

## QUALIDADE DE GRÃOS DE MILHO APÓS SECAGEM E ARMAZENAMENTO EM AMBIENTE NATURAL E RESFRIAMENTO ARTIFICIAL

PAULO CARTERI CORADI<sup>1</sup>, LÉLIA VANESSA MILANE<sup>2</sup>, LUCAS JANDREY CAMILO<sup>2</sup>,  
MARIA GABRIELA DE OLIVEIRA ANDRADE<sup>2</sup> e RONEY ELOY LIMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),

Campus de Cachoeira do Sul, Santa Maria, Rio Grande do Sul - paulo.coradi@ufsm.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS),

Campus de Chapadão do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul

---

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.14, n.3, p. 420-432, 2015*

**RESUMO** - As condições de pós-colheita, secagem e armazenamento são fundamentais para manutenção da qualidade dos grãos de milho. Assim, objetivou-se avaliar as propriedades físicas e a qualidade físico-química dos grãos de milho após secagem com diferentes temperaturas e armazenamento em ambiente natural e resfriamento artificial ao longo de seis meses. O experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-Colheita de Grãos (CPCS/UFMS) em um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3x2x2x3), três temperaturas de secagem (80, 100 e 120 °C utilizadas nos secadores de grãos na região do Cerrado), duas condições de armazenamento (refrigerada a 10 °C e em ambiente natural a 23 °C) e dois tempos de armazenamento (zero e seis meses) com três repetições. Os grãos de milho foram colhidos com teores de água de 18% (b.u.) e secos em estufa de convecção com ventilação forçada do ar para, em seguida, serem armazenados. O aumento da temperatura do ar de secagem de 80 para 120 °C, associado às condições e ao tempo de armazenamento, foram prejudiciais à qualidade físico-química dos grãos de milho. Concluiu-se que a secagem com temperatura do ar de 80 °C e o armazenamento com resfriamento artificial de 10 °C mantiveram as propriedades físicas e a qualidade físico-química dos grãos de milho.

**Palavras-chave** - pós-colheita, temperatura, umidade relativa do ar, *Zea mays* L.

## QUALITY OF CORN GRAIN AFTER DRYING AND STORAGE IN NATURAL ENVIRONMENT AND ARTIFICIAL COOLING

**ABSTRACT** - The conditions of post-harvest, drying and storage are critical to maintaining the quality of corn grain. Thus, this study aimed to evaluate the physical properties and physicochemical quality of corn grain after drying at different temperatures and storage in natural environment and artificial cooling, over six months. The experiment was conducted at the Grain Postharvest Laboratory (CPCS/UFMS) in a completely randomized experimental design in a factorial scheme (3x2x2x3), three drying temperatures (80, 100 and 120 °C used in grain dryers in the “cerrado” region), two storage conditions (cooled to 10 °C and in natural environment at 23 °C), and two storage times (zero and six months), with three replications. The corn kernels were harvested at moisture contents of 18% (w.b.) and dried in a convection oven with forced air ventilation and then stored. The increase in drying air temperature from 80 to 120 °C associated with time and conditions of storage were detrimental to the physical-chemical quality of corn grains. The results showed that the drying air temperatures of 80 °C and storage with artificial cooling at 10 °C maintained the physical properties and physicochemical quality of corn grains.

**Keywords** - post-harvest, temperature, relative humidity, *Zea mays* L.

O milho é utilizado em larga escala em todo o mundo em função de seu alto valor alimentício e de seu potencial para biocombustível. Desta forma, é crescente a preocupação com seu armazenamento e sua conservação e, para a manutenção de sua qualidade, entre outras recomendações, é necessário a priori que o produto seja colhido sadio e quando atingir sua maturidade fisiológica, tendo em vista minimizar as perdas causadas no campo (Elias et al., 2009; Antunes et al., 2011).

Após a colheita, os produtos devem ser destinados ao local de armazenamento e, geralmente, quando produzidos em grande escala, os produtos são acondicionados em silos ou armazéns. Perdas quantitativas e qualitativas, de grandeza extremamente variável, ocorrem tanto na colheita como em todas as etapas do sistema pós-colheita, ou seja, no transporte, no manuseio, na secagem, no armazenamento, no processamento, na comercialização e nos pontos finais de distribuição aos consumidores (Coradi et al., 2015a). Para evitar as perdas, entre outros fatores, os produtos agrícolas devem atender a uma margem de segurança quanto aos teores de água, pois, combinados com temperaturas elevadas, eles intensificam o processo de deterioração dos grãos armazenados (Elias et al., 2009; Coradi et al., 2015a).

A variação da temperatura no ambiente pode ser extrema, desde valores abaixo de zero até acima de 40 °C, podendo ter implicações positivas ou negativas na extensão das perdas durante a armazenagem (Antunes et al., 2011). O efeito combinado da umidade relativa e da temperatura em um determinado local de armazenamento determina a atividade de todos os componentes bióticos do sistema, os quais conduzem a um armazenamento seguro ou a perdas do produto (Antonello et al., 2009). Esta situação leva a alterações de qualidade dos grãos, com relevância tanto

pelas perdas bromatológicas, quanto pelos danos causados aos animais por micotoxinas (Ferrari Filho et al., 2011; Coradi et al., 2015b).

A temperatura é um dos principais fatores que interferem na qualidade de armazenamento de grãos (Reed et al., 2007; Park et al., 2012), sendo que, nos últimos anos, vem crescendo a utilização da tecnologia de resfriamento artificial em grãos, com o objetivo de reduzir a deterioração destes, além de preservar a qualidade dos mesmos por períodos mais longos.

Esta técnica consiste em refrigerar os silos utilizados para armazenamento, caracterizados como sistema semi-hermético, pois permite trocas de ar entre o ambiente e o interior da massa de grãos, sendo insuflado ar refrigerado para o interior do silo pelo sistema de aeração, permanecendo este em funcionamento até a massa dos grãos atingir níveis desejados de temperatura (Rigueira et al., 2009; Oliveira et al., 2011).

A redução da temperatura dos grãos diminui a velocidade das reações bioquímicas e metabólicas, pelas quais reservas armazenadas no tecido de sustentação são desdobradas, transportadas e ressintetizadas no eixo embrionário (Aguilar et al., 2012), permitindo a manutenção das características iniciais de armazenamento dos grãos por períodos mais longos. Alguns trabalhos com uso de resfriamento artificial já foram realizados em grãos de feijão, soja e arroz (Rigueira et al., 2009; Oliveira et al., 2011; Park et al., 2012); porém, poucos trabalhos foram realizados com grãos de milho.

Considerando o crescimento da utilização do resfriamento artificial de grãos no Brasil com o objetivo de reduzir as perdas qualitativas, objetivou-se avaliar as propriedades físicas e a qualidade físico-química dos grãos de milho após secagem com diferentes temperaturas no armazenamento, em ambiente natural e após resfriamento artificial, ao longo de seis meses.

## Material e Métodos

O trabalho de pesquisa foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), campus de Chapadão do Sul (CPCS), no Laboratório de Pós-Colheita de Grãos no ano de 2014/15. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3x2x2x3), sendo três temperaturas do ar de secagem (80, 100 e 120 °C), duas condições de armazenamento (refrigerada a 10 °C / 40% de UR, ambiente natural a 23 °C / 60% de UR) e dois tempos de armazenamento (zero e seis meses) com três repetições.

O milho utilizado foi enquadrado, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), em grupo do tipo duro. Os grãos foram colhidos de forma aleatória, com teor de água de 18% (b.u.). De posse do material, as impurezas foram separadas manualmente. Em seguida, os grãos foram submetidos a secagem em estufa de convecção com ventilação forçada do ar até atingirem os teores de água de 12% (b.u.). Para cada temperatura do ar de secagem, foram utilizados 2 kg de grãos de milho. Em seguida, os grãos foram armazenados a granel

nos ambientes com diferentes temperaturas. As avaliações foram realizadas no tempo zero, antes de armazenar, e seis meses depois de armazenadas.

O teor de água dos grãos ao longo da secagem (% b.u.) foi determinado pelo método de pesagem gravimétrica. O tamanho dos grãos foi determinado através da medição dos eixos de comprimento, largura e espessura, após a secagem, com o auxílio de um paquímetro com precisão de 0,01 mm (Mohsenin, 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 da pesagem gravimétrica (Brasil, 2009). As análises de massa específica aparente, esfericidade, circularidade e volume foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Mohsenin (1986) e calculadas pelas Eqs. 1, 2, 3 e 4 representadas na Tabela 1.

O teste de condutividade elétrica foi realizado em grãos de milho de acordo com a metodologia descrita por Vieira & Krzyzanowski (1999). Para isso, 50 grãos foram usados para quatro repetições de cada tratamento e pesados com uma precisão de duas casas decimais (0,01 g). As amostras foram colocadas

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

Análises físicas	Equação <sup>1</sup>	Numeração
Massa específica aparente	$p_{ap} = \frac{m}{V}$	(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)

<sup>1</sup> $\rho_{ap}$ : 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>).

em copos de plástico de molho com 75 mL de água deionizada e colocadas em câmara do tipo (MA415 BOD), com temperatura controlada de  $25 \pm 2$  °C durante 24 h. As soluções contendo os grãos foram suavemente agitadas e, imediatamente, procedeu-se à leitura das mesmas em medidor de condutividade modelo digital portátil CD-850 “Instrutherm” e os resultados foram divididos pela massa de 50 grãos e expressos em microsiemens por  $\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  de grãos.

O teste de germinação foi conduzido com quatro repetições de 50 grãos para cada tratamento, em rolos do tipo papel “germitest”, sendo estes acondicionados em germinador “Mangesdorf set” com temperatura constante de  $25 \pm 2$  °C após a semeadura dos tratamentos. A quantidade de água adicionada foi equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco, visando ao umedecimento adequado e, conseqüentemente, à padronização do teste. As interpretações foram feitas no quarto e no sétimo dias, 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). O procedimento foi realizado colocando-se 5 g de amostra num becker de 250 mL, adicionando 150 mL de etanol, deixando repousar por cerca de 30 min, com agitação a cada 5 min. Em seguida, o material sobrenadante foi filtrado com papel de filtro de 0,5 mm, passando-o para um erlenmeyer. Em seguida, foram adicionados 100 mL de etanol no erlenmeyer, deixando-o em repouso durante 15 min com agitação a cada 5 min. Filtrou-se novamente o material, adicionando uma solução de cinco gotas de indicador de fenolftaleína (1%) para, em seguida, realizar a titulação com NaOH 0,1 N até atingir coloração rósea. Para o cálculo do índice de acidez em  $\text{mg NaOH g}^{-1}$ , foi utilizada a Eq. 5.

$$IA = \frac{V \times N \times F \times 40}{P} \quad (5)$$

em que,

IA: índice de acidez

V: volume de titulação NaOH 0,1N (mL)

N: normalidade

F: fator de correção

P: pesagem de amostra, (g)

40: peso equivalente de NaOH

A proteína bruta foi determinada utilizando o método de digestão de Kjeldahl (AOAC, 2000). Este método foi concebido em 1983 e baseia-se em três etapas: digestão; destilação; e titulação. O processo ocorre através da digestão à transformação da matéria orgânica da amostra com a proteína em sulfato de amônio ( $\text{NH}_3\text{SO}_4$ ), digerindo a ação de mistura (catalisador) com ácido sulfúrico e calor. O material orgânico da amostra decomposta com ácido sulfúrico e catalisador foi transformado em sal de amônia. Para determinar a digestão de proteínas, foi pesado 1 g de amostra passada em papel de filtro. Em seguida, a amostra foi colocada no tubo digestor. No tubo digestor, foram adicionados um catalisador de sedimento de cobre (Cu) e 15 mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Após a adição dos produtos, os tubos foram levados para o aparelho digestor de proteína a uma temperatura de 420 °C, em que apenas a amostra foi removida quando a cor verde clara foi adquirida (cerca de 1 h).

Após arrefecimento da amostra, foram adicionados 70 mL de água destilada em um erlenmeyer com 30 mL de ácido bórico. Na etapa de destilação do material, a amônia foi libertada a partir do sal de amônia por reação com hidróxido. Isso ocorreu com a absorção de nitrogênio, que foi titulada e quantificada. Este procedimento foi efetuado usando um destilador de

tubo pré-aquecido e um digestor. Neste tubo, foi adicionado NaOH (40%) com o auxílio de uma alavanca contida numa retorta, procedendo destilação durante cerca de 4 min. Após a titulação, a destilação foi feita com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1N até que se chegou à coloração rósea. O volume titulado foi calculado pela Eq. 6, que resultou na porcentagem de proteína bruta da amostra.

$$PB = \frac{V_1 \times 0,4 \times F \times 6,25}{P} \quad (6)$$

em que,

PB: porcentagem de proteína bruta (%)

V<sub>1</sub>: volume titulado (mL)

0,14: grama de nitrogênio equivalente

F: solução do fator de correção H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1N

P: pesagem da amostra (g)

6,25: transformação de nitrogênio em proteína bruta

A análise de porcentagem de cinzas foi feita em 2 g de amostra de grãos de milho colocados em cadinhos de porcelana tarados a 100 °C num forno de mufla por 4 horas e calcinados a 600 °C. Em seguida, a amostra foi deixada arrefecer em dessecadores até temperatura ambiente e, em seguida, ser pesada (AOAC, 2000). Após calcinação, a determinação de cinzas foi obtida pela pesagem e diferença entre a massa do cadinho vazio, previamente calcinado, e a massa do resíduo do cadinho, considerando a massa da amostra fresca. As médias dos tratamentos foram submetidas a análise da variância pelo teste F a 5% de probabilidade.

## Resultados e Discussão

Na Tabela 2, estão apresentados os dados da análise de variância e os resultados médios obtidos dos eixos de comprimento, largura, espessura,

**TABELA 2.** Análise de variância (graus de liberdade e teste F) do comprimento (C), largura (L), espessura (E), 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 na secagem (80, 100 e 120 °C) e ao longo do armazenamento do tempo de armazenamento (zero, seis meses) em diferentes condições de temperatura (ambiente a 23 °C e resfriamento a 10 °C).

FV	GL	C	L	E	ME	EF	CC
TA	1	0,0002*	0,0002*	0,0260*	0,0003*	0,0004*	0,0002*
CA	1	0,5204 <sup>ns</sup>	0,5793 <sup>ns</sup>	0,2880 <sup>ns</sup>	0,0001*	0,0218*	0,0060*
TS	2	0,0006*	0,0006*	0,0119*	0,0206*	0,0148*	0,0114*
TA x CA x TS	2	0,0544*	0,0299*	0,0309*	0,0055*	0,0074*	0,0179*
Erro	29	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	1,75	1,29	10,57	2,21	3,57	7,71
FV	GL	CE	G	IA	CZ	PB	
TA	1	0,0265*	0,0032*	0,0001*	0,0008*	0,0006*	-
CA	1	0,0001*	0,0167*	0,0060*	0,0060*	0,0215*	-
TS	2	0,0040*	0,0002*	0,0050*	0,0384*	0,0248*	-
TA x CA	1	0,7865 <sup>ns</sup>	0,0003*	0,6572 <sup>ns</sup>	0,0001*	0,0012*	-
TA x TS	2	0,0012*	0,0002*	0,0023*	0,0018*	0,0034*	-
CA x TS	2	0,0014*	0,0023*	0,0015*	0,0005*	0,0010*	-
TA x CA x TS	2	0,8591 <sup>ns</sup>	0,0172*	0,8072 <sup>ns</sup>	0,0195*	0,0057*	-
Erro	36	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	21,42	5,87	11,06	10,07	4,19	-

Tempo de Armazenamento (TA), Condição de Armazenamento (CA), Temperatura de Secagem (TS), Coeficiente de Variação (CV), \*Significativo a 5% de probabilidade.

massa específica, esfericidade, circularidade, condutividade elétrica, germinação, índice de acidez, cinzas e proteína bruta dos grãos de milho armazenados.

A interação temperatura do ar de secagem x condição de armazenamento x tempo de armazenamento foi significativa a 5% de probabilidade para as avaliações de comprimento, largura, espessura, massa específica, esfericidade, circularidade, germinação, cinzas e proteína bruta. Para os testes de condutividade elétrica e índice de acidez, as interações

temperatura do ar de secagem x condição de armazenamento e temperatura do ar de secagem x tempo de armazenamento foram significativas.

A secagem com temperaturas do ar de 80 °C não interferiu nas características iniciais de comprimento, largura e espessura dos grãos (Tabelas 3). O aumento do tempo de armazenamento, independente das condições, proporcionou alteração do tamanho dos grãos, reduzindo os eixos de comprimento e largura, oscilando na redução e no aumento do eixo de espessura dos grãos (Tabela 3).

**TABELA 3.** Resultados médios do comprimento (mm), largura (mm), espessura (mm) dos grãos de milho em função da temperatura do ar de secagem (80, 100, 120 °C), condição de temperatura (ambiente a 23 °C e resfriamento a 10 °C), tempo de armazenamento (zero e seis meses).

Avaliação	Temp. secagem (°C)	Tempo zero		Tempo seis	
		Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)	Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)
Comprimento	80	11,87 Aa	11,87 Aa	11,42 Aa	11,34 Ab
	100	11,18 Ac	11,18 Ac	11,13 Ab	11,19 Aa
	120	11,69 Ab	11,69 Ab	11,20Ab	11,49 Aa
	Temp. Secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
		Tempo zero	Tempo seis	Tempo zero	Tempo seis
	80	11,87 Aa	11,42 Ba	11,87 Aa	11,34 Aa
100	11,18 Ab	11,13 Ab	11,18 Ab	11,19 Ab	
120	11,69 Aa	11,20 Ab	11,69 Aa	11,49 Aa	
Largura	80	8,49 Aa	8,49 Aa	8,23 Aa	8,17 Ab
	100	8,41 Ab	8,41 Ab	8,12 Bb	8,31 Aa
	120	8,30 Ac	8,30 Ac	8,04 Ac	8,03 Ac
	Temp. secagem (°C)	Tempo zero		Tempo seis	
		Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)	Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)
	80	8,49 Aa	8,23 Ba	8,49 Aa	8,17 Bb
100	8,41 Aa	8,12 Bb	8,41 Aa	8,31 Aa	
120	8,30 Ab	8,04 Bc	8,30 Ab	8,03 Bc	
Espessura	80	4,59 Ab	4,59 Ab	4,73 Aa	4,67 Ab
	100	4,62 Ab	4,62 Ab	4,63 Aa	4,68 Ab
	120	4,81 Aa	4,81 Aa	4,69 Aa	5,79 Aa
	Temp. secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
		Tempo zero	Tempo seis	Tempo zero	Tempo seis
	80	4,59 Bb	4,73 Aa	4,59 Ab	4,67 Ab
100	4,62 Ab	4,63 Aa	4,62 Ab	4,68 Ab	
120	4,81 Aa	4,69 Aa	4,81 Ba	5,79 Aa	

Médias seguidas pelas letras maiúscula na linha para cada tempo de armazenamento e minúsculas nas colunas para cada temperatura do ar de secagem não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Observou-se que o aumento da temperatura do ar de secagem reduziu a massa específica dos grãos; o mesmo ocorreu com o aumento do tempo de armazenamento (Tabela 4). Entre as condições de armazenamento, verificou-se que o resfriamento do ambiente para a temperatura de 10 °C conservou melhor a qualidade física dos grãos ao final do armazenamento (Tabela 4). Pimentel et al. (2014) observaram que a massa específica aparente de grãos de milho armazenados sem controle de temperatura e UR do ar, ao longo do tempo de seis meses, apresentou um índice médio de perda física de 8% na massa.

**TABELA 4.** Resultados médios da massa específica aparente ( $\text{kg m}^{-3}$ ), esfericidade, circularidade dos grãos de milho em função da temperatura do ar de secagem (80, 100, 120 °C), condição de temperatura (ambiente a 23 °C e resfriamento a 10 °C), tempo de armazenamento (zero e seis meses).

Avaliação <sup>1</sup>	Temp. secagem (°C)	Tempo zero		Tempo seis	
		Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)	Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)
Massa específica aparente	80	802,12 Aa	802,12 Aa	702,32 Ba	770,70 Aa
	100	788,42 Ab	788,42 Ab	711,12 Aa	758,57 Ab
	120	781,65 Ab	781,65 Ab	712,50 Ba	751,62 Ab
	Temp. secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
		Tempo zero	Tempo seis	Tempo zero	Tempo seis
	80	802,12 Aa	702,32 Ba	802,12 Aa	770,70 Ba
100	788,42 Ab	711,12 Ba	788,42 Ab	758,57 Bb	
120	781,65 Ab	712,50 Ba	781,65 Ab	751,62Ab	
Esfericidade	Temp. secagem (°C)	Tempo zero		Tempo seis	
		Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)	Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)
	80	1,58 Aa	1,58 Aa	1,63 Ab	1,66 Aa
	100	1,51 Aa	1,51 Aa	1,75 Aa	1,56 Bb
	120	1,55 Aa	1,55 Aa	1,77 Aa	1,65 Ba
	Temp. secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
	Tempo zero	Tempo seis	Tempo zero	Tempo seis	
80	1,58 Ba	1,63 Aa	1,58 Aa	1,66 Aa	
100	1,51 Ba	1,75 Ba	1,51 Aa	1,56 Ab	
120	1,55 Ba	1,77 Aa	1,55 Ba	1,65 Aa	
Circularidade	Temp. secagem (°C)	Tempo zero		Tempo seis	
		Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)	Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)
	80	0,42 Aa	0,42 Aa	0,40 Aa	0,38 Aa
	100	0,46 Aa	0,46 Aa	0,34 Bb	0,42 Aa
	120	0,43 Aa	0,43 Aa	0,32 Ab	0,38 Aa
	Temp. secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
	Tempo zero	Tempo seis	Tempo zero	Tempo seis	
80	0,42 Aa	0,40 Aa	0,42 Aa	0,38 Aa	
100	0,46 Aa	0,34 Bb	0,46 Aa	0,42 Aa	
120	0,43 Aa	0,32 Bb	0,43 Aa	0,38 Aa	

<sup>1</sup>Médias seguidas pelas letras maiúscula na linha para cada tempo de armazenamento e minúsculas nas colunas para cada temperatura do ar de secagem não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Analisando-se os resultados de esfericidade, verificou-se que a elevação da temperatura do ar de secagem no tempo de armazenamento de seis meses proporcionou aumento da esfericidade dos grãos, principalmente no armazenamento na condição ambiente (Tabela 4). Embora o aumento do tempo de armazenamento tenha influenciado na propriedade de esfericidade dos grãos, a condição de armazenamento com o resfriamento do ambiente manteve as características de esfericidade dos grãos mais próximas do início do tempo de armazenamento (Tabela 4).

Para a propriedade física de circularidade, observou-se que o aumento da temperatura do ar de secagem diminuiu o formato dos grãos (Tabela 4). Por outro lado, o aumento do tempo de armazenamento para seis meses reduziu a circularidade dos grãos na condição ambiente, enquanto que, para a condição de resfriamento, os grãos foram mantidos iguais das condições iniciais. Corrêa et al. (2002) verificaram que a esfericidade e a circularidade dos grãos diminuíram com a perda de água, ressaltando a importância de conhecer a geometria dos grãos, pois representa o dimensionamento da malha das peneiras nos equipamentos destinados à separação e classificação de grãos. Oliveira et al. (2014) avaliaram as condições de secagem de 40, 60, 80 e 100 °C para a cultivar de milho P3646 e notaram que ocorreu leve redução na esfericidade e circularidade dos grãos de milho, ao longo do processo de secagem, para todas as temperaturas estudadas.

Nos resultados obtidos, observou-se que, quanto maiores as temperaturas do ar de secagem, maiores foram os valores de condutividade elétrica nos grãos (Tabela 5). Verificou-se que o aumento do tempo de armazenamento acelerou o processo de deterioração dos grãos, independente da condição de armazenamento. Entre as condições de armazenamento, veri-

ficou-se que o sistema de resfriamento artificial do ambiente conservou melhor a qualidade dos grãos, apresentando valores mais baixos de condutividade elétrica ao longo do tempo de armazenamento. A condição de armazenamento em ambiente natural (23 °C) acelerou a deterioração dos grãos. Quanto maior a liberação de exsudados dos grãos, maiores são os valores de condutividade elétrica, o que indica redução do potencial fisiológico, ou seja, maior a intensidade de desorganização do sistema de membranas das células. Segundo Panobianco & Vieira (2007), quando se trabalha com temperaturas (20 e 25 °C) e épocas de armazenamento, verifica-se aumento na perda de lixiviados dos grãos com o decorrer do tempo. Pontes et al. (2006) observaram resultados semelhantes quando avaliaram sementes de sibipiruna em ambiente refrigerado e natural. Os autores verificaram que os valores de condutividade elétrica foram constantes em sementes de sibipiruna quando armazenadas com temperaturas de 5 °C; porém, nas sementes armazenadas em ambiente de 20 °C, houve aumento significativo da condutividade elétrica durante o período de armazenamento.

Em todas as temperaturas do ar de secagem, houve reduções da porcentagem de germinação dos grãos; porém, os resultados foram mais significativos na secagem com temperaturas de 100 e 120 °C. O aumento do tempo de armazenamento também afetou a germinação dos grãos, com menor intensidade para as condições de armazenamento em ambiente refrigerado (Tabela 5).

Os dados deste trabalho corroboram com Tiecker Junior (2013), em que o fator tempo de armazenamento dos grãos de milho apresentou maior germinação durante o início do experimento, com queda constante até o final do armazenamento. Nas cinco populações de milho, houve decréscimos da germina-



**TABELA 5.** Resultados médios da condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ ), germinação (%) dos grãos de milho em função da temperatura do ar de secagem (80, 100, 120 °C), condição de temperatura (ambiente a 23 °C e resfriamento a 10 °C), tempo de armazenamento (zero e seis meses).

Avaliação <sup>1</sup>	Temp. secagem (°C)	Tempo zero		Tempo seis	
		Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)	Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)
Condutividade elétrica	80	32,09 Ab	32,09 Ab	47,49 Aa	19,63 Bb
	100	38,24 Ab	38,24 Ab	52,67 Aa	26,17 Ba
	120	51,37 Aa	51,37 Aa	49,62 Aa	28,86 Ba
	Temp. secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
		Tempo zero	Tempo seis	Tempo Zero	Tempo seis
	80	32,08 Bb	47,49 Ba	32,09 Ab	19,63 Bb
100	38,24 Bb	52,67 Aa	38,24 Ab	26,17 Ba	
120	51,37 Aa	49,62 Aa	51,37 Aa	28,86 Ba	
Germinação	80	36,00 Aa	36,00 Aa	12,66 Ba	27,00 Aa
	100	0,330 Ab	0,330 Ab	0,000 Ab	0,330 Ab
	120	0,330 Ab	0,330 Ab	0,000 Ab	0,000 Ab
	Temp. secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
		Tempo zero	Tempo seis	Tempo zero	Tempo seis
	80	36,00 Aa	12,66 Ba	36,00 Aa	27,00 Ba
100	0,330 Ab	0,000 Ab	0,330 Ab	0,330 Ab	
120	0,333 Ab	0,000 Ab	0,330 Ab	0,000 Ab	

<sup>1</sup>Médias seguidas pelas letras maiúscula na linha para cada tempo de armazenamento e minúsculas nas colunas para cada temperatura do ar de secagem não diferem entre si a 5% de probabilidade.

ção e do vigor das sementes com o aumento do tempo de armazenamento das mesmas em condição ambiente, decorrentes do processo de degeneração que ocorre em condições inapropriadas de armazenamento. O mesmo foi observado por Carvalho et al. (2010), quando avaliaram o armazenamento dos grãos de milho em condições de ambiente e em câmara fria em que, após seis meses, a germinação de milho foi de 2% das sementes no armazenamento em temperatura ambiente.

Verificou-se que a secagem dos grãos realizada com temperatura do ar de 120 °C proporcionou melhores resultados quanto ao índice de acidez. Este resultado contraria as análises físicas apresentadas acima, embora possa ser justificado. A secagem com temperaturas mais baixas leva maior tempo para re-

dução dos teores de água dos grãos e isto acarretaria aquecimento da massa de grãos que, associado ao alto teor de água, poderá causar fermentação dos grãos e aumento da acidez (Tabela 6).

No armazenamento com temperaturas ambiente e de resfriamento, houve diminuição no índice de acidez aos seis meses de avaliação, independente da temperatura de secagem. Os resultados deste trabalho estão de acordo com o relatado por Coradi et al. (2014), os quais afirmaram que, em grãos não danificados, armazenados a temperatura ambiente e umidade abaixo de 12%, ocorrem pequenas variações nos níveis de acidez dos grãos.

Verificou-se que o aumento da temperatura do ar de secagem reduziu a porcentagem de proteína

bruta dos grãos, o mesmo ocorrendo para o tempo de armazenamento, independente da condição de temperatura (Tabela 6). Observou-se que existiram diferenças significativas em consequência do tempo de armazenamento do que entre os métodos de secagem (Tabela 6). Todos os tratamentos tiveram reduções

na porcentagem de proteína bruta durante o armazenamento. Isto ocorre em função das características químicas intrínsecas de degradação e/ou de requerimento dos seus constituintes, frente aos fatores físico-químicos e biológicos das condições de armazenamento (Elias et al., 2009; Antunes et al., 2011).

**TABELA 6.** Resultados médios do índice de acidez NaOH 0,1N (mL), proteína bruta (%), cinzas (%) dos grãos de milho em função da temperatura do ar de secagem (80, 100, 120 °C), condição de temperatura (ambiente a 23 °C e resfriamento a 10 °C), tempo de armazenamento (zero e seis meses).

Avaliação <sup>1</sup>	Temp. secagem (°C)	Tempo zero		Tempo seis	
		Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)	Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)
Índice de acidez	80	2,46 Aa	2,46 Aa	2,05 Aa	1,47 Ba
	100	2,33 Aa	2,33 Aa	1,86 Aa	1,42 Ba
	120	1,94 Ab	1,94 Ab	1,98 Aa	1,31 Ba
	Temp. secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
		Tempo zero	Tempo seis	Tempo zero	Tempo seis
	80	2,46 Aa	2,05 Ba	2,46 Aa	1,47 Ba
100	2,33 Aa	1,86 Ba	2,33 Aa	1,42 Ba	
120	1,94 Ab	1,98 Aa	1,94 Ab	1,31 Ba	
Proteína bruta	Temp. secagem (°C)	Tempo zero		Tempo seis	
		Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)	Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)
	80	8,72 Aa	8,72 Aa	7,82 Aa	8,09 Aa
	100	9,00 Aa	9,00 Aa	8,06 Aa	7,29 Ab
	120	8,00 Ab	8,00 Ab	7,82 Aa	7,67 Aa
	Temp. secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
Tempo zero		Tempo seis	Tempo zero	Tempo seis	
80	8,72 Ba	7,82 Aa	8,72 Ba	8,09 Aa	
100	9,00 Ba	8,06 Aa	9,00 Ba	7,29 Ab	
120	8,00 Bb	7,82 Aa	8,00 Bb	7,67 Aa	
Cinzas	Temp. secagem (°C)	Tempo zero		Tempo seis	
		Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)	Ambiente (23 °C)	Resfriamento (10 °C)
	80	1,28 Bb	1,69 Aa	1,31 Aa	1,31 Aa
	100	1,55 Aa	1,65 Aa	1,06 Ab	1,06 Ab
	120	1,51 Aa	1,53 Aa	1,13 Ab	1,13 Ab
	Temp. secagem (°C)	Ambiente (23 °C)		Resfriamento (10 °C)	
Tempo zero		Tempo seis	Tempo zero	Tempo seis	
80	1,31 Aa	1,28 Ab	1,31 Ba	1,69 Aa	
100	1,06 Bb	1,55 Aa	1,06 Bb	1,65 Aa	
120	1,13 Bb	1,51 Aa	1,13 Bb	1,53 Aa	

<sup>1</sup>Médias seguidas pelas letras maiúscula na linha para cada tempo de armazenamento e minúsculas nas colunas para cada temperatura do ar de secagem não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Analisando os resultados da porcentagem de cinzas, o aumento da temperatura de secagem aumentou-a, o mesmo ocorrendo para o aumento do tempo de armazenamento, independente da condição de temperatura (Tabela 6). As porcentagens de cinzas e constituintes minerais alteram-se significativamente, tanto entre os métodos de secagem, como entre os períodos de armazenamento, segundo Matuda & Maria Neto (2005) e Sousa et al. (2012).

### Conclusões

O aumento da temperatura do ar de secagem de 80 para 120 °C, associado às condições e tempo de armazenamento, foi prejudicial à qualidade físico-química dos grãos de milho.

A condição de armazenamento com resfriamento artificial para 10 °C mantém as propriedades físicas e a qualidade físico-química dos grãos de milho ao longo de seis meses de armazenamento.

O tempo de armazenamento de seis meses altera as propriedades físicas e reduziu a qualidade físico-química dos grãos de milho na condição de armazenamento com temperatura de 23 °C.

A secagem com temperatura do ar de 80 °C e o armazenamento dos grãos de milho na condição artificial de 10 °C são favoráveis para a qualidade dos grãos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à UFMS e à Fundect pelos auxílios e bolsas recebidos.

### Referências

- ANTONELLO, L. M.; MUNIZ, M. B.; BRAND, S. C.; VIDAL, M. D.; GARCIA, D.; RIBEIRO, L.; SANTOS, V. Qualidade de sementes de milho armazenadas em diferentes embalagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2191-2194, 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33118928038>>. Acesso em: 18 ago. 2015.
- ANTUNES, L. E. G.; VIEBRANTZ, P. C.; GOTTARDI, R.; DIONELLO, R. G. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 615-620, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n6/v15n06a12.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2015.
- AGUIAR, R. W. S.; BRITO, D. R.; OTANI, M. A.; FIDELIS, R. R.; PELUZIO, J. N. Efeito do dióxido do carbono, temperatura e armazenamento sobre sementes de soja e micoflora associada. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, p. 554-560, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rca/v43n3/a19v43n3.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17. ed. Gaithersburg, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.
- CARVALHO, E. V. de; SIEBENEICHLER, S. C.; MATOS, W. L.; SANTOS, R. P. L. dos. Qualidade fisiológica de sementes de milho sob diferentes condições de armazenamento. **Scientia Agrária Paranaensis**, Acrelândia, v. 9, n. 3, p. 58-65, 2010.

- CORADI, P. C.; CHAVES, J. B. P.; LACERDA FILHO, A. F. de; MOTA, T. O. Quality of stored grain of corn in different conditions. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, p. 118-133, 2014. Disponível em: <<http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/535/481>>. Acesso em: 19 ago. 2015.
- CORADI, P. C.; LACERDA FILHO, A. F. de; CHAVES, J. B. P.; MELO, E. C. Quantification of physical losses products in a plant of feed. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 23, p. 105-118, 2015a.
- CORADI, P. C.; MAIER, D. E.; CHANNAIAH, L. H.; CAMPABADAL, C. Effects of the processing on the distribution of aflatoxin and fumonisin levels in corn fractions and feeds. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 1, p. 105-120, 2015b.
- CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR P. C.; QUEIROZ, D. M.; SAMPAIO, C. P.; CARDOSO, J. B. Variação das dimensões características e da forma dos frutos de café durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 466-470, 2002.
- ELIAS, M. C.; GUTKOSKI, L. C.; OLIVEIRA, M.; MAZZUTTI, S.; DIAS, A. R. G. Umidade de colheita, métodos de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de grãos de trigo (cv. 'Embrapa 16'). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 25-30, 2009.
- FERRARI FILHO, E.; ANTUNES, L. E. G.; TIECKER, A.; DIONELLO, R. G.; SPOLTI, P. Controle de gorgulho-do-milho submetido ao tratamento térmico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, p. 196-204, 2011.
- MATUDA, T. G.; MARIA NETTO, F. Caracterização química parcial da semente de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 353-357, 2005.
- MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841 p.
- OLIVEIRA, V. R. de; 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**, Santa Maria, v. 41, p. 746-752, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v41n5/a951cr3652.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2015.
- OLIVEIRA, D. E. C. de; SANTOS, M. N. S. dos; RUFATTO, S. Forma e tamanho dos grãos de milho da cultivar P3646 submetidos a diferentes condições de ar de secagem. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 3, p. 162-165, 2014. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/index.php/nativa/article/view/1484/pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2015.
- PANOBIANCO, M.; VIEIRA, R. D. Electrical conductivity and deterioration of soybean seeds exposed to different storage conditions. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 97-105, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbs/v29n2/v29n2a13.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2015.
- PARK, C.; KIM, Y.; PARK, K.; KIM, B. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 48, p. 25-29, 2012.

- PIMENTEL, M. A. G.; QUEIROZ, V. A. V.; PEREIRA, G. da M. e; CONCEIÇÃO, R. R. P. da. Massa específica aparente de grãos de milho armazenado em propriedades familiares na região Central de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30.; SIMPÓSIO SOBRE LEPDÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 1., 2014, Salvador. **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: resumos expandidos**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106723/1/Massa-especifica.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.
- PONTES, C. A.; CORTE, V. B.; LIMA, E. E.; BORGES, R. C. G.; SILVA, A. G. Influência da temperatura de armazenamento na qualidade das sementes de *Caesalpinia peltophoroides* Benth. (sibipiruna). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 43-48, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n1/28507.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2015.
- REED, C.; DOYUNGAN, S.; IOERGER, B.; GETCHELL, A. Response of storage molds to different initial moisture contents of maize (corn) stored at 25 °C, and effect on respiration rate and nutrient composition. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 43, p. 443-458, 2007.
- RIGUEIRA, R. J. A.; LACERDA FILHO, A. F.; VOLK, M. B. S. Avaliação da qualidade do feijão armazenado em ambiente refrigerado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 4, p. 649-655, 2009.
- SOUSA, E. P.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; FERRAZ, R. R.; FAÇANHA, L. M. Physicochemical characterization of mealy fruits and seeds of the locust tree. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 1, p. 117-121, 2012.
- TIECKER JÚNIOR, A.; DIONELLO, R. G.; FERRARI FILHO, E.; ANTUNES, L. E.; CASTRO, B. de. Avaliação da germinação de grãos de milho em armazenamento hermético e não hermético sob diferentes umidades de colheita. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, p. 1-5, 2013. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/15247/9613>>. Acesso em: 18 ago. 2015.
- 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: ABRATES, 1999. cap. 4, p. 1-26.