32	2,58	0,00	2,47
	2	0,15	0,03	0,17	2,14	0,00	2,12
	4	0,00	0,03	0,24	1,48	0,00	2,92
	6	0,13	0,00	0,25	1,69	0,01	2,54
60°C Lenha Seca	0	0,07	0,06	0,13	2,54	0,31	10,41
	2	0,09	0,02	0,29	2,63	0,27	8,83
	4	0,10	0,12	1,60	3,39	0,05	8,41
	6	0,15	0,04	3,66	5,03	0,07	8,28
60°C Lenha Úmida	0	0,51	0,15	0,03	2,32	0,44	13,91
	2	0,14	0,05	0,25	2,72	0,55	12,02
	4	0,00	0,00	2,85	6,00	0,09	10,10
	6	0,00	0,00	4,18	5,96	0,02	8,38
80°C Lenha Seca	0	0,13	0,00	0,00	3,98	0,22	8,10
	2	0,10	0,00	0,09	3,93	0,27	5,35
	4	0,00	0,00	2,01	3,68	0,04	4,88
	6	0,04	0,00	3,62	4,96	0,00	2,80
80°C Lenha Úmida	0	0,18	0,08	0,01	3,79	0,38	8,60
	2	0,14	0,02	0,09	3,35	0,55	8,51
	4	0,05	0,03	2,58	4,26	0,03	6,43
	6	0,15	0,00	5,36	7,20	0,00	5,45

*Os valores representam a média aritmética de quatro repetições e estão expressos em percentual relativo a amostras de 125 gramas. (1) Total da soma de queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos.

¹Armazenagem, ²Esverdeados, ³Quebrados, ⁴Amassados.

Com relação aos grãos de soja partidos/quebrados e amassados, na Tabela 9 são apresentados os resultados da análise estatística, após serem submetidos à secagem e armazenados por seis meses.

TABELA 9. Grãos de soja partidos/quebrados e amassados (%), após secagem e armazenados ao longo de seis meses. Eldorado do Sul, RS. 2017.

Tratamentos	Tempo de Armazenagem (meses)								
	0		2		4		6		
Ar Natural	2,47	dA	2,12	dA	2,92	eA	2,54	cA	
60 °C Lenha Seca	10,41	bA	8,83	bB	8,41	bB	8,28	aB	
60 °C Lenha Úmida	13,91	aA	12,02	aB	10,10	aC	8,38	aD	
80 °C Lenha Seca	8,10	cA	5,35	cB	4,88	dB	2,80	cC	
80 °C Lenha Úmida	8,60	cA	8,51	bA	6,43	cB	5,45	bB	
C. V. (%)								9,51	

*Valores representam a média aritmética de quatro repetições e estão expressos em percentual relativo a amostras de 125 gramas. Médias acompanhadas de letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A partir da Tabela 9, pode-se observar que após a secagem (tempo zero de armazenamento) que as secagens com altas temperaturas apresentaram maiores percentagens de grãos partidos/quebrados e amassados, quando comparados ao tratamento de ar natural, diferindo estatisticamente. Dentre as secagens com alta temperatura, aquela com maior tempo de secagem dos grãos (temperatura de secagem 60 °C utilizando lenha com 75% de teor de água), apresentou o maior dano. Já com temperatura de ar de secagem de 80 °C, independente da umidade da lenha, apresentaram menores percentagens de grãos partidos/quebrados e amassados, quando comparados as demais secagens que utilizaram altas temperaturas, diferindo estatisticamente destes.

O maior valor de grãos quebrados/partidos e amassados na secagem a 60 °C, pode ser atribuída ao maior número de passagem dos grãos pela câmara de secagem. Pelo tempo de secagem, foi calculado o número de ciclos que os grãos deram na câmara de secagem, onde os grãos secos a 60 °C passaram 33 vezes dentro da câmara de secagem, propiciando maiores danos nos grãos. Já os secos a 80 °C que apresentaram menor percentagem de

grãos partidos/quebrados e amassados, passaram 19,5 vezes dentro da câmara de secagem, diminuindo a percentagem de grãos partidos/quebrados e amassados.

Conforme a Instrução Normativa nº 11 de 2007, para a classificação dos grãos de soja, existe uma escala de prevalência de defeitos dos grãos, de acordo com a sua gravidade. Os grãos cujos defeitos são classificados como ardidos, mofados e queimados são considerados defeitos graves, sendo assim, estes defeitos prevalecem sobre os outros defeitos. Um exemplo, se um grão estiver mofado e quebrado ao mesmo tempo, este grão será contabilizado como mofado e não como quebrado. Desta forma, explica-se o comportamento da redução de percentagem de grãos partidos/quebrados e amassados durante o armazenamento onde os grãos foram secos a altas temperaturas, pois os grãos partidos/quebrados e amassados foram os primeiros a mofarem ao longo do armazenamento.

Na Figura 10 estão apresentados os resultados de grãos mofados durante o armazenamento. Com exceção da secagem com ar natural, que não apresentou variação significativa, os grãos secos com alta temperatura apresentaram diferença estatística ao longo do armazenamento.

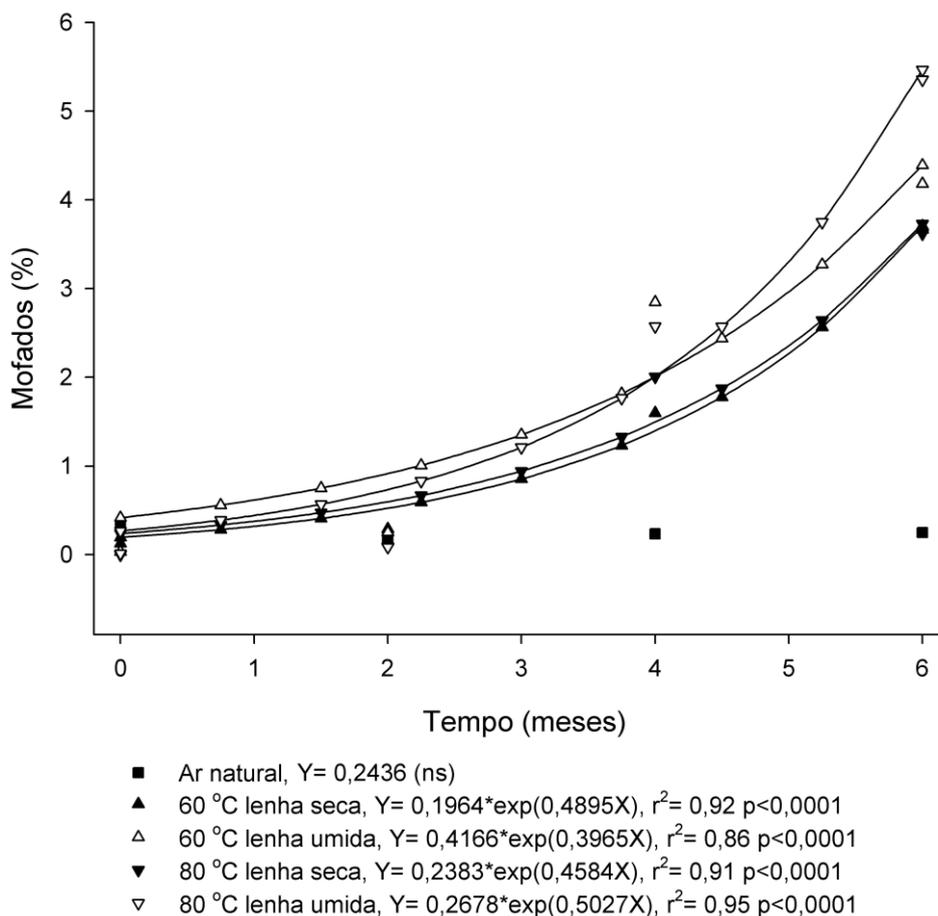


FIGURA 10. Grãos mofados (%) após a secagem e ao longo dos seis meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS, 2017.

A integridade física dos grãos, aliada com as condições de armazenamento, bem como o teor de água e a temperatura dos mesmos, são os principais fatores associados ao desenvolvimento de fungos. De acordo com Elias *et al.*, (2013), os fungos necessitam de suprimento alimentar. Grãos íntegros, onde seu tegumento esteja em ótimo estado, dificulta a incidência do fungo, porém, grãos que apresentam tegumento trincado ou grãos quebrados, aumentando, assim, a sua área superficial específica, têm suas atividades metabólicas potencializadas, o que contribui para o crescimento de fungos, que possuem fácil acesso ao amido do endosperma dos grãos.

O aumento dos grãos mofados também se deve ao incremento da temperatura do ar ao final do período de armazenamento, pois os grãos estavam armazenados em ambiente não controlado de temperatura e umidade relativa do ar. Os gêneros mais frequentes nos grãos armazenados são *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* (Puzzi, 2000; Elias *et al.* 2013). Alencar *et al.* (2009), analisando efeitos das condições de armazenagem sobre a qualidade de grãos de soja, verificaram desenvolvimento acelerado de fungos quando a soja foi armazenada em condições com temperatura de 40 °C e teor de água dos grãos com 14,8% aos 180 dias de armazenamento.

Com relação à classificação dos grãos, ao final do armazenamento, nenhum dos grãos foi classificado como fora de tipo (FT). Os grãos que foram secos a ar natural foram classificados do Grupo I – Tipo 1, durante todo o período de armazenam. Em relação aos grãos secos com alta temperatura, após a secagem, foram classificados como Grupo I – Tipo II, por apresentarem elevadas percentagens de grãos partidos/quebrados e amassados (> 8,0%).

Como apresentado anteriormente e demonstrado na Figura 7, os grãos que mofaram foram, principalmente, os que sofreram danos mecânicos durante a secagem. Desta forma, a secagem com ar natural, realizada de forma estacionária, sem o revolvimento da massa de grãos, contribuindo para a baixa incidência de fungos nesses grãos, pois os grãos estavam praticamente íntegros. Ao contrário, na secagem em que foi utilizada alta temperatura, a massa de grãos circulou varias vezes pela câmara de secagem, causando danos mecânicos nos grãos, o que contribui para o ataque dos fungos.

Os grãos de soja, quando classificados no Grupo I, independente do Tipo são destinados ao consumo “*in natura*”, diretamente para o consumo

humano (produtos de prateleira). Em relação ao Grupo II, esta soja é destinada a outros usos, principalmente para indústria (produção de óleo ou farelo de soja) e exportação (Tabela 10).

TABELA 10. Classificação dos grãos de soja em função dos tipos de secagem, temperaturas, umidade da lenha e tempo de armazenagem, de acordo com a Instrução Normativa n° 11 de 2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) Eldorado do Sul, RS, 2017.

Tratamentos	Tempo de armazenagem (meses)	Defeitos (%)		Classificação
		Mofados	Partidos / Quebrados e Amassados	
Ar Natural	0	0,32	2,47	Grupo I - Tipo 1
	2	0,17	2,12	Grupo I - Tipo 1
	4	0,24	2,92	Grupo I - Tipo 1
	6	0,25	2,54	Grupo I - Tipo 1
60 °C Lenha Seca	0	0,13	10,41	Grupo I - Tipo 2
	2	0,29	8,83	Grupo I - Tipo 2
	4	1,60	8,41	Grupo II - Tipo PB*
	6	3,66	8,28	Grupo II - Tipo PB*
60 °C Lenha Úmida	0	0,03	13,91	Grupo I - Tipo 2
	2	0,25	12,02	Grupo I - Tipo 2
	4	2,85	10,10	Grupo II - Tipo PB*
	6	4,18	8,38	Grupo II - Tipo PB*
80 °C Lenha Seca	0	0,00	8,10	Grupo I - Tipo 2
	2	0,09	5,35	Grupo I - Tipo 2
	4	2,01	4,88	Grupo II - Tipo PB*
	6	3,62	2,80	Grupo II - Tipo PB*
80 °C Lenha Úmida	0	0,01	8,60	Grupo I - Tipo 2
	2	0,09	8,51	Grupo I - Tipo 2
	4	2,58	6,43	Grupo II - Tipo PB*
	6	5,36	5,45	Grupo II - Tipo PB*

*Padrão Básico (PB).

Com relação à análise química, especificamente na análise de proteína, apenas foi analisado estatisticamente o efeito da temperatura de secagem, excluindo assim, o fator umidade da lenha.

Na Tabela 11 estão expressas as percentagens de proteína bruta dos grãos que foram submetidos a distintos métodos de secagem. Salienta-se que os grãos de soja “*in natura*” possuíam 44,28% de proteína bruta na sua constituição. Este valor mostra-se próximo ao apresentado na literatura: 40% (Sgarbieri, 1996). Quando se compara o teor de proteína dos grãos “*in natura*” com o teor dos grãos do tratamento com secagem de ar natural, observa-se que a redução é mínima, diminuindo 0,46%, logo após passar pelo processo de secagem, ratificando resultados encontrados por Ferrari Filho (2014), em estudos com grãos de milho, onde a perda do teor de proteína dos grãos foi menor, logo após a secagem, quando secos com a utilização de ar natural, em relação a secagem com GLP e secagem solar.

TABELA 11. Teor de proteína (%) dos grãos submetidos a diferentes tipos de secagem e armazenados durante seis meses em ambiente não controlado. Eldorado do Sul, RS, 2017.

Tratamentos	Tempo de Armazenagem (meses)							
	0		2		4		6	
Ar Natural	43,82	aA	40,98	aB	38,92	aC	38,08	aC
Secagem 60 °C	38,07	bB	38,92	bAB	39,84	aA	38,90	aAB
Secagem 80 °C	38,31	bA	39,43	bA	38,70	aA	38,34	aA
C.V. (%)	1,81							

* Médias de quatro repetições por análise, expressas em % de proteína bruta em base seca, seguidas por letras maiúsculas na mesma linha e minúsculas na mesma coluna, diferindo a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Em comparação da soja “*in natura*” com os grãos secos com ar aquecido a 60 °C, logo após a secagem, houve redução no teor de proteína de 6,21%. Essa mesma diferença ocorreu na comparação do tratamento controle (ar natural) com os de altas temperaturas (60 e 80 °C), onde houve diferenças significativas (Tabela 11) logo após a secagem.

O calor é classificado como um agente físico que causa a desnaturação de proteínas, sendo este o mais utilizado no processamento de alimentos. A desnaturação pode causar a perda de solubilidade e de propriedades funcionais, tornando a proteína uma estrutura mal definida. A sensibilidade de uma proteína depende das ligações que consolidam sua conformidade, bem como da intensidade e de qual agente desnaturador ao qual foi submetida esta proteína (Ribeiro & Seravalli, 2007; Fennema *et al.*, 2010). Santos (2013), em um estudo para avaliar melhores condições de secagem, visando a manutenção do teor de proteína em grãos de soja, utilizou um secador piloto, testando diferentes temperaturas de secagem (60, 80 e 100 °C). Com a menor temperatura de ar de secagem, houve redução de 2,97% no teor de proteína, no tratamento com 80 °C houve redução de 3,17% e na maior temperatura, a redução da proteína nos grãos de soja chegou a 4,36%, mostrando assim que quanto maior a temperatura de secagem, maior a sua influência na diminuição do teor de proteína dos grãos. Em outro estudo, Lee & Cho (2012) armazenaram soja preta à temperatura ambiente, durante dois anos, sendo que no primeiro ano de armazenamento a proteína, reduziu de 43% para 38,3% e no segundo ano reduziu para 33,8%. Esta perda sugere que as proteínas podem ser degradadas em pequenos peptídeos e aminoácidos. O mesmo comportamento foi observado neste estudo.

5 CONCLUSÕES

O custo total (lenha + energia elétrica) por tonelada de grãos de soja, com temperatura de secagem 60 °C e utilizando lenha úmida é 41% maior quando comparado a secagem com temperatura de secagem de 80 °C utilizando lenha seca.

O armazenamento de grãos de soja em ambiente não controlado tende a ter um comportamento de entrar em equilíbrio higroscópico, conforme as variações de temperatura e umidade relativa do ar, alterando o teor de água.

Grãos de soja submetidos à secagem não estacionária estão sujeitos a danos mecânicos, aumentando os percentuais de grãos partidos/quebrados e amassados, sendo esses danos maiores quanto mais ciclos pela câmara de secagem.

Grãos de soja com maiores danos mecânicos foram mais propensos ao ataque de fungos, que aumentou a partir do quarto mês de armazenamento, conforme o aumento da temperatura ambiente.

A secagem utilizando ar natural, com a massa de grãos estática, preservou melhor as características quantitativas e qualitativas dos grãos de soja, sendo estes classificados Grupo I – Tipo 1.

A proteína bruta é um constituinte químico muito afetado durante o processo de secagem com altas temperaturas, sendo que com a secagem com

ar natural, esse constituinte é preservado logo após a secagem, porém seu teor diminui ao longo do armazenamento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do ar natural na secagem deve ser preconizada, pelo fato de conservar as qualidades dos grãos, após passarem pelo processo de secagem, podendo ser um importante método de secagem, principalmente para pequenos e médios produtores.

A busca pela melhor eficiência energética na utilização de lenha empregada na secagem de grãos, bem como, uma melhoria no processo de secagem visando diminuição dos custos, são parâmetros de fundamental importância para quem utiliza essas ferramentas. Desta forma, entre os tratamentos empregados, a melhor condição de secagem quanto ao consumo de energia, foi com ar de secagem 80 °C e lenha de menor umidade (30%), porém, o tratamento que melhor manteve a qualidade, dentre os tratamentos com alta temperatura foi com ar de secagem a 60 °C, lenha com 30% de umidade. Sendo assim, há grande importância em se manter, quando possível, a lenha (combustível) estocada em locais protegidos de intempéries climáticas.

7 REFERÊNCIAS

- ACASIO, A. **Handling and storage of soybeans and soybean meal.** Manhattan, 1997. 17 p.
- ALENCAR, E. R. et al. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.13, p.606-613, 2009.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods AACC.** 10th ed. St. Paul, MN, 2000.
- AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY. **Official and Tentative Methods of American Oil Chemistry Society.** New York, 1996.
- APARICIO, L.M. et al. Soybean a promising health source. **Nutrição Hospitalar**, Madrid, v. 23, p. 305-312, 2008.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry.** 16. ed. Arlington, 1990. 2 v.
- ATHIÉ, I. et al. **Conservação de grãos.** Campinas: Fundação Cargill, 1998. 236 p.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; VEJA-MERDADO, H. **Dehydration of Foods.** Nova York, N. Y.: Chapman & Hall, 1996.
- BELL, R. A. O. **Demanda de lenha para secagem de grãos no estado do Paraná.** 2012. 153 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BIAGI, J.D.; BERTOL, R.; CARNEIRO, M.C. Secagem de grãos para unidades centrais de armazenamento. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL. V.M. (Org.). **Armazenagem de Grãos.** Campinas - SP: Instituto Bio Geneziz (IBG), 2002. v.1, p. 289-308.
- BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. **A soja no Brasil: história e estatística.** Londrina: EMBRAPA CNPSo, 1987. 61 p. (EMBRAPA. CNPSo. Documentos, 21).

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 11, de 15 de maio de 2007. Comissão Técnica de Normas e Padrões. Regulamento técnico para a identidade, qualidade, embalagem e apresentação de soja. Brasília, **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, seção 1, 16/05/2007.

BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.

CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao Agronegócio Soja**. Piracicaba: ESALQ, 2005. 30 p.

CIABOTTI, S. et al. Características sensoriais e físicas de extratos e tofus de soja comum processada termicamente e livre de lipoxigenase. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas - SP, v. 27, n. 3, p. 643-648, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2017/18**. Brasília, 2017. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/noticias/safra-de-graos-podera-atingir-227-9-milhoes-de-toneladas-em-2017-2018/AcompanhamentodaSafraBrasileiradeGros4Levantamento20172018.pdf>> . Acesso em: 19 out. 2017.

CONEGLIAN, S.M. et al. Utilização de antioxidantes nas rações. **Pubvet**, Londrina, v.5, 2011. Art. 1026.

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

DOBARGANES, M. C.; PÉREZ-CAMINO, M. C.; MÁRQUEZ-RUIZ, G. Determinación de compuestos polares en aceites y grasas de fritura. **Grasas y Aceites**, Sevilha – ESP, v.1, p. 35–38, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) – Clima temperado. **Indicações técnicas para a cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016**. Pelotas, 2014. 124p.

ELIAS, M. C; OLIVEIRA, M. PARAGINSKI, R. T. **Certificação de Unidades Armazenadoras de Grãos e Fibras no Brasil**. 2ª ed. Pelotas, 2013. 491p.

ELIAS, M. C. **Pós-Colheita de Arroz: Secagem, Armazenamento e Qualidade**. Pelotas: Ed. UFPEL, 2007. 422 p.

ELIAS, M.C. **Tecnologias para armazenamento e conservação de grãos, em médias e pequenas escalas.** 3ª ed. Ed. UFPel. 2002. 218p.

FARONI, L.R.D. **Fatores que influenciam a qualidade dos grãos armazenados.** 1998. Disponível em:

<<ftp://atenas.cpd.ufv.br/Dea/Disciplinas/Leda/Eng674/Fatores%20influenc%20qualid%20graos.doc>>. Acesso em: 20 de nov. 2017.

FERRARI FILHO, E. et al. Efeito de diferentes fontes energéticas na secagem e de tempos de armazenagem sobre as características físicas e tecnológicas de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 20, p. 71-79, 2014.

FERRARI FILHO, E. **Métodos e temperaturas de secagem sobre a qualidade físico-química e microbiológica de grãos de milho no armazenamento.** 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FELLOWS, P. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas.** 2º ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema.** 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

GATTO, D. A. **Avaliação quantitativa e qualitativa da utilização madeireira na região da Quarta Colônia de imigração italiana no Rio Grande do Sul.** 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

GARCIA, J. N.; LOPES, G. A. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Florestalis**, Piracicaba - SP, n. 62, p. 13-23, 2002.

HARTMANN FILHO, C. P. et al. Quality of second season soybean submitted to drying and storage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 3, p. 267-275, 2016.

HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L.; YOUNG, J. H. **Principles of process engineering.** 4. ed. St. Joseph, Mic.: ASAE, 1997. 353 p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos.** 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 245-246. v. 1.

KAGAWA, A. (Ed.) Standard table of food composition in Japan. Tokyo: **University of nutrition for women**, 1995. p. 104-105.

LEE, J.H.; CHO, K.M. Changes occurring in compositional components of black soybeans maintained at room temperature for different storage periods. **Food Chemistry**, Amsterdam - NLD, v. 131, p. 161-169, 2012.

LIENER, I. E. Implications of antinutritional components in soybean foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 34, n. 1, p. 31-67, 1994.

LIMA, R. F. **Qualidade de grãos de milho submetidos à secagem com lenha e armazenados em sacos de rafia**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MARTINS, I. R. **Métodos de secagem e umidades de armazenamento na qualidade e ocorrência de micotoxinas em milho**. 2003. 95 f. (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

MIRANDA, L. C.; SILVA, W. R.; CAVARIANI, C. Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar. I. Monitoramento físico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2097-2108, 1999.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; LIMA, E. A.; GOULART, I. C. G. R. Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtido a partir da queima da lenha. Colombo: Embrapa Floresta, 2012. 5p. (Comunicado Técnico, 293)

MUCKLE, T. B.; STIRLING, H. G. Review of the drying of cereals and legumes in the tropics. **Tropical Stored Products**, Great Britain, v. 22, p. 11-30, 1971.

NEVES, E. G. C. **Eletrotécnica Geral**. Pelotas: UFPel, 1999. 208 p.

OLIVEIRA, M. **Temperatura na secagem e condições de armazenamento sobre propriedades da soja para consumo e produção de biodiesel**. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

OLIVEIRA, M. et al. Efeitos do tempo e do armazenamento refrigerado de grãos de soja sobre qualidade do óleo. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA, 5ª, 2010, Foz do Iguaçu. **Anais**. Londrina: ABRAPÓS, 2010. p. 705 – 710.

PENFIELD, M.P.; CAMPBELL, A.M. **Experimental food science**. San Diego: Academic Press, 1990. 543 p.

PEREDA, J. A. O. et al. **Tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2ª ed. Brasília, DF: AGIPLAN, 1985. 289 p.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 194 p.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Uso de gás liquefeito de petróleo na secagem estacionária de milho em secador de leito fixo**. Passo Fundo: Embrapa, 2001. 4 p. (Circular técnica, 64)

PRECCI, R. L. et al. Fontes de energia para secagem. In: SILVA, J. S. (Ed.) **Secagem e armazenagem de café – Tecnologias e Custos**. Viçosa: Jard, 2001. p. 111-132.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666 p.

REDA, S. Y. **Estudo comparativo de óleos vegetais submetidos a estresse térmico**. 2004. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2004.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. **Química de alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Companhia Estadual de Silos e Armazéns (CESA). **Tarifas**. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <http://www.cesa.rs.gov.br/novosite/?page_id=21>. Acesso em: 8 jan. 2018.

SANTOS, C. D. **Avaliação das melhores condições de secagem de grãos de soja visando à manutenção do teor de proteínas**. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenaz, 2009. 314 p.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradações, modificações**. São Paulo: Livraria Varela, 1996.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. **Secagem e Secadores**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. 121 p.

SILVA, J. S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. 560 p.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. C. Estudos dos métodos de Secagem. In: Silva, J. S. **Pré-processamento de Produtos Agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. p. 105-143.

TIECKER JÚNIOR, A. **Avaliação da qualidade de grãos de milho e soja em armazenamento hermético e não hermético sob diferentes umidades de colheita.** 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

USDA. United States Department of Agriculture. **World Agricultural Supply and Demand Estimates.** Washington D.C., 2017. Disponível em: <<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

USSEC - U.S SOYBEAN EXPORT COUNCIL. The Soybean, It's History, and It's Opportunities. In: USSEC - U.S SOYBEAN EXPORT COUNCIL. **U.S Soy: International Buyers' Guide.** St. Louis, MO – USA, 2006. Cap.1, p. 1-7. Disponível em: <<http://ussec.org/wp-content/uploads/2012/08/Chap1.pdf>> Acesso em: 18 ago. 2016.

WEBER, E. A. Termometria e Aeração. In: WEBER, E. A., **Excelência em beneficiamento e Armazenagem de Grãos.** Canoas - RS: Livraria e Editora Salles, 2005. p. 399-586.