

SISTEMA DE SECAGEM EM LEITO FIXO E CAMADA ESPESSA

PAULO C. CORADI¹, ÂNGELO F. C. LEMES²

¹ Eng^o Agrícola, Professor Adjunto III, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Cachoeira do Sul, UFSM-RS, Fone: (0XX51) 3722-3247, paulo.coradi@ufsm.br

² Estudante de Mestrado em Agronomia, UFMS/CPCS-MS

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de um secador experimental protótipo de leito fixo em camada espessa. Para realização dos testes de secagem, utilizaram-se grãos de soja com teores de água iniciais de 17% (b.u.), coletados na descarga de uma unidade armazenadora de grãos. Ao final da secagem, coletou-se uma amostra superior, média e inferior das quatro células para avaliação da qualidade dos grãos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, fatorial (3x4x3), sendo três temperaturas do ar de secagem (30, 40 e 50 °C), quatro células de secagem (1, 2, 3 e 4) e três posições de avaliação de cada célula de secagem (superior, médio e inferior). Com o aumento da temperatura do ar de secagem para 50 °C houve redução da qualidade dos grãos de soja. Na parte superior das células de secagem os grãos de soja sofreram redução da qualidade, comparados com as posições médias e inferiores das células de secagem. Concluiu-se que, o protótipo secador experimental de leito fixo em camada espessa permitiu uma distribuição uniforme do ar aquecido nas células de secagem, mostrando-se eficiente na operação de secagem e na qualidade dos grãos de soja.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max* L., Secagem, Soja

FIXED LAYER DRYING SYSTEM AND THICKNESS LAYER

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the efficiency of a prototype fixed bed dryer. To perform the drying tests, soybeans were used with initial water contents of 17% (w.b.), collected in the discharge of a grain storage unit. At the end of drying, a superior, middle and lower sample of the four cells was collected to evaluate the grain quality. The experimental design was a completely randomized, factorial (3x4x3), three drying air temperatures (30, 40 and 50 °C), four drying cells (1, 2, 3 and 4) and three evaluation positions of each drying cell (upper, middle and lower). With the increase of drying air temperature to 50 °C, soybean quality decreased. At the top of the drying cells the soybean grains were reduced in quality, compared to the middle and lower positions of the drying cells. It was concluded that the experimental prototype dryer of fixed bed in thick layer allowed a uniform distribution of the heated air in the drying cells, proving to be efficient in the drying operation and in the quality of the soybean grains.

KEYWORDS: *Glycinemax* L., Drying, Soybean.

INTRODUÇÃO: A colheita dos produtos agrícolas geralmente é realizada a partir da maturidade fisiológica, quando ainda apresentam alto teor de água, diminuindo o tempo de

permanência nas lavouras, tornando-os menos propensos a deterioração e contaminação por fungos, insetos-pragas e redução de matéria seca ocasionada pela aceleração metabólica, respiração e reações químicas influenciadas pelas variações de temperaturas e umidade relativa do ar ambiente e alto teor de água do produto (KHOSHTAGHAZA et al., 2015; YOUNG et al., 2016). A secagem é uma operação de pré-processamento indispensável para manter a qualidade inicial dos produtos agrícolas para uma armazenagem segura. A redução dos teores de água dos grãos diminui a atividade biológica, microbiológica e as mudanças físicas e químicas dos mesmos no armazenamento. Por outro lado, os grãos submetidos ao processo de secagem, sofrem contração e influência direta em suas propriedades físicas, podendo reduzir a sua qualidade físico-química (YANG et al., 2015; CORADI et al., 2016a). Os métodos de secagem artificial podem ser classificados quanto à periodicidade no fornecimento de calor, quanto ao fluxo de ar, quanto à movimentação da massa de grãos em contínuo, intermitente ou estacionário (DEFENDI et al., 2016). Diversos estudos vêm sendo realizados visando o desenvolvimento de novos secadores e o aperfeiçoamento dos já existentes, sempre visando maior rendimento e a manutenção da qualidade dos produtos agrícolas. Os fatores principais para que isso ocorra são os controles da temperatura e do fluxo de ar, a velocidade e as pressões do ar aquecido, a movimentação e a uniformização dos teores de água do produto (LAHSASNI et al., 2004; SIVAKUMAR et al., 2016). Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de um secador experimental protótipo de leito fixo em camada espessa, com quatro câmaras de secagem, circulação de ar forçado e aquecimento elétrico, com variações na temperatura do ar de secagem, como uma ferramenta para monitoramento da qualidade de grãos de soja em secadores convencionais.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho de pesquisa foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita de Grãos, na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus de Chapadão do Sul (CPCS). O sistema de secagem projetada foi composto de uma câmara, com quatro células independentes de secagem, dispostas no seu interior, com função de separação dos grãos e/ou sementes em faixas de teores de água, teores de impurezas ou tamanho dos grãos, ou até mesmo de espécies diferentes, objetivando o aumento de rendimento e a qualidade dos grãos e/ou sementes na secagem. O secador de grãos foi construído com chapas metálicas de 14", com formato circular e elevado, contendo uma câmara de secagem (e) de 2,0 m de altura e 1 m de diâmetro, com capacidade estática variável conforme tipo de grão (média de 164 kg de grãos de soja e milho). O piso foi dimensionado com 10% de sua área total perfurada. No seu interior foram construídas quatro células de secagem móveis, para residência da massa de grãos durante a secagem, cada uma delas, medindo 1,5 m de altura e 0,20 m de diâmetro, construídas com chapas metálicas 12", com paredes de furos de 2 mm de diâmetro e abertas na parte superior. O plenum (d) do secador, com função de reduzir a velocidade do ar de secagem, foi disposto abaixo da câmara de secagem, com diâmetro de 1,5 m e altura de 0,30 m. No centro do plenum foi instalada uma das resistências elétricas com potência de 4000 watts. A outra resistência elétrica de mesma potência foi fixada em compartimento anterior do plenum (b), de 1,5 m de comprimento e 0,5 m de altura. Um ventilador centrífugo de pás retas, de vazão de $20 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ e pressão estática de 40 mmca, potência de 0,5 cv, tensão de 220 / 380 volts, rotação de 1750 rpm, monofásico, estrutura de aço carbono, rotor em alumínio fundido, ruído 90 DBA, peso de 35 kg foi acoplado a um funil expansor de ar de 1,5 m de comprimento e 0,5 m de altura interligado com o corpo do secador (Figura 1).

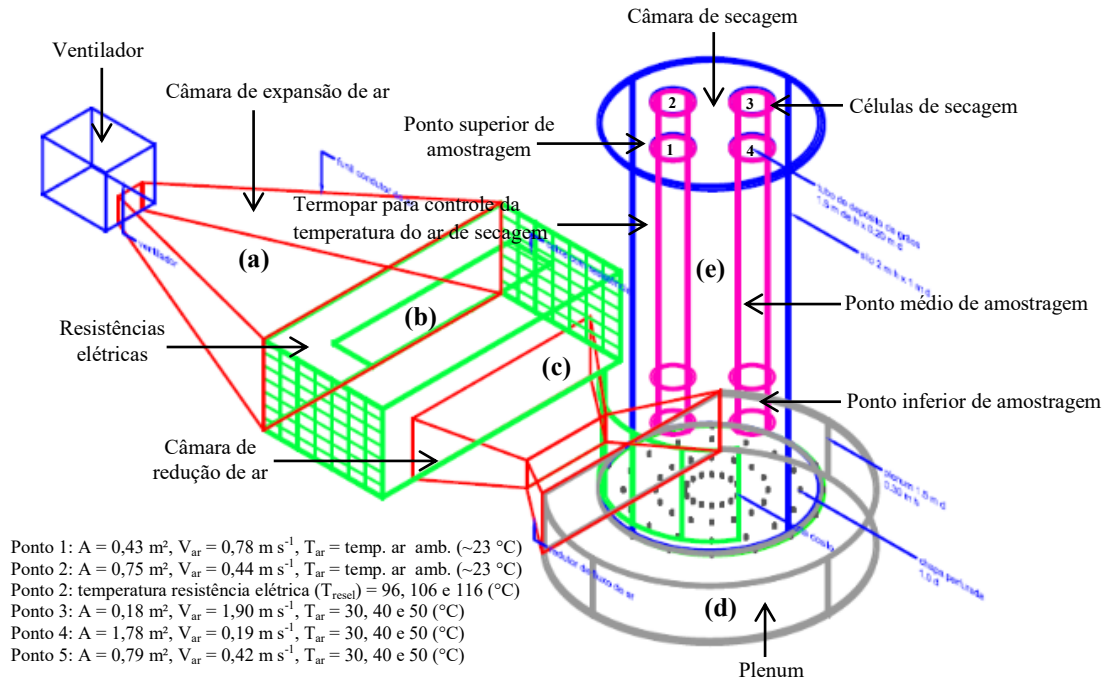


FIGURA 1. Protótipo experimental de secagem de grãos.

A instrumentação do sistema de secagem foi realizada com o controle da temperatura do ar de secagem diretamente nas resistências elétricas, através de um controlador externo com dimensões de (500 x 400 x 250 mm), canaletas com recorte aberto para alojamento dos cabos, disjuntor de proteção para comando 10A e força 40A, fonte chaveada 24 vcc para acionamento do rele de estado sólido, rele de estado 40A sólido trifásico com dissipador de calor, controlador de temperatura N1040-PR para controle do sistema, régua de borne para entrada e saída de cabos de comando e força (Figura 1). As resistências elétricas utilizadas foram do tipo tubular em formato de U, fabricada com tubo de aço inox 304, diâmetro de 11,2 mm, e as aletas em ferro, comprimento total de 1200 mm, 220 volts e 4500 watts. Em função da área do equipamento, vazão de ar e aquecimento do secador, obtiveram-se as variações na velocidade e temperatura do ar de secagem, de acordo especificações na Figura 1. Para realização dos testes de secagem utilizou-se grãos de soja com teores de água iniciais de 17% (b.u.), coletados na descarga de uma unidade armazenadora de grãos no município de Chapadão do Sul, estado de Mato Grosso do Sul. O secador de leito fixo, com capacidade de 164 kg de soja foi carregado pela parte superior, em seguida, acionou-se o sistema de ventilação de ar e o sistema de aquecimento com resistências elétricas, através de um controlador externo para controle da temperatura do ar de secagem em 30, 40 e 50 $^\circ\text{C}$. Durante a secagem, monitoraram-se as condições de temperatura da massa de grãos, com auxílio de termômetros de mercúrio nas quatro células de secagem. A cada intervalo de uma hora foi feita a amostragem de grãos, em todo o perfil da massa, das quatro células de secagem, com auxílio de um amostrador calador de grãos para determinação do teor de água. Ao final da secagem coletou-se uma amostra superior, média e inferior das quatro células para avaliação da qualidade dos grãos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, fatorial (3x4x3), sendo três temperaturas do ar de secagem (30, 40 e 50 $^\circ\text{C}$), quatro células de secagem (1, 2, 3 e 4) e três posições de avaliação de cada célula de secagem (superior, médio e inferior). Para avaliação da qualidade dos grãos de soja, foram realizadas as análises teor de água, teor de óleo, massa específica aparente e condutividade elétrica. O teor de água (% b.u.) foi determinado pela diferença de massa inicial de grãos e final, submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 105 $^\circ\text{C} \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ durante 24 horas, com três repetições de

15 gramas, de acordo com as recomendações de BRASIL (2009). Para análise do rendimento de óleo, os grãos de soja foram triturados com auxílio de um multiprocessador doméstico (modelo, Arno). Em seguida, foram pesadas 5 gramas de amostra, transferida para um papel de filtro e submetidas a um extrator, tipo Soxhlet, aquecido a 70 °C com 150 mL de solvente hexano PA, durante 4 horas. Após a extração o recipiente contendo óleo e o hexano foi levado a um evaporador rotativo com água aquecida de 70 °C a 40 rpm para separação do solvente e o óleo. A amostra de óleo foi mantida em estufa a 65°C por 12 horas para em seguida ser realizada a pesagem da massa de óleo. O resultado da porcentagem de óleo foi determinado pela multiplicação de 100 e divisão pela massa da amostra inicial, obtendo-se o teor de óleo, conforme metodologia descrita por INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008). A massa específica aparente dos grãos de soja foi determinada pela equação (1), considerando a relação entre a massa e o volume dos grãos obtidos através de pesagem, com três repetições, em recipiente de volume conhecido.

$$p_{ap} = \frac{m}{V} \quad (1)$$

em que,

ρ_{ap} - massa específica aparente, (kg m⁻³)

m - massa de grãos, (kg)

V - volume, (mm³)

O teste de condutividade elétrica em grãos de soja foi realizado de acordo metodologia descrita por VIEIRA & KRZYZANOWSKI (1999). Foram utilizadas 25 grãos e 4 subamostras de cada tratamento pesadas. As amostras foram colocadas para embeber em copos plásticos com 75 mL de águas deionizadas e mantidas em câmara refrigerada do tipo (B.O.D.) com temperatura controlada de 25 ± 2°C por 24 horas. As soluções contendo os grãos foram levemente agitadas para uniformização dos lixiviados, e imediatamente foi procedida à leitura em um condutivímetro digital portátil modelo CD-850 “Instrutherm”, sendo os resultados divididos pela massa de 25 grãos e expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ de grãos. Os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância e submetidas ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a determinação das diferenças significativas entre os tratamentos.

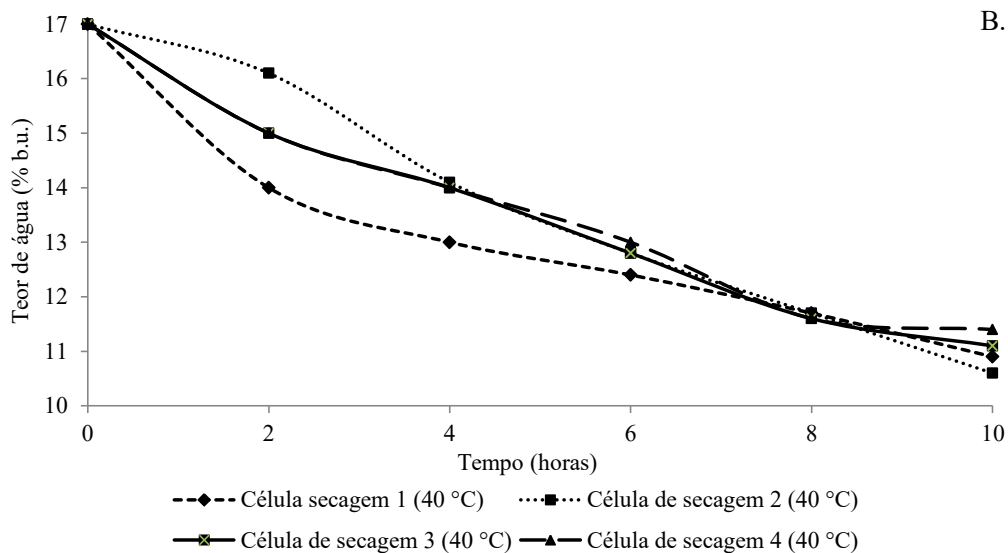
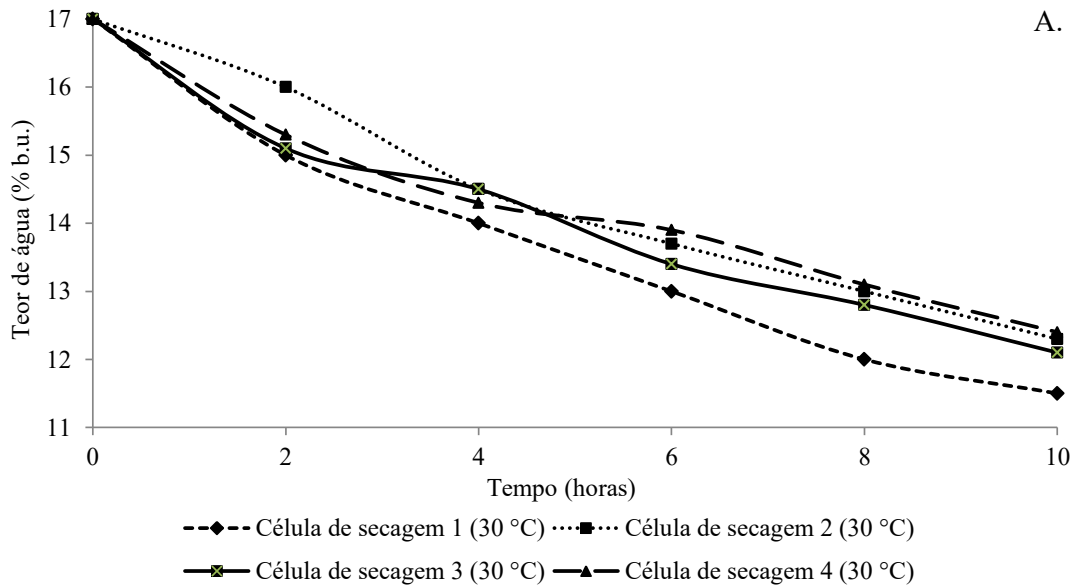
RESULTADOS E DISCUSSÃO: Observando os resultados obtidos na Tabela 1, na secagem com temperatura do ar de 30, 40 e 50 °C, com umidade relativa do ar ambiente variando de 70,5 à 45,5% a temperatura na massa de grãos variou de 26,9 à 33,5 °C, a temperatura do ar de exaustão de 26 à 32 °C e a umidade relativa do ar de exaustão variou de 73 à 59%.

TABELA 1. Monitoramento das condições de secagem de grãos de soja

UR _{ar} amb. (%)	T _{ar} amb. (°C)	T _{ar} secagem (°C)	Câmara de secagem 1-central		Câmara de secagem 2-central		Câmara de secagem 3-central		Câmara de secagem 4-central	
			T _{ar} /UR _{ar}	T _{massa}	T _{ar} /UR _{ar}	T _{massa}	T _{ar} /UR _{ar}	T _{massa}	T _{ar} /UR _{ar}	T _{massa}
			exaustão (°C/%)	grãos (°C)	exaustão (°C/%)	grãos (°C)	exaustão (°C/%)	grãos (°C)	exaustão (°C/%)	grãos (°C)
70,5	26,3	30 ±2	26/72	26,9	26/73	26,3	26/73	27,1	26/73	26,9
58,8	28,6	40 ±2	29/67	29,8	29/66	29,4	29/66	30,0	29/66	29,6
45,5	31,2	50 ±2	32/59	33,5	32/59	33,9	32/59	32,1	32/59	31,9

As curvas de secagem, observadas nas Figuras 2A, 2B, 2C representam a redução dos teores de água dos grãos de 17 para 11,5% (b.u.) na temperatura de secagem de 30 °C, de 17 para 10,3% (b.u.) na temperatura de 40 °C e de 17 para 10,5% (b.u.) na temperatura de 50 °C. Verificou-se, que a célula 1 teve maior redução/por tempo dos teores de água na temperatura de 30 e 40 °C, até o final da secagem. Enquanto que, para a secagem com temperatura de 50

°C a redução dos teores de água dos grãos foram semelhantes para as quatro células de secagem. Comparando-se o tempo de secagem, observou-se que na temperatura de 50 °C precisou-se de duas horas a menos para completar a secagem, em relação às temperaturas de 30 e 40 °C a qual levaram o mesmo tempo de dez horas para completar o processo de secagem. Comportamento este típico para vários produtos agrícolas e observados por diversos pesquisadores estudando inúmeros produtos agrícolas (CORRÊA et al., 2001; SOUSA et al., 2011; SIQUEIRA et al., 2012; RESENDE et al., 2014).



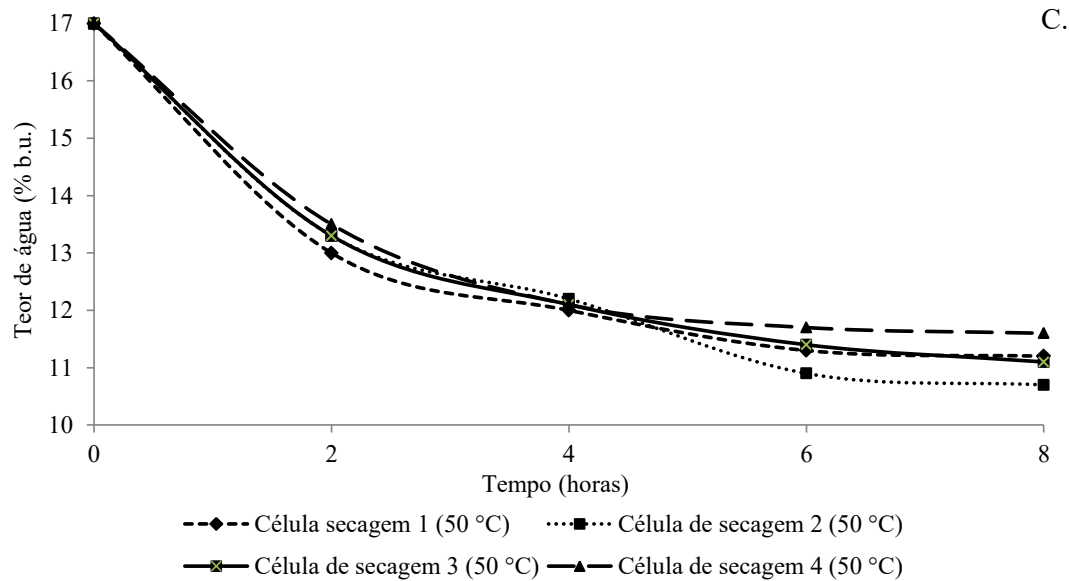


FIGURA 2. Curvas de secagem de grãos de soja em função das células, (A) temperatura de 30 °C, (B) temperatura de 40 °C, (C) temperatura de 50 °C.

Com o aumento da temperatura do ar de secagem, para as mesmas células e pontos de amostragem, houve redução dos teores de água dos grãos. Segundo SIQUEIRA et al. (2012), o aumento da temperatura possibilita a redução do período de secagem dos grãos, porque a diferença entre a pressão de vapor do ar de secagem e do grão aumenta com a temperatura, proporcionando maior redução de água em menor período. A redução da água no grão, durante o período de secagem, ocorreu por taxa de redução de água, até tornar-se estável, pois com a redução da água livre, torna-se mais lento e mais difícil a migração da água do interior para a superfície do grão (JANGAMET al., 2010). Este comportamento indica que a difusão é o maior mecanismo físico provável, que rege o movimento da água nas camadas delgadas (RAFIEE et al., 2009), sendo que a temperatura do ar de secagem é o principal indicativo para acelerar o processo de movimentação de água dos grãos. Nos pontos de amostragem inferior e médio das células foi observada homogeneidade na secagem, independente da temperatura do ar, enquanto que, no ponto superior das células observamos a maior variação entre os teores de água, com destaque para as temperaturas de 40 e 50 °C. Com o aumento da temperatura do ar de secagem ocorreu maior taxa decrescente de remoção de água do produto, indicando uma maior resistência à transferência de calor e massa do interior do produto para sua superfície e, portanto, definindo que a difusão é o principal mecanismo que determina o movimento de água (RAFIEE et al., 2009; JANGAM et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2012; CORADI et al. 2016b). Os resultados da análise de massa específica estão na Tabela 2. A temperatura do ar de secagem alterou a massa específica dos grãos. Comparando-se os pontos de amostragem nas células de secagem, a massa específica foi maior nos pontos médios das células 1 e 2, nos pontos inferiores das células 3 e 4 para a temperatura do ar de secagem de 30 °C. Para a temperatura de 40 °C, a massa específica foi maior nos pontos inferiores das células 1 e 2, pontos médios das células 3 e 4. Na secagem com temperatura de 50 °C, a massa específica foi maior no ponto superior da célula 1, inferior das células 2 e 3 e ponto médio de amostragem da célula 4. A redução da massa específica aparente está associada a redução do teor de água em função do aumento da temperatura do ar de secagem, provocando maior contração na parte interna dos cotilédones, em relação às suas dimensões externas que

contraem em menor proporção formando espaços vazios no interior do grão (LANARO et al., 2011; BANDE et al., 2012). Avaliando-se as células de secagem, a massa específica dos grãos variou em função da temperatura do ar de secagem e pontos de amostragem na célula. Para a temperatura de secagem de 30 °C, a massa específica dos grãos foram maiores nas células 3 (ponto inferior), 1 (pontos médio e superior), enquanto que, para a temperatura de 40 °C, a massa específica dos grãos foram maiores nas células 4 (pontos inferior e médio), célula 3 (ponto superior). Para a secagem com temperatura do ar de 50 °C, a massa específica foi maior na célula 3 (ponto inferior), célula 4 (ponto médio), célula 2 (ponto superior).

TABELA 2. Massa específica (kg m^{-3}) de grãos de soja após secagem, em função dos pontos de amostragem nas células e temperaturas do ar de secagem

T (°C)	Célula 1			Célula 2			Célula 3			Célula 4		
	I	M	S	I	M	S	I	M	S	I	M	S
30	889	892	868	869	873	861	892	877	861	872	857	851
	Aa	Aa	Ab	Aa	Aa	ABa	ABa	ABab	ABb	Aa	Cab	Bb
40	879	878	858	885	869	848	872	886	865	886	889	858
	ABa	ABab	Ab	Aa	Aa	Bb	ABab	ABa	ABb	Aa	ABa	ABb
50	864	857	874	892	886	881	894	896	847	884	904	876
	Ba	Ba	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Bb	Aab	Aa	Ab
Condição inicial	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870
	ABa	ABa	Aa	Aa	Aa	ABa	Ba	Ba	Aa	Aa	BCa	ABa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%. I(Inferior), M (Médio), S(Superior).

Os tratamentos que apresentaram maior redução de suas massas especificam também apresentaram aumento significativo dos resultados para condutividade elétrica, ou seja, os grãos apresentaram redução da massa específica quando perderam matéria seca e conseqüentemente qualidade devido à deterioração do produto. Por outro lado, em alguns tratamentos verificamos um aumento da massa específica após a secagem, o que foi provocado pela diminuição significativa do teor de água dos mesmos, tal situação foi observada por RIBEIRO et al. (2005) também com grãos de soja, e em outras culturas como feijão por RESENDE et al. (2008), pinhão manso por SIQUEIRA et al. (2012) e milho por CORADI et al. (2016c). Com a elevação da temperatura do ar de secagem houve um aumento na quantidade de exsudados liberados na solução, provocados por maiores danos causados nos tegumentos dos grãos (Tabela 3). De acordo com KRZYZANOWSKI et al. (1999), são consideradas sementes de baixo vigor aquelas que apresentam resultados para condutividade elétrica maiores que $80 \mu\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ quando possuem em torno de 13% (b.u.) de teor de água. Conforme VIEIRA et al. (2002), a condutividade elétrica é inversamente proporcional ao teor de água dos grãos, ou seja, a quantidade de lixiviados em solução aumenta à medida em que ocorre a redução da quantidade de água dos grãos. Concordando com os resultados observados de teores de água, verificou-se na Tabela 9, que os maiores valores de condutividade elétrica foram observados nos pontos superiores de amostragem, quando houve maior redução dos teores de água dos grãos, independente das células. Na Tabela 3, verificou-se que o ponto inferior de amostragem das células de secagem, independente da temperatura do ar, não teve diferença para a avaliação da condutividade elétrica, quando comparados entre as células. Para o ponto médio de amostragem, a condutividade elétrica foi maior em grãos secos na célula 1 para a temperatura de 50 °C, célula 2 para a temperatura de 40 °C, enquanto que, para a temperatura do ar de 30 °C não houve diferença nos valores de condutividade elétrica entre as células.

TABELA 3. Condutividade elétrica ($\mu\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de grãos de soja após secagem, em função dos pontos de amostragem nas células e temperaturas do ar de secagem

T (°C)	Célula 1			Célula 2			Célula 3			Célula 4		
	I	M	S	I	M	S	I	M	S	I	M	S
30	71,6	79,0	77,75	61,6	75,52	77,8	66,2	62,45	71,4	71,90	71,22	77,5
	Aa	Aa	Aa	Aa	ABa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	ABa
40	67,0	73,0	99,22	92,8	102,1	105,	75,7	85,07	104	81,85	81,92	101,6
	Aa	Aa	Ab	Ba	Ba	Ca	Aa	Aab	Bb	Aa	Aa	Ba
50	116,1	132,4	95,52	84,8	94,27	101	91,3	118,8	113	98,22	113,5	140,0
	Ba	Bb	Aa	ABa	ABa	BCa	5Aa	Bb	Bab	Aa	Ba	Cb
Condição inicial	74,04	74,04	74,04	74,0	74,04	74,0	74,0	74,04	74,0	74,04	74,04	74,04
	Aa	Aa	Aa	ABa	Aa	4 Aa	4Aa	Aa	4Aa	Aa	Aa	Aa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%. I(Inferior), M (Médio), S(Superior).

No ponto superior de amostragem, os maiores valores de condutividade elétrica para a temperatura do ar de 50 °C foram observados na célula 4, não havendo diferenças entre as células para as temperaturas de 30 e 40 °C. De acordo com VASQUEZ et al. (2011) o teste de condutividade elétrica é capaz de promover uma estratificação de diferentes níveis de vigor de grãos. O aumento da condutividade elétrica significa uma desorganização das células das membranas celulares dos grãos tornando-os mais suscetível a danos físicos, como temperatura e umidade, permitindo a entrada de patógenos e afetando a qualidade fisiológica. ALMEIDA et al. (2013) também observaram aumento na condutividade elétrica com o incremento da temperatura do ar de secagem em grãos de feijão. Na Tabela 4 estão os resultados da avaliação de teor de óleo dos grãos de soja. Observou-se que houve variações significativas em função das temperaturas do ar de secagem, diferindo do teor de óleo inicial.

TABELA 4. Teor de óleo (%) de grãos de soja após secagem, em função dos pontos de amostragem nas células e temperaturas do ar de secagem

T (°C)	Célula 1			Célula 2			Célula 3			Célula 4		
	I	M	S	I	M	S	I	M	S	I	M	S
30	9,05	9,05	9,05	9,89	9,89	9,89	9,22	9,22	9,22	9,28	9,28	9,28
	Ca	Ca	Ca	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da
40	7,70	7,70	7,70	10,9	10,9	10,9	14,3	14,3	14,3	12,9	12,9	12,92
	Da	Da	Da	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
50	12,17	12,1	12,1	12,3	12,3	12,3	17,9	17,9	17,9	18,0	18,0	18,07
	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
Condição inicial	15,44	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,44
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%. I(Inferior), M (Médio), S(Superior).

A secagem dos grãos causou redução na quantidade inicial de óleo, com exceção dos grãos dispostos nas células 3 e 4 na secagem com temperatura de 50 °C. Situação semelhante foi observada por FERNANDES et al. (2014) que observaram em grãos de soja com menor teor de água maior rendimento de óleo na extração. A maior redução dos teores de óleo foi observada nos grãos secos com temperatura do ar de 30 °C, com exceção para a célula 1, que teve a maior redução da quantidade de óleo na secagem com temperatura de 40 °C. As quatro células de secagem apresentaram o mesmo comportamento no rendimento de óleo, quando submetidas à temperatura do ar de 30 °C, enquanto que, na secagem com temperaturas do ar de 40 °C, nas células 3 e 4 obteve-se um maior rendimento de óleo, no entanto, para a secagem com temperatura de 50 °C o maior rendimento de óleo foi observado para as células 1 e 2.

CONCLUSÕES: O protótipo secador experimental de leito fixo em camada espessa permitiu uma distribuição uniforme do ar aquecido nas células de secagem, mostrando-se eficiente na operação de secagem e na qualidade dos grãos de soja.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a UFSM, UFMS, FUNDECT e CNPq pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; MENDES, U. C.; COSTA, L. M.; ROCHA, A. C. Influência da secagem na qualidade fisiológica do feijão adzuki. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 311-315, 2013.
<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2164>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. 2009, 399p.
- CORADI, P. C.; FERNANDES, C. H. P.; HELMICH, J. C.; GONELI, A. L. D. Effects of drying air temperature and grain initial moisture content on soybean quality (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Engenharia Agrícola (Online)**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 866-876, 2016a.
<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p866-876/2016>
- CORADI, P.C.; FERNANDES, C. H. P.; HELMICH, J. C. Adjustment of mathematical models and quality of soybean grains in the drying with high temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, Campina Grande, v. 20, n. 4, p. 385-392, 2016b. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n4p385-392>
- CORADI, P. C.; MILANE L. V.; ANDRADE M. G. O.; CAMILO L. J.; SOUZA A. H. S. Secagem de grãos de milho do cerrado em um secador comercial de fluxos mistos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 10, n. 1, p. 14-26, 2016c.
<http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2016v10n1p14-26>
- CORRÊA, P.C.; MACHADO, P.F.; ANDRADE, E.T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. *Ciência e Agrotecnologia*, v.25, n.1, p.134-142, 2001.
- FERNANDES, C. H. P.; CORADI, P. C.; HELMICH, J. C. Efeitos da secagem no rendimento do óleo de grãos de soja. In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2014, Campo Grande.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4ª ed. (1ª edição digital), 2008. 1020p.
- JANGAM, S. V.; LAW, C. L.; MUJUMDAR. **Drying of foods, vegetables and fruits**. 1. ed. Singapore: National University of Singapore, 2010, 232p.
<http://www.arunmujumdar.com/file/Publications/books/Drying%20of%20Foods%20Vegetables%20and%20Fruits%20Volume%201.pdf>
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, 1999.
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105000/1/Vigor-de-sementes.pdf>
- LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J. T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, Elsevier, v. 61, n. 2, p. 173-179, 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00084-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00084-0)
- RAFIEE, S. H.; KEYHANI, A.; SHARIFI, M.; JAFARI, A.; MOBLI, H.; TABATABAEEFAR, A. Thin Layer Drying Properties of Soybean (*Viliamz Cultivar*). **Journal of Agricultural Science and Technology**, El Monte, v. 11, n. 3, p. 289-300, 2009.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus*

vulgaris L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 1, n. 2, p. 17-26, 2008.

RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; CHAVES, T.H.; FERREIRA, J.; BESSA, V. Kinetics and thermodynamic properties of the drying process of sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) grains. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 32, p. 2453-2462, 2014. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2014.8808>

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of Jatropha seeds. **Revista Ceres**, v.59, n.2, p.171-177, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000200004>

SOARES, T. A.; BIAGGIONI, M. A. M.; FRANÇA NETO, J. B. Análise da acidez graxa como índice de qualidade em grãos de soja. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 91-102, 2005. http://revistas.fca.unesp.br/html/CD_REVISTA_ENERGIA_vol1/vol20n12005/Artigos/Tatiane%20Soares.pdf

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.4, p.883- 892, 2011. <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1500/622>

SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008, 560p. <ftp://ftp.ufv.br/.../Livro%20Secagem%20e%20e%20Armazenagem%20de%20Produit>

SILVA, D. D.; COSTA, R. V.; COTA, L. V.; RODRIGUES, J. A. S., TARDIN, F. D.; CASELA, C. R.; SOUZA, I. P. **Recomendação de híbridos de sorgo para resistência à antracnose**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011,7p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/906682/1/circ166.pdf>

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Propriedades físicas das sementes de pinhão-mansão ao longo da secagem em diferentes temperaturas. Londrina, **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2705-2714, 2012. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2705>

SIVAKUMAR, R.; SARAVANAN, R.; ELAYA PERUMAL, A.; INIYAN, S. Fluidized bed drying of some agro products—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, n.1, p. 280-301, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.014>

VASQUEZ, G. H.; BERTOLIN, D. C.; SPEGIORIN, C. N. Testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Biociências**, v.9, n. 1, p.18-24, 2011. <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1504>

VIEIRA, R. D.; PENARIOL, A. L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900018>

YOUNG, Z.; OLATUNDE, G.; ATUNGULU, G. Natural air drying and storage of soybean seed and implications on germination rates, vigor, and oil quality. In: 2016 ASABE Annual International Meeting. **Anais....American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2016, p.1.