



## SECAGEM DE GRÃOS DE MILHO DO CERRADO EM UM SECADOR COMERCIAL DE FLUXOS MISTOS

P. C. Coradi\* ; L. V. Milane; M. G. O. Andrade; L. J. Camilo; A. H. S. Souza

UFMS - Univ Federal do Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul, MS, Brasil

Article history: Received 16 October 2015; Received in revised form 11 February 2016; Accepted 15 February 2016; Available online 21 March 2016.

### RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos da temperatura do ar de secagem (80, 100 e 120 °C) e a redução dos teores de água na qualidade física e físico-química de grãos de milho (*Zea mays* L.) em um secador de fluxo mistos operando de forma contínua. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (7x3) (teores de água x temperaturas de secagem). A redução dos teores de água associados ao aumento da temperatura do ar de secagem reduziu o comprimento, a largura, a espessura, o volume, a esfericidade e a circularidade dos grãos de milho. Os índices de acidez e a porcentagem de cinzas aumentaram com a redução dos teores de água, não havendo diferenças entre as temperaturas do ar de secagem. A diminuição dos teores de água com o aumento da temperatura do ar de secagem aumentou a condutividade elétrica e reduziu a germinação dos grãos, não havendo diferença entre as temperaturas de 100 e 120 °C. Concluiu-se que, o processo de secagem contínua em secadores de fluxo misto de ar e produto na temperatura do ar de até 80 °C, não afetou negativamente a qualidade física e físico-química dos grãos de milho.

**Palavras-chave:** Armazenamento, qualidade, *Zea mays* L.

### DRYING CLOSED CORN GRAIN DRYER FLOW IN A COMMERCIAL MIXED

### ABSTRACT

The objective was to evaluate the effects of drying air temperature (80, 100 and 120 °C) and falling water levels in physical and physicochemical quality of grains of maize (*Zea mays* L.) in a dryer flow mixed operating of continuous form. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme (7x3) (water content x drying temperatures). The reduction of the water content associated with the increased temperature of the drying air reduced length, width, thickness, volume, sphericity and roundness of corn grains. The acid values and the percentage of ash increased with the reduction of water levels, with no differences between the drying air temperatures. The decrease of the water content by increasing the drying air temperature increased electrical conductivity and reduced the germination of grains, with no difference between the temperatures of 100 and 120 °C. It was concluded that the drying process is continuously mixed flow of air and product dryers in the air temperatures at 80 °C in not affected the physical and physical-chemical quality of the corn grains.

**Keywords:** Storage, quality, *Zea mays* L.

---

\* [paulocoradi@yahoo.com.br](mailto:paulocoradi@yahoo.com.br)

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro produtor mundial de milho, sendo este destinado a diversas finalidades, com maior demanda para a formulação de rações utilizadas na nutrição animal, pois contém alto índice energético (ELIAS, 2002; CORADI et al., 2011). Porém, para que os grãos sejam utilizados na formulação de rações é necessário que após a colheita, com teores de água de aproximadamente 23% (b.u.), os grãos sejam submetidos a um processo de secagem até atingirem 12% (b.u.) de água para assegurar a qualidade e estabilidade no armazenamento, reduzindo a quantidade de água do produto e evitando a atividade biológica de microrganismos (BROOKER et al., 1992, QUIRINO et al., 2013).

Como resultado da secagem, a redução do teor de água dos grãos proporciona uma diminuição do seu metabolismo, contribuindo para minimizar a taxa de deterioração e aumentar o período de armazenamento, sem a perda da qualidade fisiológica (MARCOS FILHO, 2005; SANTOS et al., 2013). Para que a secagem seja realizada de forma segura, rápida e econômica, MARTINAZZO et al. (2007) afirmaram que é fundamental conhecer e monitorar os fenômenos físicos que ocorrem durante a operação. A temperatura do ar de secagem deve ser controlada, dentro de limites, evitando-se possíveis danos físico-químicos e biológicos aos grãos (ELIAS et al., 2002). Segundo HALL (1980), a redução do teor de água dos grãos envolve simultaneamente a transferência de calor e massa, que podem alterar a sua qualidade, dependendo do método e das condições de exposição do material biológico.

A utilização de temperaturas elevadas permite uma secagem mais rápida, porém poderá provocar uma diferença de umidade muito grande entre a periferia e o centro do grão, podendo gerar problemas como a supersecagem e aceleração no processo de deterioração (SILVA, 2008). De acordo com

MENEZES et al. (2012), o aumento das temperaturas do ar de secagem resulta em aumento na percentagem de grãos com fissuras, que, associado a outros efeitos de secagem, afetam negativamente a qualidade físico-química dos grãos. Enquanto, ULLMANN et al. (2010) avaliando uma massa de sementes durante a secagem, verificaram que temperaturas elevadas expõem as sementes a danos térmicos que podem causar redução na viabilidade e no vigor das sementes. Segundo os mesmos autores, secagens de grãos severas, com altas temperaturas são utilizadas a fim de acelerar o processo e otimizar os equipamentos, reduzindo também o desenvolvimento de fungos e toxinas, porém, elevadas temperaturas podem também danificar as sementes (PEREIRA et al., 2011; OLIVA et al., 2012).

Em função do grande volume de grãos produzidos na região do cerrado e das baixas capacidades das unidades armazenadoras de recebimento do produto, torna-se difícil o processo de secagem, uma vez que já é dimensionado para funcionar durante todo o tempo de recebimento dos grãos. Desta forma, a opção adotada pelos armazéns de grãos para reduzir as filas de caminhões no recebimento do produto é a aceleração da secagem com o aumento da temperatura do ar, não controlando os parâmetros de fluxo de ar e a temperatura da massa de grãos. Quando a secagem não é realizada de forma adequada, com temperaturas elevadas, há riscos dos grãos sofrerem danos mecânicos, assim objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade do produto quando secos nas faixas de temperaturas utilizadas nos secadores instalados na região do cerrado. Especificamente, objetivou-se avaliar os efeitos da temperatura do ar de secagem (80, 100 e 120 °C) e a redução dos teores de água na qualidade física e físico-química de grãos de milho (*Zea mays* L.) em um secador de fluxo mistos operando de forma contínua.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de pesquisa foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Câmpus de Chapadão do Sul (CPCS), no Laboratório de Pós-Colheita de Grãos, em parceria com unidades armazenadoras de grãos da região do cerrado. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (7x3) (teores de água x temperaturas de secagem), com três repetições. As médias foram submetidas à análise de variância, sendo os efeitos dos tratamentos avaliados pelo teste F e, quando significativos, foram submetidos à análise de regressão.

O produto utilizado foi classificado, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), no grupo de milho duro. Os grãos de milho foram colhidos de forma aleatória, com teor de água de 18% em base úmida (b.u.). De posse do material, as impurezas e matérias estranhas foram separadas, utilizando-se uma máquina de ar e peneira. Em seguida, os grãos foram submetidos ao processo de secagem em um secador comercial, tipo cascata, de coluna (fluxo misto do ar de secagem e grãos), modelo Kepler Weber, com capacidade de processamento 150 t h<sup>-1</sup> (fluxo misto do ar de secagem e grãos), operando de forma

contínua, nas temperaturas de 80, 100 e 120 °C. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas durante todo o processo, com o auxílio de um psicrômetro. Durante a secagem foi feito o acompanhamento da temperatura da massa de grãos, utilizando os sensores termopares instalados no próprio secador, na câmara de secagem.

Para a análise das propriedades físicas e da qualidade físico-química dos grãos foram coletadas amostras durante o teste de secagem, com teores de água de 18, 17, 16, 15, 14, 13 e 12% (b.u.), para cada temperatura do ar de secagem.

O tamanho dos grãos foi determinado por meio da medição dos eixos de comprimento, largura e espessura, antes e após a secagem, com o auxílio de um paquímetro com precisão de 0,01 mm (MOHSEIN, 1986). Foram medidos 200 grãos de milho para cada temperatura do ar de secagem. O teor de água dos grãos ao longo da secagem (% b.u.) foi determinado pelo método de pesagem gravimétrico (BRASIL, 2009). As análises de massa específica aparente, esfericidade, circularidade e volume foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por MOHSEIN (1986) e calculadas pelas eq. 1, 2, 3 e 4 representadas Tabela 1.

**Tabela 1.** Equações para determinação das propriedades físicas de grãos de milho

Análises físicas	Equação	Numeração
Massa específica aparente	$\rho_{ap} = \frac{m}{V}$	(1)
Esfericidade	$S = \frac{(\pi abc)^{1/3}}{a}$	(2)
Circularidade	$C = \frac{A_p}{A_c}$	(3)
Volume	$V_g = \frac{\pi abc}{6}$	(4)

$\rho_{ap}$ : massa específica aparente (kg m<sup>-3</sup>); m: massa de grãos (kg); V<sub>g</sub>: volume (mm<sup>3</sup>); S: esfericidade (adimensional); a: dimensão do eixo maior (mm); b: dimensão do eixo médio (mm); c: dimensão do eixo menor (mm); C: circularidade (adimensional); A<sub>p</sub>: maior círculo inscrito na projeção do objeto em repouso (mm<sup>2</sup>); A<sub>c</sub>: menor círculo circunscrito na projeção do objeto em repouso (mm<sup>2</sup>).

O teste de condutividade elétrica foi realizado nos grãos de milho de acordo com a metodologia descrita por VIEIRA & KRZYZANOWSKI (1999). O teste de germinação foi conduzido de acordo com os critérios estabelecidos nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009). O índice de acidez dos grãos foi determinado de acordo com a metodologia descrita por AOAC (2000). A proteína bruta foi determinada utilizando-se o método de digestão de Kjeldahl (AOAC, 2000). A análise de porcentagem de cinzas foi feita em 2 g de amostra de grãos de milho, colocados em cadinhos de porcelana, a 100

°C num forno de mufla por 4 horas e calcinado a 600 °C. Em seguida, a amostra foi deixada arrefecer em dessecadores até a temperatura ambiente e, mensurada a massa (AOAC, 2000). Após calcinação, a determinação de cinzas foi obtida pela pesagem e diferença entre a massa do cadinho vazio, previamente calcinadas, e a massa do resíduo do cadinho, considerando a massa da amostra fresca. Os resultados das contrações volumétricas dos grãos foram ajustados pelos modelos matemáticos (Tabela 2) de regressão não-linear, método de Quasi-Newton, Statistica 7.0®.

**Tabela 2.** Modelos matemáticos de contração volumétrica de grãos de milho

Referência do modelo	Modelos	Numeração dos modelos
Bala e Woods (1984)	$\Psi_m = a \{1 - \exp [b (U - U_0)]\}$	(5)
Rahman	$\Psi_m = a + \beta_2 (U - U_0)$	(6)
Corrêa et al. (2004)	$\Psi_m = 1/[a + b \exp (U)]$	(7)
Exponencial	$\Psi_m = a \exp (b U)$	(8)

$\Psi_m$ : contração volumétrica (decimal); U: teor de água do produto em base seca (b.s.);  $U_0$ : teor de água inicial do produto em base seca (b.s.);  $\beta_2$ : coeficiente de contração volumétrica (adimensional); a, b: parâmetros que dependem do produto.

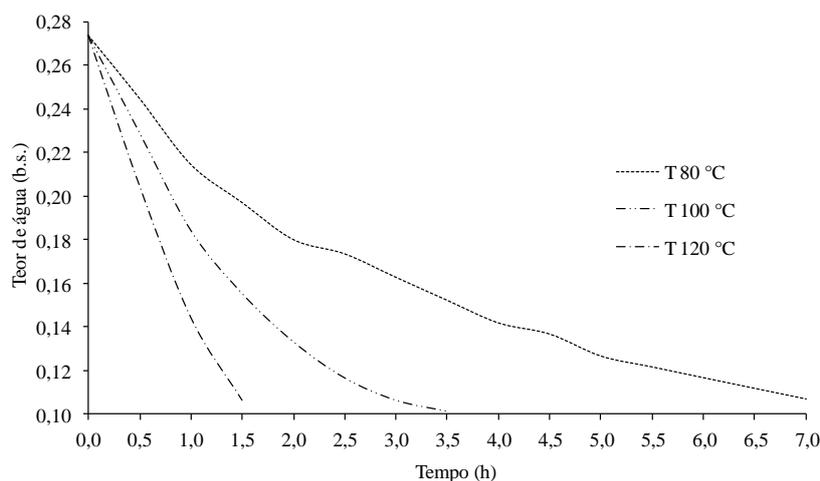
Para verificar o grau de ajuste de cada modelo foi considerado o significado do coeficiente de regressão pelo teste “t”, adotando o nível de 5% de probabilidade, a magnitude do coeficiente

de determinação ( $R^2$ ), os valores de erro médio relativo (P) e o erro médio estimado (SE) e verificado o comportamento da distribuição dos resíduos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão apresentados os valores médios de teor de água dos grãos de milho submetidos a diferentes condições de secagem. Pode ser observado na Figura 1, que o tempo necessário para os grãos de milho atingirem o teor de água de equilíbrio foi de 1,5, 3,5 e 7,0 horas para as temperaturas de secagem de 120, 100 e 80 °C, respectivamente. Notou-se também que, com o aumento da temperatura do ar de secagem aumentou-se a taxa de remoção de água do produto,

evidenciando um aumento na velocidade de secagem, a qual foi observada por vários pesquisadores para muitos produtos agrícolas (Goneli et al., 2011; Coradi et al., 2014a). À medida que o processo de secagem continua para o conteúdo de água de equilíbrio, as curvas representativas de secagem são semelhantes, diferindo-se apenas no tempo de secagem. A temperatura da massa de grãos de milho permaneceu entre 33 à 36 °C durante todo o processo de secagem.



**Figura 1.** Curvas de secagem de grãos de milho, (b.s) – base seca.

Observa-se, na Tabela 3, que a interação entre as temperaturas do ar de secagem e os teores de água dos grãos para as avaliações de comprimento, largura, espessura, volume, massa específica,

esfericidade, circularidade, condutividade elétrica, germinação, índice de acidez, cinzas e proteína bruta dos grãos foram significativos a 5% de probabilidade.

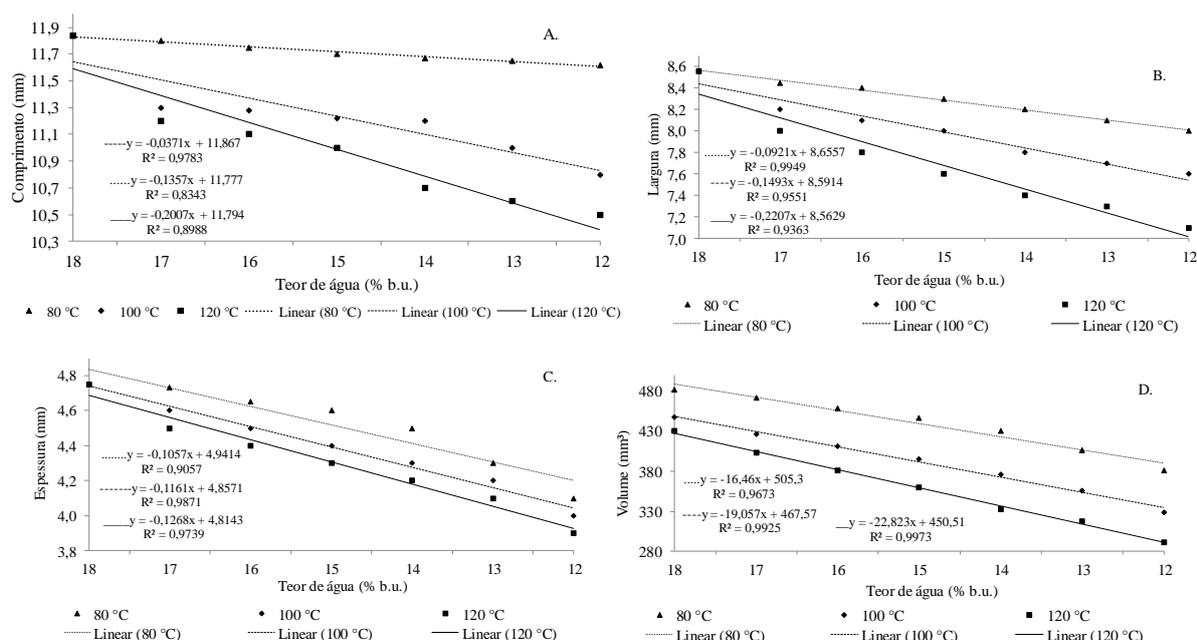
**Tabela 3.** Análise de variância do comprimento (C), largura (L), espessura (E), volume (V), massa específica (ME), esfericidade (EF), circularidade (CC), condutividade elétrica (CE), germinação (G), índice de acidez (IA), cinzas (CZ), proteína bruta (PB) dos grãos de milho ao longo da secagem

FV	GL	C	L	E	V	ME	EF
Temperatura	2	0,0000*	0,0100*	0,0000*	0,0004*	0,0493*	0,0001*
Teor de água	5	0,0060*	0,0022*	0,0321*	0,0071*	0,0005*	0,0140*
Temp. x teor de água	10	0,0351*	0,0003*	0,0089*	0,0231*	0,0391*	0,0001*
Erro	36	-	-	-	-	--	-
CV (%)		1,66	1,15	1,46	3,33	2,86	4,13
FV	GL	CC	CE	G	IA	CZ	PB
Temperatura	2	0,0002*	0,0003*	0,0004*	0,0001*	0,0005*	0,3036*
Teor de água	5	0,0315*	0,0034*	0,0003*	0,0002*	0,0001*	0,0054*
Temp. x teor de água	10	0,0019*	0,0031*	0,0001*	0,0003*	0,0090*	0,0088*
Erro	36	-	-	-	-	-	-
CV (%)		8,76	14,95	12,09	7,78	8,19	5,31

CV: coeficiente de variação, \*Significativo a 5% de probabilidade.

O comprimento, largura, espessura e volume diminuíram com a redução dos teores de água dos grãos e com o aumento

da temperatura do ar de secagem (Figura 2).



**Figura 2.** Relação entre comprimento (A), a largura (B), a espessura (C) e o volume (D) dos grãos de milho em função da redução do teor de água, (b.u.) – base úmida.

Esses resultados são condizentes com os encontrados por BANDE et al. (2012), GONELI et al. (2011) e ARAÚJO et al. (2014), os quais trabalharam com sementes de melão; mamona e amendoim, respectivamente. A influência da temperatura do ar na redução do tamanho e volume dos grãos está relacionada com a energia de vaporização da água que é aumentada com a elevação da temperatura do ar e do produto, acelerando o processo de remoção de água dos grãos.

Estão apresentadas nas Tabelas 4 e 5 estão as avaliações dos diferentes modelos

matemáticos, utilizados para descrever o processo de contração volumétrica dos grãos de milho durante a secagem. O coeficiente de determinação obtido foi acima de 95% para todos os tratamentos de secagem. Enquanto os erros relativos médios foram abaixo de 5%, indicando que os modelos são adequados para a descrição do fenômeno estudado, estando em conformidade com os resultados apresentados por (GONELI et al., 2011 e CORADI et al., 2014a).

**Tabela 4.** Determinação do erro médio relativo (P) e o erro médio estimado (SE) da contração volumétrica dos grãos de milho após a secagem

Modelos	Temperaturas do ar de secagem		
	80 °C	100 °C	120 °C
	SE (decimal)		
Bala e Woods	0,009125	0,020903	0,0432809
Rahman	0,013169	0,023123	0,0383868
Correa	0,018570	0,305550	0,0247141
Exponencial	0,015588	0,020903	0,0316607
	P (%)		
Bala e Woods	1,929339	0,625544	2,6890234
Rahman	3,449351	1,679760	0,1493266
Correa	4,193596	1,954680	0,4579949
Exponencial	3,803253	0,625544	0,3561323

Desta forma, verificou-se que os modelos matemáticos utilizados para descrever a contração volumétrica dos grãos apresentaram parâmetros de regressão significativos, a 5% de probabilidade, exceto os modelos

Exponencial e Corrêa para a temperatura de 80 °C, Bala e Woods e Rahman, para a temperatura de 100 °C e, Bala e Woods, Rahman e Exponencial, para a temperatura de 120 °C.

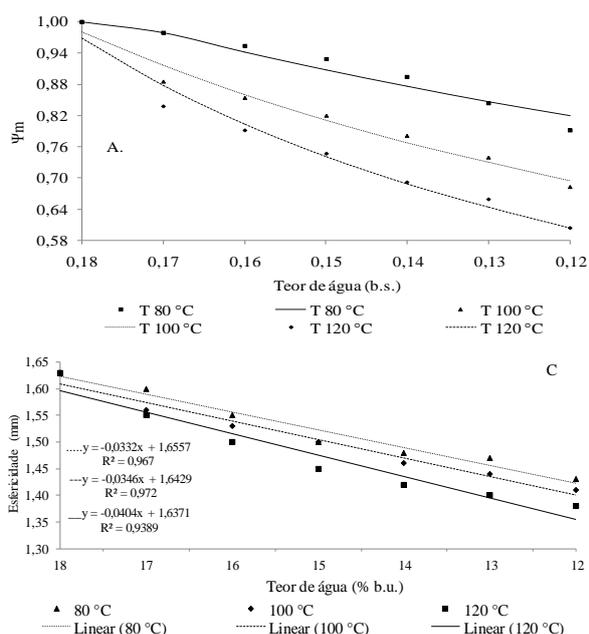
**Tabela 5.** Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e distribuição dos resíduos dos modelos matemáticos usados para descrever a contração volumétrica dos grãos de milho para diferentes temperaturas do ar de secagem

Modelos matemáticos	Estimativa dos parâmetros	$R^2$	Distribuição dos resíduos
Temperatura 80 °C			
Bala e Woods	a= 1,3844 b= -7,2504	99,26	A
Rahman	a= 0,3999 b= 3,4191	98,35	A
Correa	a= 5,0699 b= -3,4153	96,85	A
Exponencial	a= 0,5226 b= 3,6992	97,73	A
Temperatura 100 °C			
Bala e Woods	a= 3,3825 b= -1,8629	97,74	A
Rahman	a= 0,1155 b= 4,7166	97,92	A
Correa	a= 8,2263 b= -6,0196	98,55	A
Exponencial	a= 0,3435 b= 5,7791	98,30	A
Temperatura 120 °C			
Bala e Woods	a= 45,5325 b= -0,1126	95,39	A
Rahman	a= -0,1203 b= 5,8776	96,39	A
Correa	a= 11,7817 b= -9,0000	98,52	A
Exponencial	a= 0,2292 b= 7,9176	97,56	A

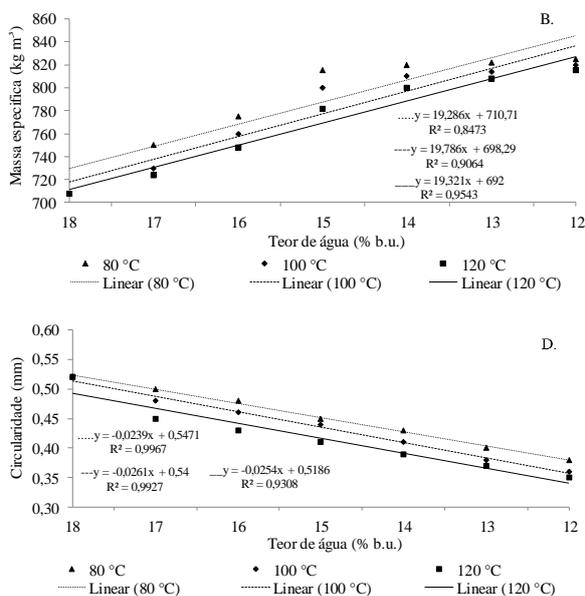
CORRÊA et al. (2011) observou que o modelo de Bala e Woods foi o único modificado para representar satisfatoriamente a contração volumétrica da massa de grãos de milho, diferentemente de RIBEIRO et al. (2005) que recomendou o modelo de Corrêa. Nesse estudo, por sua simplicidade e por apresentar melhor ajuste aos dados experimentais, o modelo Rahman foi escolhido para representar a contração volumétrica dos grãos.

Na Figura 3A, estão apresentados os valores de contração volumétrica dos grãos de milho em função da redução dos teores de água e aumento da temperatura do ar de secagem. Observou-se um comportamento linear da contração volumétrica dos grãos, com a redução do teor de água e aumento da temperatura do ar de secagem. Esse comportamento corrobora com o observado por RIBEIRO et al. (2005) que concluíram que o volume dos grãos diminuiu com a perda de água dos mesmos

e a contração volumétrica apresentou um comportamento linear com a redução do



teor de água da massa de grãos de milho.



**Figura 3.** Contração volumétrica (A), massa específica aparente (B), esfericidade (C) e circularidade (D) dos grãos de milho após secagem com diferentes temperaturas, (b.u.) – base úmida.

Verificou-se ainda, na Figura 3B, que a temperatura do ar de secagem e o teor de água dos grãos exercem influência nas massas específicas aparente dos grãos de milho, aumentando de 710 para 820  $\text{kg m}^{-3}$ . No entanto, quanto maior foram às temperaturas utilizadas na secagem dos grãos, maior foram também a redução da massa específica, independente do estágio de secagem dos grãos.

A redução dos valores da massa específica aparente está associada à perda de qualidade em consequência dos processos de desidratação e deterioração dos grãos, portanto, baixos valores de massa específica são encontrados em grãos que perderam excessivamente matéria seca (SILVA, 2008). Com isso, o aumento da massa específica com a redução do teor de água vem sendo observado para vários produtos agrícolas por diversos pesquisadores, como: soja (RIBEIRO et al., 2005), feijão (RESENDE et al., 2008) e pinhão manso (SIQUEIRA et al., 2012).

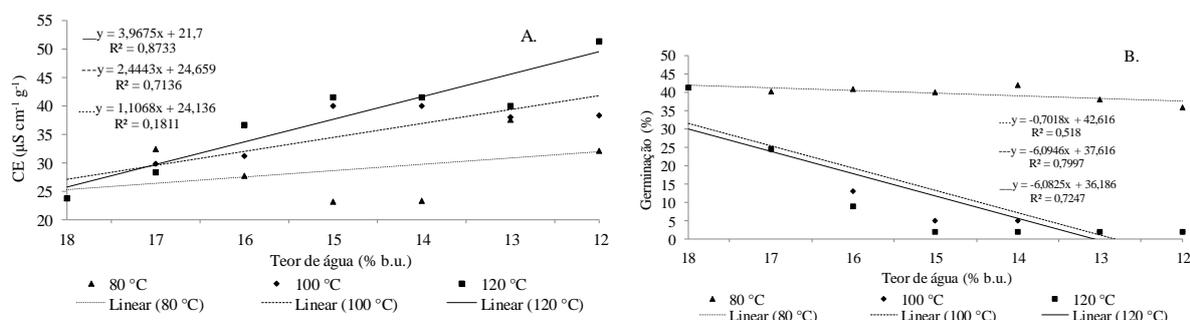
Além do teor de água, a massa específica aparente é influenciada pelo processo de adsorção ou dessorção, que consiste em ganho e perda de água,

respectivamente (RIBEIRO et al., 2005; CORADI et al., 2014b). Essa diferença pode ser decorrência do fenômeno da histerese, uma vez que, a contração dos poros capilares dos grãos durante a secagem não acontece na mesma proporção durante a expansão dos mesmos durante o reumedecimento (RIBEIRO et al., 2005). Os resultados observados de massa específica aparente tornam-se de fundamental importância para o dimensionamento e regulagem de equipamentos de secagem e verificar os danos causados na massa de grãos pelo manejo inadequado.

Observou-se, nas Figuras 3C e 3D que as variações dos eixos ortogonais dos grãos de milho, influenciaram na circularidade e a esfericidade em função das variações dos teores de água. Verificaram-se que ambas apresentaram um comportamento semelhante, sendo que à medida que diminuiu o teor de água, tanto a circularidade quanto a esfericidade diminuíram. CORRÊA et al. (2004), observaram a redução da esfericidade em grãos de trigo, proporcionalmente, com a diminuição do teor de água. GONELI et al.

(2011), avaliando frutos de mamona, comprovou que há influência da redução da circularidade e esfericidade com a redução do teor de água dos frutos. Observando-se a análise de regressão linear dos dados médios de condutividade elétrica, constatou-se que a redução dos teores de água ao longo da secagem e o

aumento da temperatura do ar de secagem proporcionaram aumento dos valores de condutividade elétrica (Figura 4A). No teste de condutividade elétrica avaliam-se os danos mecânicos ocorridos nos grãos, as quais estão relacionadas com a integridade física das membranas celulares (BORÉM et al., 2014).

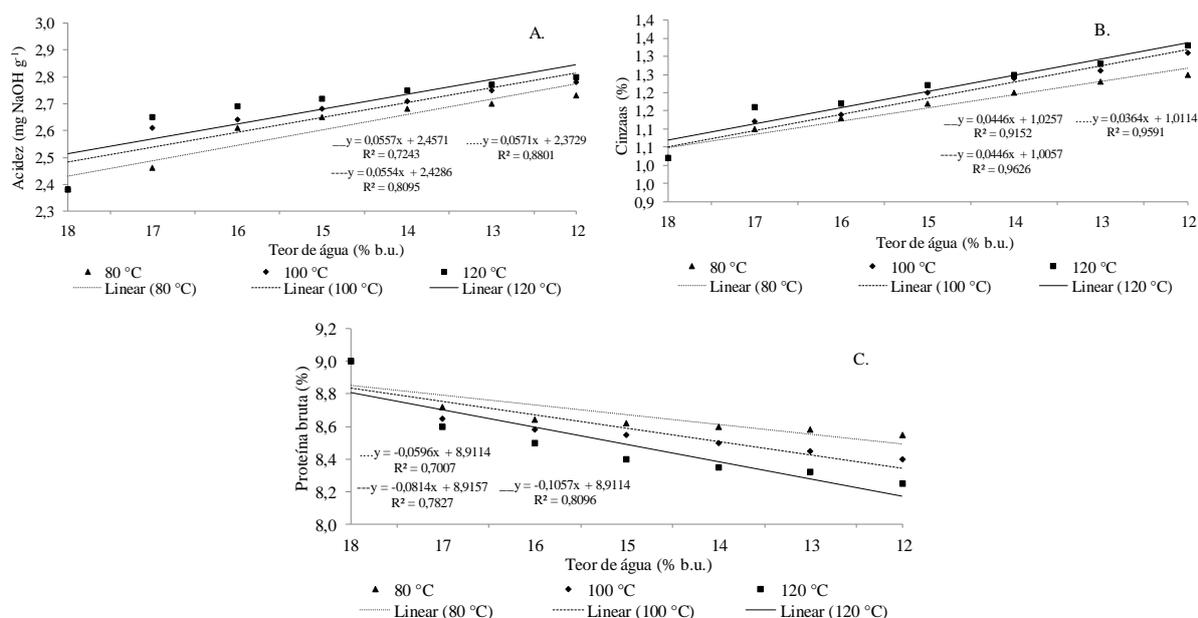


**Figura 4.** Avaliação da condutividade elétrica (A) e germinação (B) dos grãos de milho submetidos a diferentes temperaturas do ar e teores de água de secagem, (b.u.) – base úmida.

Assim, as altas temperaturas de secagem removem a água do interior dos grãos com maior intensidade, ocasionando microfissuras em nível celular. As membranas danificadas permitem a lixiviação dos íons, além de proteínas, aminoácidos, vitaminas, etc., causando perda de qualidade físico-química dos grãos (MARQUES et al., 2008; CORADI et al., 2014b). Na avaliação da germinação (Figura 3B), observou-se que a temperatura do ar de secagem de 80 °C não influenciou na germinação dos grãos independente do teor de água. Porém, com o aumento da temperatura do ar de secagem para 100 e 120 °C, a qualidade fisiológica dos grãos foi afetada, à medida que o teor de água diminuiu, até a perda completa da germinação, concordando com os resultados obtidos por SILVA et al. (2011) em avaliações de grãos de sorgo e

CORADI et al. (2014b) em avaliações de grãos de girassol.

Na Figura 5A, observou-se que o índice de acidez dos grãos de milho aumentou conforme o aumento da temperatura do ar de secagem e redução dos teores de água. Segundo BORÉM et al. (2014), o índice de acidez informa o estado de conservação do óleo, quantificam as substâncias ácidas presentes e é um indicador de qualidade, ou seja, quanto menores os índices de acidez melhor é a qualidade do óleo. OLIVEIRA et al. (2011) encontrou aumento do índice de acidez de óleo bruto de soja na secagem de grãos com temperatura acima de 80 °C, confirmando os resultados observados neste trabalho com grãos de milho, que as altas temperaturas na secagem afetaram negativamente, elevando o índice de acidez.



**Figura 5.** Avaliação do índice de acidez (A), cinzas (B) e proteína bruta (C) dos grãos de milho submetidos a diferentes temperaturas do ar e teores de água de secagem, (b.u.) – base úmida.

Nos resultados dos teores de cinzas, Figura 5B, observou-se que o aumento dos teores ocorreu, principalmente, em função da redução da umidade nos grãos. A temperatura do ar de secagem teve menos influência no processo de perda de qualidade. Na avaliação de proteína bruta, na Figura 5C, ao final do processo de secagem com temperatura de 120 °C observou-se maiores degradações de proteína, o que está relacionado maior velocidade de redução dos teores de água dos grãos e desidratação. Para as temperaturas do ar de secagem de 80 e 100 °C, também foi constatado a degradação das proteínas presentes nos grãos, mas com menor intensidade. As proteínas são sintetizadas durante todo o período de formação do grão, enquanto o amido tem sua síntese iniciada mais tarde e se acelera na maturação, isto explica o fato de não haver diferenças significativas no conteúdo de proteínas, entre as amostras, no momento da colheita (18% b.u.). Estudos têm mostrado que os grãos de milho seco a temperaturas maiores de 60 °C têm seu

valor energético diminuído, apresenta perdas de palatabilidade e o endosperma do grão sofre alterações químicas (SILVA, 2008).

SHUCH et al. (2011) observaram que as amostras de milho, quando secas com ar natural, apresentaram maiores perdas de proteína bruta, em comparação com as amostras que foram secas com ar natural/GLP, sendo de 4,08 e 1,94%, respectivamente. Segundo os mesmos autores, as perdas de proteínas ocorrem em função das características químicas intrínsecas de degradação e requerimento dos seus constituintes, frente aos fatores físico-químicos e biológicos que o produto está submetido durante o processo de secagem. De acordo com esses resultados pode afirmar que apesar das altas temperaturas do ar de secagem afetarem a porcentagem de proteína nos grãos, ainda há que se observar a demora do processo de secagem, quando se utiliza temperaturas abaixo de 60 °C, pois as perdas nestas condições, ainda poderão ser mais expressivas.

## CONCLUSÕES

A redução dos teores de água associada ao aumento da temperatura do ar de secagem reduz o comprimento, a largura, a espessura, o volume, a esfericidade e a circularidade dos grãos de milho. Os índices de acidez e a porcentagem de cinzas aumentam com a redução dos teores de água, não havendo diferenças entre as temperaturas do ar de secagem. A diminuição dos teores de água

com a elevação da temperatura do ar de secagem aumenta a condutividade elétrica e reduz a germinação dos grãos, não havendo diferença entre as temperaturas de 100 e 120 °C. O processo de secagem contínua em secadores de fluxo misto de ar e produto, na temperatura do ar de 80 °C não afeta negativamente a qualidade física e físico-química dos grãos de milho.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFMS e a FUNDECT pelos auxílios e bolsas recebidas.

## REFERÊNCIAS

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A. de; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18 (1): 279-286, 2014.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17. ed. Gaithersburg, Maryland, 2000, p.4.

BALA, B. K.; WOODS, J. L. Simulation of deep bed malt drying. **Journal Agricultural Engineering Research**, v. 30(3): 235-244, 1984.

BANDE, Y. M.; ADAM, N. M.; AZMI, Y.; JAMAREI, O. Moisture-dependent physical and compression of bitter melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seeds. **International Journal of Agricultural Research**, v. 7(1): 243-254, 2012.

BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; OLIVEIRA, P. D.; RIBEIRO, F. C.; SIQUEIRA, V. C.; TAVEIRA, J. H. S. Effect of intermittent drying and storage on parchment coffee quality. **Bioscience Journal**, v. 30(2): 609-616, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para Análise de Sementes**, Brasília, 2009, 395p.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992, 450p.

CORADI, P. C.; LACERDA FILHO, A. F de; MELO, E. C. Quality of raw materials from different regions of Minas Gerais State utilized in ration industry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15(1): 424-431, 2011.

CORADI, P. C.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P da. Evaluation of electrical conductivity as a quality parameter of lemongrass leaves (*Cymbopogon Citratus* Stapf) submitted to drying process. **Drying Technology**, v. 32(1): 969-980, 2014a.

CORADI, P. C.; FERNANDES, C. H. P.; PERALTA, C. C.; PEREIRA, T. L. L. Quality of sunflower seeds after drying with different temperatures. **Spanish Journal of Rural Development**, v. 1(1): 23-32, 2014b.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; GONELI, A. L. Mathematical modelling for representation of coffee berry volumetric shrinkage. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14, 2004, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: IDS, 2004, 742-747.

- CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de sementes de milho doce (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2(1): 110-119, 2003.
- CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; CAMPOS, S. C. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33(1): 575-581, 2011.
- ELIAS, M. C. **Tecnologias para armazenamento e conservação de grãos, em médias e pequenas escalas**. 3ª Ed. Editora Universitária/UFPel, 2002, 218p.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33(1): 1-8, 2011.
- HALL, C. W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: AVI, 1980, 381p.
- OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; JOST, E. Qualidade para o cozimento e composição nutricional de genótipos de feijão com e sem armazenamento sob refrigeração. **Ciência Rural**, v. 41(2): 746-752, 2011.
- MARQUES, E.; ROSEMEIRE, BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; BIAGGIONI, M. A. M. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arábica* L.) submetido a diferente períodos e temperaturas de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32(1): 1557-1562, 2008.
- MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11(1): 301-306, 2007.
- MENEZES, N. L.; CÍCERO, S. M.; VILLELA, F. A.; BORTOLOTO, R. P. Using X-Rays to evaluate fissures in rice seeds dried artificially. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34(1): 70-77, 2012.
- MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986, 841p.
- OLIVA, A. C. E.; BIAGGIONI, M. A. M.; CAVARIANI, C. Efeito imediato do método de secagem na qualidade de sementes de crambe. **Energia na Agricultura**, v. 27(1): 16-30, 2012.
- PEREIRA, W. V. S.; VIEIRA, L. M.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; OLIVEIRA, T. G. S. Armazenamento de sementes de maracujazeiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 4(2): 273-278, 2011.
- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas-SP, 2000, 603p.
- QUIRINO, J. R.; MELO, A. P. C.; VELOSO, V. R. S.; ALBERNAZ, K. C.; PEREIRA, J. M. Resfriamento artificial na conservação da qualidade comercial de grãos de milho armazenados. **Bragantia**, v. 72(1): 378-386, 2013.
- 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**, v. 1(2): 17-26, 2008.
- RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25(2): 611-617, 2005.
- SANTOS, F.; MEDINA, P. F.; LOURENÇÃO, A. L.; PARISI, J. J. D.; GODOY, I. J. Qualidade de sementes de amendoim armazenadas no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 72(1): 310-317, 2013.

SCHUH, G.; GOTTARDI, R.; FERRARI FILHO, E.; GUIMARÃES, L. E.; DIONELLO, R. G. Efeitos de dois métodos de secagem sobre a qualidade físico-química de grãos de milho safrinha-RS, armazenados por 6 meses. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32(2): 235-244, 2011.

SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008, 560p.

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.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Propriedades físicas das sementes de pinhão-mansão ao longo da secagem em diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33(1): 2705-2714, 2012.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas-SP, 2000, 603p.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In Vieira, R. D., Krzyzanowski, F. C., França Neto, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina, PR: Abrates, cap. 4, p. 1-26, 1999.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; CHAVES, T. H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41(1): 442-447, 2010.