

## Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho secados naturalmente

Drying kinetics and quality of naturally dried corn kernels

Cinética de secado y calidad de los granos de maíz secados naturalmente

Recebido: 18/06/2021 | Revisado: 24/06/2021 | Aceito: 05/07/2021 | Publicado: 15/07/2021

**Ícaro Pereira de Souza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7307-229X>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [icodsouza@gmail.com](mailto:icodsouza@gmail.com)

**Solenir Ruffato**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9132-6799>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [soleruffato@gmail.com](mailto:soleruffato@gmail.com)

### Resumo

O estado de Mato Grosso ocupa posição de destaque na produção nacional de milho e em virtude das condições climáticas, a secagem dos grãos, em grande parte do Estado, acontece naturalmente no campo, o que pode implicar em perdas qualitativas e quantitativas decorrentes, por exemplo, da secagem excessiva. Assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar: a cinética de secagem natural e o efeito sobre propriedades físicas e qualidade fisiológica de grãos de milho. Foram avaliados quatro híbridos: RB9110PRO2, 2B512PW, 2B633PW e 2A401PW. O início da colheita se deu após a maturação fisiológica. O teor de água inicial variou de 25 a 32% (b.u) sendo as coletas realizadas periodicamente até a obtenção do teor de água próximo ao de armazenamento 13% (b.u). A cinética de secagem natural foi avaliada pela velocidade de redução do teor de água do produto, em permanência no campo. A qualidade física e fisiológica dos grãos foi avaliada pela massa de mil grãos, massa específica aparente, massa específica unitária e tamanho e forma dos grãos, e pelos testes de germinação e envelhecimento acelerado. O modelo polinomial quadrático descreve bem a variação do teor de água durante a secagem natural. Com a redução do teor de água teve aumento da massa específica aparente e unitária e decréscimo da massa de mil grãos e, no tamanho e forma dos grãos. A qualidade fisiológica não varia devido a secagem natural no campo.

**Palavras-chave:** Cinética de secagem; Propriedades físicas; Propriedades fisiológicas.

### Abstract

The state of Mato Grosso occupies an important position in the national production of corn and, due to the climatic conditions, the drying of the grains, in most of the state, happens naturally in the field, which can imply in qualitative and quantitative losses resulting, for example, from excessive drying. Thus, the present study aimed to evaluate: the natural drying kinetics and the effect on physical properties and physiological quality of corn grains. Four hybrids were evaluated: RB9110PRO2, 2B512PW, 2B633PW and 2A401PW. Harvesting started after physiological maturity. The initial water content ranged from 25 to 32% (w.b.) and the harvests were performed periodically until a water content close to the storage level of 13% (w.b.) was obtained. The natural drying kinetics was evaluated by the rate of reduction of the product's water content while remaining in the field. The physical and physiological quality of the grains was evaluated by thousand-grain mass, bulk density and true density and size and shape of the grains, and by the germination and accelerated aging tests. The quadratic polynomial model describes well the variation of the water content during the natural drying. With the reduction of the water content there was an increase in the apparent and unit specific mass and a decrease in the mass of one thousand grains and in the size and shape of the grains. The physiological quality does not vary due to natural drying in the field.

**Keywords:** Drying kinetics; Physical properties; Physiological properties.

### Resumen

El estado de Mato Grosso ocupa una posición destacada en la producción nacional de maíz y, debido a las condiciones climáticas, el secado de los granos, en gran parte del estado, ocurre naturalmente en el campo, lo que puede llevar a pérdidas cualitativas y cuantitativas resultantes, por ejemplo, del secado excesivo. Así, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar: la cinética de secado natural y el efecto sobre las propiedades físicas y la calidad fisiológica de los granos de maíz. Se evaluaron cuatro híbridos: RB9110PRO2, 2B512PW, 2B633PW y 2A401PW. La cosecha comenzó después de la madurez fisiológica. El contenido de agua inicial osciló entre el 25 y el 32% (b.h.) y las cosechas se realizaron periódicamente hasta obtener un contenido de agua cercano al nivel de almacenamiento del 13% (b.h.). La cinética de secado natural se evaluó por la velocidad de reducción del contenido de agua del producto, mientras permanecía en el campo. La calidad física y fisiológica de los granos se evaluó mediante lo peso 1000 granos, la masa específica aparente, la masa específica unitaria y el tamaño y la forma de los granos, y mediante las

pruebas de germinación y envejecimiento acelerado. El modelo polinómico cuadrático describe bien la variación del contenido de agua durante el secado natural. Con la reducción del contenido de agua se produjo un aumento de la masa específica aparente y unitaria y una disminución de la masa de mil granos y del tamaño y la forma de los granos. La calidad fisiológica no varía debido al secado natural en el campo.

**Palabras clave:** Cinética de secado; Propiedades físicas; Propiedades fisiológicas.

## 1. Introdução

O estado de Mato Grosso é uns dos principais produtores de grãos de milho, registrando cerca de 32% da produção total nacional na safra de 2020/21. O cultivo de milho segunda safra tem alcançado grande importância no estado, em decorrência das poucas opções para o período de transição da estação chuvosa para a seca, dos lançamentos de híbridos com alta performance, do elevado potencial produtivo e da utilização de cultivares de soja cada vez mais precoces (CONAB, 2021).

O clima predominante nas regiões produtoras de milho no estado, que estão localizadas sob o bioma Cerrado, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, ou seja, clima tropical chuvoso com estação de seca definida (Kappes, 2013). Os meses de abril a setembro definem o momento onde ocorre a transição entre os meses chuvosos e secos, sendo que a partir do mês de maio tem-se o início do período de seca até meses de julho e agosto, com registro das primeiras chuvas no mês de setembro (Marcuzzo et al., 2011). Favorecendo o cultivo de milho segunda safra no estado que acontece pela semeadura entres os meses de janeiro e fevereiro, após a colheita da primeira safra, onde se cultiva, em grande parte a soja. Normalmente são utilizadas cultivares de milho com ciclo precoce, visando o crescimento da cultura antes do início da seca, conforme clima característico da região (CONAB, 2016).

A colheita do milho inicia-se a partir da última semana do mês de maio e se estende até o final de julho, época que coincide com o período de ausência de chuva combinado a baixa umidade relativa do ar e alta temperatura do ar, fatores que contribuem para uma colheita com grãos secos, com teor de água final variando entre 12 e 15% (b.u.), onde a secagem ocorre de modo natural, o que resulta em grãos com alta qualidade física e sanitária (Kappes, 2013). Segundo Guimarães & Baudet (2002) as condições climáticas do estado de Mato Grosso propiciam aos grãos um teor de água de equilíbrio inferior ao recomendado para o armazenamento, porém tornam possível a realização do processo de secagem natural no campo desde que feito o devido monitoramento para que não ocorra supersecagem.

A secagem natural baseia-se nas ações do vento e do calor para que ocorra a remoção da água dos grãos ainda no campo, ou seja, é um processo dependente das condições climáticas locais. Embora seja um método com baixo custo para o produtor rural, trata-se de uma prática mais lenta. Este processo pode ser limitado pelo clima quando a umidade relativa do ar e a temperatura proporcionam ao ar um baixo potencial de secagem (Silva et al., 2012).

Boa parte dos produtores não dispõe de infraestrutura para secagem artificial e, normalmente, precisam esperar o milho secar naturalmente no campo, acarretando atrasos na colheita. Em função disso, no estado de Mato Grosso, geralmente, o produto começa a ser mecanicamente retirado da lavoura quando atinge uma faixa de teor de água que varia entre 20 e 24% (b.u.) (Sartori, 2001). Todavia, é normal que as últimas áreas a serem colhidas, por vezes, apresentam teores de água bem inferiores, na faixa de 12 a 15% (b.u.) (Kappes, 2013).

À medida que o teor de água no grão diminui durante a secagem, normalmente altera-se o tamanho e forma dos grãos, causando também alterações nas propriedades físicas do mesmo. As mudanças volumétricas dos produtos agrícolas, devido a redução do teor de água, são relatadas como sendo as principais causas de alterações nas suas propriedades físicas. Estes apontamentos em que se referenciam variações de propriedades físicas de grãos relacionadas ao teor de água têm sido relatados por diversos autores avaliando a secagem de milho (Eiras & Biaggioni, 2014; Oliveira et al., 2014; Coradi et al., 2016).

Diante do exposto, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o processo de secagem natural de diferentes híbridos de milho. Para isso, avaliou-se as condições climáticas locais e a umidade de equilíbrio do grão (i); a cinética de

secagem natural do milho por meio de curvas de secagem (ii); e a influência da redução do teor de água e do tempo de secagem natural em relação as propriedades físicas e fisiológicas dos grãos de milho (iii).

## 2. Metodologia

O plantio da cultura do milho foi realizado na Chácara Colorado, propriedade localizada no município de Sinop, Mato Grosso, situada na Rodovia MT 140 - km 2, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 11°53'30" S e longitude 55°29'13" W. A classificação do clima da região é tropical quente e úmido (Aw), com estação seca de Inverno (Köppen, 1931). Ainda, a região possui temperatura média anual de 24,7 °C e precipitação média anual de aproximadamente 1974,5 mm (Souza et al., 2013).

O plantio foi realizado no mês de março. A adubação e os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do milho, conforme o programa de manejo do local. O experimento foi em esquema fatorial 4x10, sendo 4 híbridos de milho e 10 etapas de colheita. Os híbridos de milho avaliados foram: 1) RB9110PRO2; 2) 2B512PW; 3) 2B633PW e 4) 2A401PW.

Segundo Werle (2017) a classificação de precocidade de híbridos de milho baseia-se no número de dias para a maturação fisiológica. Deste modo, os híbridos são divididos em três grupos: Grupo I (superprecoce) até 110 dias para maturação completa; Grupo II (precoce) entre 110 dias e 145 dias; e Grupo III (Tardios) mais que 145 dias. Na Tabela 1, são apresentadas algumas características dos híbridos utilizados no estudo.

**Tabela 1.** Características dos híbridos avaliados no estudo.

Cultivares	Tecnologia	Ciclo	Altura de Plantas, m	Altura de inserção espiga, m
RB9110PRO2	Transgênico	Superprecoce	2,05	1,05
2B512PW		Precoce	2,30	1,30
2B633PW		Precoce	2,15	1,15
2A401PW		Superprecoce	2,05	1,05

Fonte: Autores.

O experimento foi avaliado em faixas, sendo essas constituídas por 6 linhas de plantio (0,5 x 200,0 m), totalizando uma área de 600 m<sup>2</sup> por híbrido. As coletas das espigas ocorreram após a maturação fisiológica dos grãos, identificado pela presença de uma camada de células de coloração preta na base inferior do grão. A partir deste estágio foi feito o monitoramento do teor de água para início da colheita. O teor de água inicial variou de 25 a 32% (b.u) dependendo do híbrido. As coletas foram realizadas periodicamente até a obtenção do teor de água comercial do milho, próximo a 13% (b.u). Assim como o teor de água inicial o teor de água final foi diferente entre híbridos, porém as coletas dos híbridos foram realizadas nos mesmos dias, com mesma condição climática.

Foram realizadas dez coletas de grãos de milho. Inicialmente quando os grãos apresentavam elevado teor de água, as coletas foram realizadas a cada dois dias (1ª a 7ª coleta), entre a 7ª e 9ª o grão foi colhido a cada três dias e, entre a 9ª e 10ª aguardou-se quatro dias, totalizando 23 dias de secagem natural. Em cada etapa de colheita, foram colhidas dez espigas de cada híbrido, representando as repetições. Estas foram acondicionadas em embalagens de polietileno e transportadas ao Laboratório de Pós-colheita da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Sinop. No laboratório, as espigas foram debulhadas mecanicamente por meio de uma trilhadora manual. Após a debulha, as amostras passaram por limpeza manual e, em seguida, procedeu-se com as avaliações físicas e fisiológicas no mesmo teor de água de colheita.

## 2.1 Dados climáticos durante o período de secagem natural

Os dados climáticos foram obtidos da base de dados do Instituto nacional de Meteorologia - INMET. Foram registrados os seguintes parâmetros: temperatura do ar, umidade relativa e umidade de equilíbrio estimada.

Avaliou-se ainda o teor de água de equilíbrio dos grãos com as condições ambientes, este fator foi estimado pela equação de Pfost et al. (1976), apresentada na Equação 1.

$$Ue = a - b \{ \ln [ - (T + c) \ln UR ] \} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

a, b e c - constantes dependentes do produto (milho: a=0,339; b=0,059; e c=30,205);

T - temperatura do ar (°C);

UR - umidade relativa (decimal); e

Ue - teor de água de equilíbrio (decimal, b.s.).

## 2.2 Cinética de secagem natural de milho

Para determinação do teor de água foram utilizadas cinco espigas, dentre as dez coletadas. As outras cinco espigas foram utilizadas para avaliação da qualidade física e fisiológica. Assim, o teor de água foi determinado pelo método padrão de estufa, com circulação forçada de ar a  $105 \pm 1^\circ\text{C}$ , durante 24 h, em 3 repetições, de acordo com as recomendações descritas nas Regras de Análises de Sementes (Brasil, 2009).

Com base nos dados do teor de água foram obtidas curvas de secagem, ou seja, o teor de água em função do tempo, por meio de análise de regressão linear (Equação 2) sendo selecionado o modelo com melhor ajuste.

$$U = a + bt + c^2 + \dots + dt^n \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

a, b, c e d - constantes do modelo;

U - teor de água dos grãos (decimal, b.s.); e

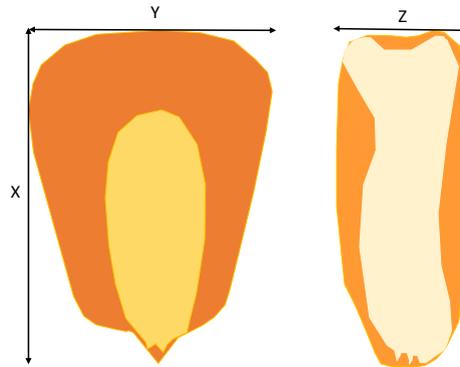
t - tempo de secagem (dias).

Propriedades físicas e fisiológicas de grãos de milho em função da variação de teor de água

A massa de mil grãos foi determinada conforme metodologia descrita nas Regras de Análise de Semente (Brasil, 2009), sendo 8 repetições de 100 grãos para cada amostra, e a média destas sendo multiplicado por 10. A massa específica aparente foi mensurada pelo método de acomodação natural, utilizando-se um recipiente cilíndrico cuja relação diâmetro pela altura é igual a 1, e cujo volume é de 1 L. Para proporcionar que o recipiente fosse preenchido de forma uniforme e constante, possibilitando a distribuição uniforme dos grãos, foi utilizado funil de descarga acoplado a uma haste com altura de 20 cm. A determinação da massa comportada no recipiente foi realizada utilizando-se balança analítica com resolução de 0,01 g, com três repetições para cada amostra coletada.

Para obtenção do tamanho e forma do grão foram utilizados grãos formados no centro da espiga. Para isso, foram coletados ao acaso 20 grãos de cada híbrido e, com isso obteve-se as três dimensões características do grão (Figura 1), com auxílio de um paquímetro digital, bem como a massa do grão em balança analítica com resolução de 0,01 g. Com base nos valores das dimensões características e massa do grão foram calculadas variáveis de tamanho e forma do grão, tais como volume, diâmetro geométrico, circularidade e esfericidade por meio das expressões matemáticas descritas por Moshenin (1986), conforme as Equações 3, 4, 5 e 6, respectivamente, bem como obtenção da massa específica unitária, calculada em função do volume do grão, correlacionado com a massa individual deste.

**Figura 1.** Estrutura do grão de milho, onde que “y”, “x” e “z” são a maior, intermediária e a menor dimensões do produto, respectivamente.



Fonte: Autores.

$$Vg = \frac{\pi (Y \times X \times Z)}{6} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

Vg: volume do grão (mm<sup>3</sup>)

Y: maior dimensão característica do grão de milho, (mm);

X: dimensão característica média do grão de milho, (mm); e

Z: menor dimensão característica do grão de milho, (mm).

$$Dg = (Y \times X \times Z)^{(1/3)} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

Dg: diâmetro geométrico do grão (mm)

Y: maior dimensão característica do grão de milho, (mm);

X: dimensão característica média do grão de milho, (mm); e

Z: menor dimensão característica do grão de milho, (mm).

$$Cc = \frac{X}{Y} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

Cc: circularidade (%)

Y: maior dimensão característica do grão de milho, (mm); e

X: dimensão característica média do grão de milho, (mm).

$$Es = \frac{(Y \times X \times Z)^{1/3}}{X} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

Es: esfericidade (%)

Y: maior dimensão característica do grão de milho, (mm);

X: dimensão característica média do grão de milho, (mm); e

Z: menor dimensão característica do grão de milho, (mm).

No teste de germinação foram avaliados 200 (duzentos) grãos, sendo divididos em 4 (quatro) repetições de 50 (cinquenta). Estes foram distribuídos em papel germitest umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco e, seguidamente, colocados em uma câmara de germinação, tipo B.O.D., na temperatura de 25 °C. Após 7 (sete) dias realizou-se contagem de grãos germinados (Brasil, 2009). Para o teste de envelhecimento, os grãos foram submetidos a estresse térmico e hídrico, sendo distribuídos uniformemente 200 grãos sobre uma tela de alumínio fixada numa caixa de plástico (Gerbox), contendo uma lâmina de 40 mL de água destilada. As caixas gerbox foram levadas para uma câmara de germinação a 42 °C por 72 h (Rossetto et al., 2004). Após as 72 h, os grãos foram submetidos ao teste padrão de germinação, conforme descrito anteriormente, onde após completado 7 dias, a contar do início do teste de envelhecimento de grãos, foi computado o percentual de grãos germinados normais.

A dependência entre a qualidade física e fisiológica dos grãos de milho para os diferentes híbridos foi analisada em função da redução do teor de água durante a secagem natural.

### **3. Resultados e Discussão**

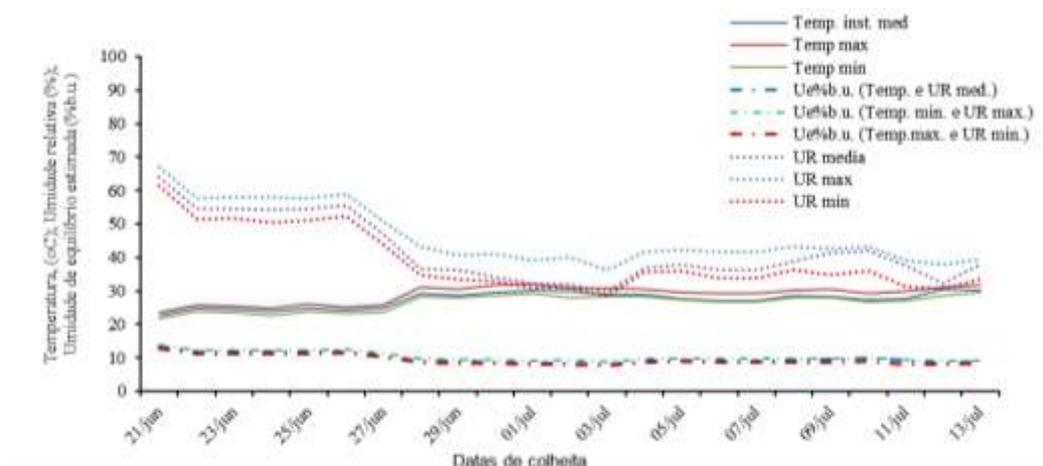
#### **3.1 Dados climáticos durante o período de secagem natural**

Os valores de temperatura e umidade relativa (UR) do ar no período do experimento, assim como, a de equilíbrio (Ue) estimada para os grãos de milho nas condições de temperatura e UR são apresentados na Figura 2. Observa-se que entre os dias 21 e 27 de junho a temperatura e umidade relativa estavam, respectivamente, estabilizadas em torno de 22 a 26 °C (mínima, e máxima temperatura) e 53 a 60% (mínima, e máxima UR), condições estas que possibilitariam uma umidade de equilíbrio entre 12 e 13% (b.u.).

Nos demais dias houve aumento na temperatura de 23 para 32 °C e redução na umidade relativa de 46 para 29%, diminuindo a estimativa do teor de água de equilíbrio para 9% (b.u.), significando que se não for feito o monitoramento diário da redução do teor de água do milho no campo, o teor de água de colheita pode ocorrer em níveis abaixo do comercial. Assim, torna-se necessário o uso de ferramentas, como a estimativa do teor de água de equilíbrio, para maior controle no gerenciamento da secagem natural do grão no campo, com o intuito de evitar a supersecagem e, conseqüentemente, prejuízos financeiros ao produtor agrícola, além de aumentar a susceptibilidade à quebra dos grãos durante a colheita e o pré-processamento, comprometendo a qualidade do grão.

Esse resultado mostra que as condições climáticas na região em que foi realizado este estudo são altamente favoráveis a secagem natural do milho na planta, assim como, o período escolhido, que coincide com a mudança de estação chuvosa para seca, com expressiva queda de umidade relativa do ar, alta temperatura do ar e sem observação de precipitações.

**Figura 2.** Variação de temperatura e umidade relativa do ar, e estimativa da umidade de equilíbrio de grãos de milho para um período de 23 dias, durante a estação seca.



Fonte: Autores.

### 3.2 Cinética de secagem natural de milho

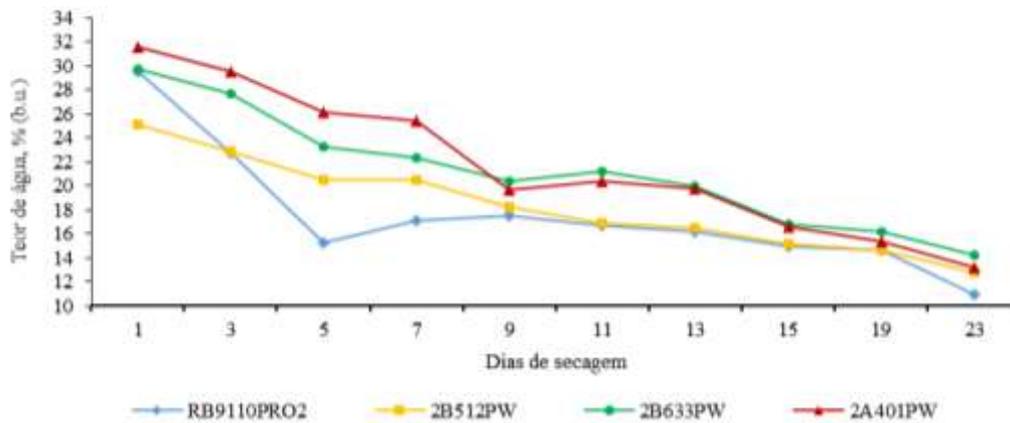
Os grãos foram coletados a fim de analisar, principalmente, a redução do teor de água em decorrência da secagem natural. Assim, na Figura 3 são apresentados os valores de teor de água dos grãos em função do tempo de secagem natural. Verifica-se que todos os híbridos demoraram em média 18 dias para redução do teor de água inicial (25 a 32% b.u.) até o teor de água final pré-estabelecido ( $14 \pm 2\%$  b.u.). Como o teor de água inicial e final não coincidiu entre os híbridos, teve-se variações no decréscimo do teor de água em função da secagem natural, sendo de 18,5; 12,3; 15,6 e 18,4 pontos percentuais para RB9110PRO2, 2B512PW, 2B633PW e 2A401PW, respectivamente, no tempo avaliado.

Nota-se ainda, perda brusca de água do híbrido RB9110PRO2, onde nos primeiros 5 dias de secagem natural a redução no teor de água foi 29 para 15% b.u. (14 pontos percentuais), enquanto que para os demais a redução do teor de água neste período foi em média de 6 pontos percentuais. Acredita-se que as características genéticas e morfológicas da planta exerceram influência sobre a taxa de secagem. De fato, Werle (2017) afirma que híbridos de milho superprecoce apresentam perda de teor de água mais acentuada que outros e, além disso, híbridos de mesmo ciclo de florescimento podem estar aptos para colheitas em número de dias diferentes em função da perda de teor de água dos grãos. Comportamento semelhante ao híbrido RB9110PRO2 em relação aos demais híbridos superprecoces.

Ainda, em relação ao híbrido RB9110PRO2 verifica-se que entre os dias 5 e 7 houve aumento do teor de água de 15,25 para 17,12% (b.u.), não sendo observada mesma tendência para os outros materiais. Esse aumento pode ser decorrente da diferença de maturação entre espigas e entre plantas num mesmo talhão, visto que a cada nova etapa de colheita eram coletadas novas espigas. Todavia, a partir do nono dia, todos os híbridos apresentaram a mesma tendência de redução de água, ficando em torno de 18 e 20% (b.u.). No final do experimento, os híbridos alcançaram diferentes teores de água, onde o híbrido RB9110PRO2 teve a maior taxa de secagem, chegando a aproximadamente 11% (b.u.), enquanto que os demais apresentaram teor de água médio de  $13,4 \pm 0,8\%$  (b.u.).

Eiras e Biagionni (2014) trabalhando com secagem natural de grãos de milho no município de Botucatu - SP, cujo clima é subtropical chuvoso com inverno seco, precisou de 63 dias para reduzir o teor de água de 18,54 para 17,5% (b.u.). Por se tratar de regiões com diferenças climáticas tem-se grande variação de tempo para alcançar o teor de água desejado, sendo o clima na região de Sinop – MT, como observado na Figura 2, mais propenso à redução do teor de água dos grãos de milho de forma natural na planta.

**Figura 3.** Valores observados para o teor de água de grãos de diferentes híbridos de milho, devido à secagem natural.

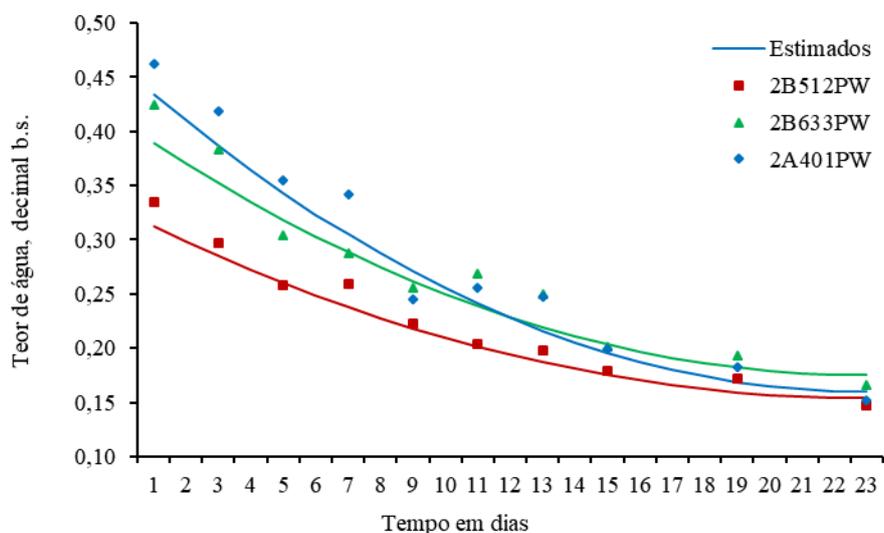


Fonte: Autores.

Na Figura 4 são descritas as curvas de secagem dos diferentes híbridos de milho. O modelo Polinomial quadrático foi satisfatório para descrever a tendência de redução do teor de água dos grãos de milho para os híbridos 2B512PW, 2B633PW e 2A401PW durante o processo de secagem natural na planta no intervalo de dias avaliado, assim como para a faixa de teor de água. Todavia, os dados estimados para o híbrido RB9110PRO2 não foram apresentados na Figura 4 devido ao ajuste do modelo de regressão não ter apresentado a mesma tendência que os demais, no intervalo compreendido entre 0,27 e 0,17 decimal (b.u.).

Na Tabela 2 são apresentados os estimadores e o modelo ajustado para a curva de secagem dos híbridos 2B512PW, 2B633PW e 2A401PW.

**Figura 4.** Valores observados e estimados do teor de água de grãos de diferentes híbridos de milho, ao longo do tempo, em processo de secagem natural na planta.



Fonte: Autores.

**Tabela 2.** Estimadores do modelo de regressão para descrição da variação do teor de água devido à secagem natural dos grãos de diferentes híbridos de milho.

Híbridos	Modelo Quadrático ( $U = a + b t + c t^2$ )			R <sup>2</sup>
	a	b	c	
2B512PW	0,32694	-0,01497	$3,23934 \times 10^{-4}$	0,98016
2B633PW	0,40896	-0,02034	$4,42533 \times 10^{-4}$	0,95205
2A401PW	0,46007	-0,02620	$5,71999 \times 10^{-4}$	0,97090

R<sup>2</sup>- Coeficiente de determinação; U corresponde a umidade (decimal b.s.); a, b e c são constantes do modelo; t é o tempo de secagem (dias).  
Fonte: Autores.

Corrêa et al., (2015) estudando a cinética de secagem e avaliando a qualidade de grãos de milho-pipoca da cultivar Zélia, através de testes de secagem em camada fina, estando os grãos com teores de água inicial de 0,235 e 0,175 (b.s) e temperatura do ar de secagem de 40, 50 e 60 °C, concluíram que o modelo de secagem Page se ajusta satisfatoriamente às curvas de secagem, com R<sup>2</sup> em torno de 99%, sendo superior ao modelo Exponencial, com valores de R<sup>2</sup> variado entre 71,47 e 90,31%. Além disso, no trabalho de Oba et al. (2019) o modelo Polinomial de segundo grau (com R<sup>2</sup> acima de 99%) também foi satisfatório para a representação dondices de contração volumétrica, da massa e unitária, para os grãos de feijão caupi da cultivar BRS GUARIBA durante o processo de secagem em estufa com ventilação forçada de ar a 40 °C.

### 3.3 Propriedades físicas e fisiológicas de grãos de milho em função da variação de teor de água

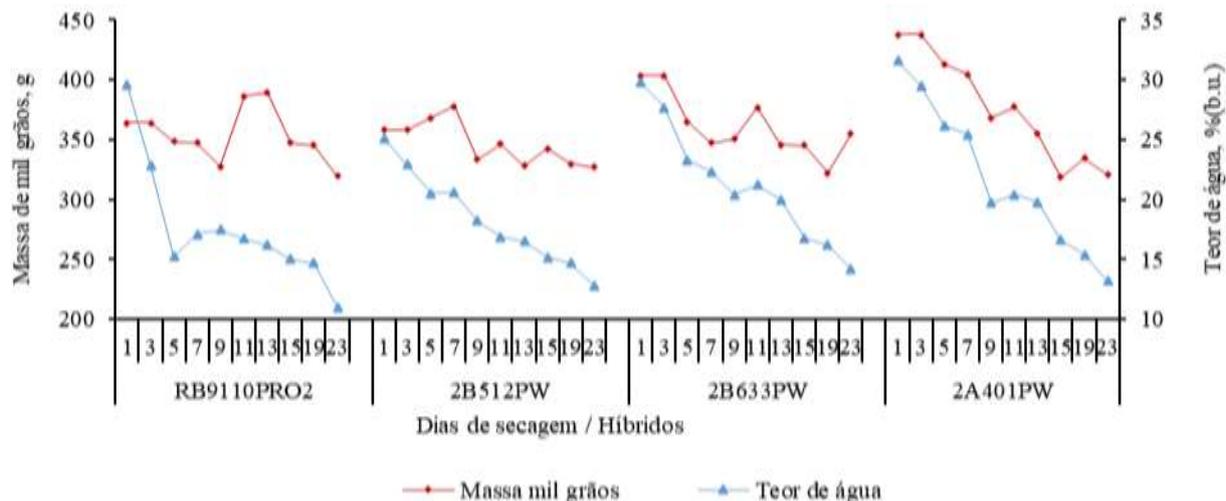
Os valores da variação do teor de água na massa de mil grãos do milho em função da secagem natural são mostrados na Figura 5. Nota-se uma tendência diretamente proporcional a redução do teor de água no produto, ou seja, a massa do grão diminui com a redução do teor de água durante a secagem natural. Concordando com os resultados obtidos por outros pesquisadores que observaram comportamento semelhante para grãos de soja (Wandkar et al., 2012), amendoim (Araújo et al., 2014), cártamo (Martins et al., 2017) e feijão caupi (Oba et al., 2019).

A massa de mil grãos, por ser diretamente proporcional a umidade, decresceu em torno de 12, 9, 12 e 27% para os híbridos RB9110PRO2, 2B512PW, 2B633PW e, 2A401PW, respectivamente, quando considerada redução do teor de água de 18,5; 12,3; 15,6 e 18,4 pontos percentuais. Estes resultados estão de acordo com os observados por Eiras & Biagionni (2014), que analisando a perda de matéria seca em grãos de milho submetidos a processos de secagem natural e artificial, verificaram perdas de 13,12% de massa de mil grãos para o sistema de secagem natural na planta, e perda de 9,59% na secagem artificial.

A maior redução da massa de mil grãos durante a secagem foi observada para o híbrido de ciclo superprecoce 2A401PW, devido a maior quantidade do teor de água inicial. Possivelmente, o tempo ideal de colheita deste material seria menor aos demais, pois os dados indicam maior susceptibilidade à perda de massa quando permanecidos em campo. Sendo essa uma informação importante quando a questão é qualidade e produtividade.

Para o teor de água final médio de 12,8 + 1,5 % (b.u.) as médias apresentadas para massa de mil grãos foram de 319,93, 327,05 355,21 e 320,85 g para os híbridos RB9110PRO2, 2B512PW, 2B633PW e, 2A401PW, respectivamente. Os valores obtidos neste trabalho estão condizentes com os valores médios encontrados em outros trabalhos realizados na região, como Ramos Junior et al. (2019) avaliando os componentes do rendimento e produtividade de grãos de milho, em função de densidades de *Crotalaria spectabilis* cultivadas em consórcio, encontraram massa de mil grãos de 329,0 g, e Ventura & Dalchiavon (2018) que determinaram o desempenho agrônomico do milho em função de diferentes arranjos populacionais, com valores médios variando entre 306,6 e 346,42 g.

**Figura 5.** Valores médios observados para massa de mil grãos de diferentes híbridos de milho em função da perda de massa de água, durante à secagem natural.



Fonte: Autores.

Os valores da variação das massas específicas aparente e unitária do milho em função da secagem natural são mostrados nas Figuras 6 e 7, respectivamente. Observa-se que a massa específica aparente dos híbridos aumentou em função da redução do teor de água, em torno de 15% (b.u.). De acordo com Araújo et al. (2014), a alteração que ocorre nas propriedades físicas dos produtos agrícolas se deve a redução do teor de água durante a secagem. Segundo Saath et al. (2017), a relação inversa observada entre essas duas propriedades físicas, sugere que a perda parcial da água dos grãos pelo processo de secagem, ocorre uma redução simultânea de seu volume e teor de água, onde está é proporcionalmente maior que a redução de sua massa, assim, elevando os valores da massa específica aparente.

Observa-se que os híbridos de milho apresentaram oscilações nos valores de massa específica aparente ao longo do tempo. O híbrido RB9110PRO2 foi o que obteve maior oscilação nos seus valores durante o período de secagem natural. Entre os dias 1 e 5 teve um aumento de  $683,00 \text{ kg m}^{-3}$  para  $758,12 \text{ kg m}^{-3}$ , com variação do teor de água de 29,5 a 15,3% (b.u.). As oscilações nos valores de massa específica aparente e o teor de água permaneceram entre os dias 7 e 13. Além disso, a condição de proporcionalidade inversa entre o teor de água e massa específica aparente pode ser observada entre os dias 15 e 23. Após 23 dias de acompanhamento de secagem natural, com variação do teor de água em 18,5 pontos percentuais, atingindo 11,0% (b.u.), quantificou-se  $786,93 \text{ kg m}^{-3}$  para massa específica aparente deste híbrido.

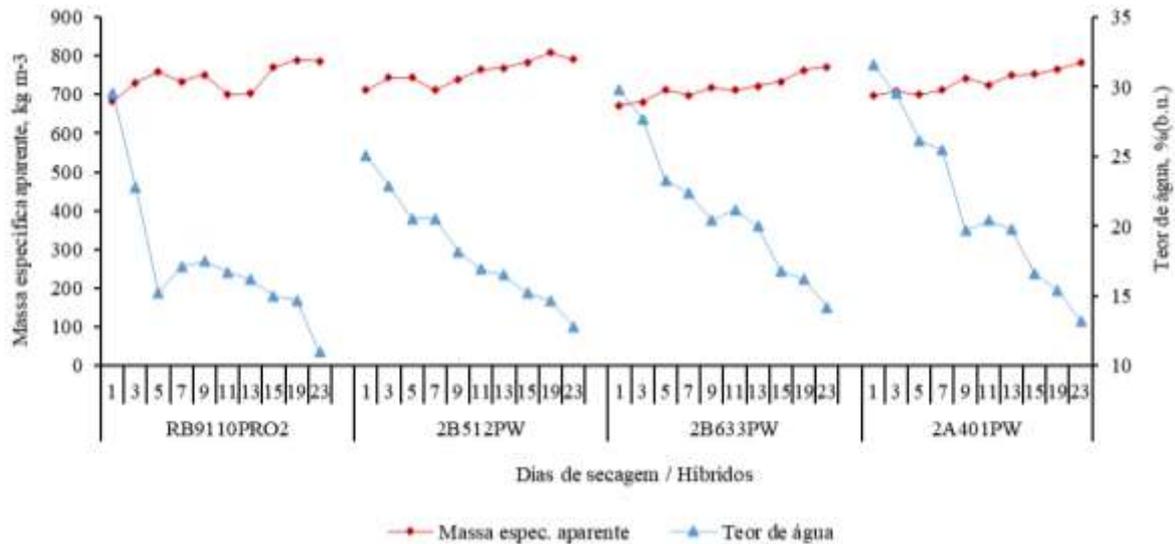
Os híbridos 2B512PW, 2B633PW e 2A401PW apresentaram poucas oscilações ao longo do tempo, ou seja, percebe-se aumento da massa específica aparente em relação a redução do teor de água em praticamente todo o período. Após finalizada a secagem natural aos 23 dias, tem-se valores de massa específica de  $791,33 \text{ kg m}^{-3}$  (12,8% b.u.);  $771,36 \text{ kg m}^{-3}$  (14,2% b.u.) e  $781,46 \text{ kg m}^{-3}$  (13,2% b.u.) para os híbridos 2B512PW, 2B633PW e 2A401PW, respectivamente. Esses resultados são similares para a maioria dos produtos agrícolas, como grãos de soja (Hauth et al., 2018), trigo mourisco (Quequeto et al., 2018), feijão preto (Theertha et al., 2014) e sementes de feijão comum (Jesus et al., 2013).

Para a massa específica unitária espera-se a mesma tendência que foi observada para a massa específica aparente, ou seja, aumento em função da redução do teor de água. Todavia, nota-se que essa propriedade física não apresentou tendência definida ao longo da secagem, destacando apenas maior variação para os híbridos superprecoces RB9110PRO2 e 2A401PW, sendo esses que apresentaram maiores reduções no teor de água (Figura 2).

A não observância da tendência para a massa específica unitária provavelmente é em decorrência da metodologia adotada, onde no cálculo desta propriedade considerou-se que o grão de milho se aproxima da forma geométrica de um

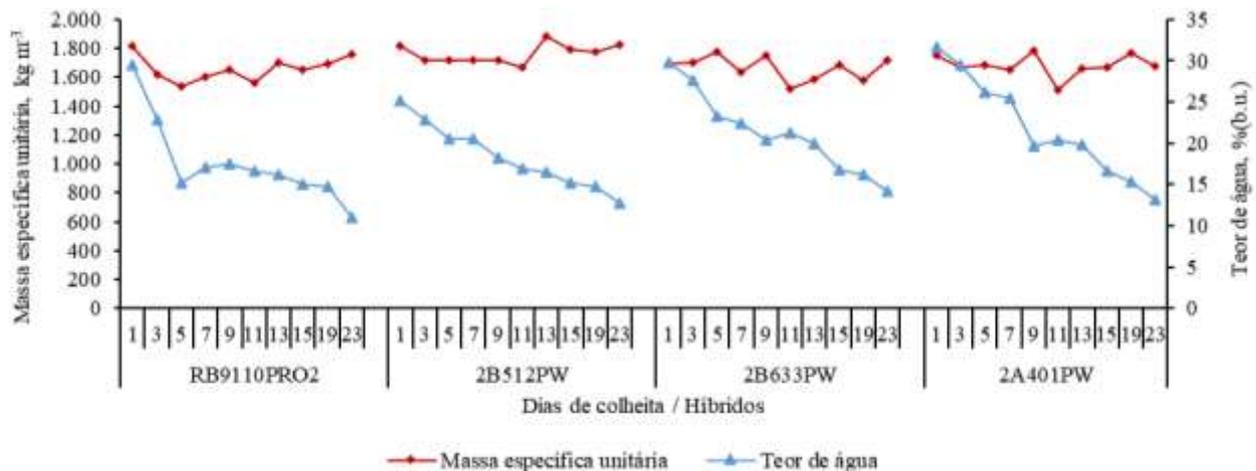
esferóide, o que pode ter influenciado os resultados visto a variação de formato entre grãos em uma mesma espiga. Contudo, para determinação do tamanho e forma do grão foram utilizados grãos da parte central da espiga na tentativa de minimizar os efeitos de heterogeneidade.

**Figura 6.** Valores médios observados para massa específica aparente de diferentes híbridos de milho em função da perda de massa de água, durante à secagem natural.



Fonte: Autores.

**Figura 7.** Valores médios observados para a massa específica unitária de diferentes híbridos de milho em função da perda de massa de água, durante à secagem natural.



Fonte: Autores.

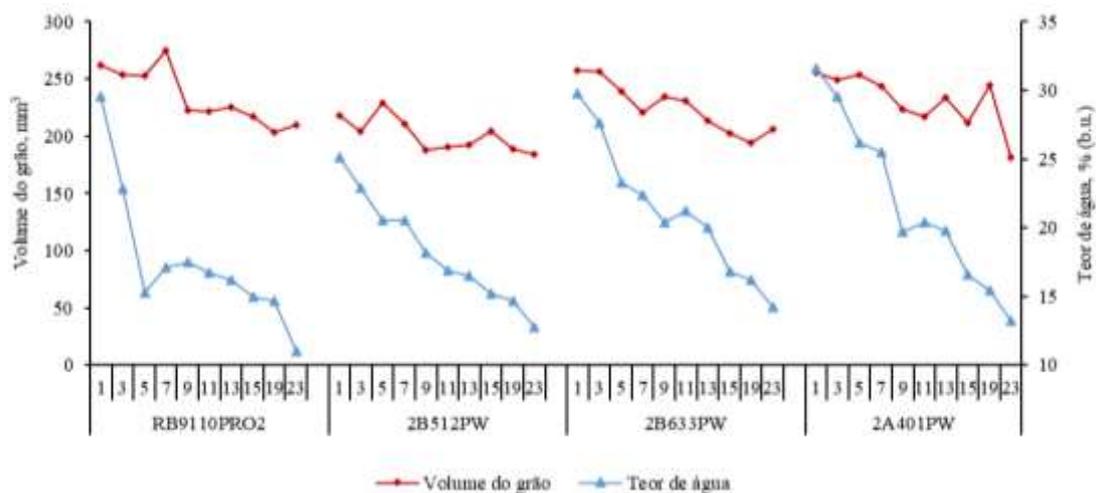
Os valores da variação do teor de água no volume do grão de milho em função da secagem natural são apresentados na Figura 8. Perceba-se que o volume do grão de milho diminuiu com a redução do teor de água. Houve variação entre os valores máximo e mínimo na ordem de 20; 15; 20 e 29% para os híbridos RB9110PRO2; 2B512PW; 2B633PW e 2A401PW, respectivamente, comparada a uma variação do teor de água de 18,5; 12,3; 15,7 e 18,4 pontos percentuais.

Observa-se que o volume não apresentou um decréscimo linear em função da variação do teor de água como relatado por Saath et al. (2017) e Oba et al. (2019). Acredita-se que essa variação não linear aconteceu devido a desuniformidade entre

as espigas coletadas em cada etapa de colheita, embora tenha-se realizada seleção de grãos com tamanho e forma semelhantes, localizados na parte central da espiga.

Reduções no volume do grão devido à secagem foram citadas por Guedes et al. (2011) e Siqueira et al. (2012), que constataram que a contração volumétrica causou mudanças físicas na estrutura celular dos produtos por eles estudados, provocando com isso alterações nas dimensões características. A contração volumétrica associada à redução do teor de água são as principais causas de alteração nas propriedades físicas dos produtos agrícolas.

**Figura 8.** Valores médios observados para o volume do grão de diferentes híbridos de milho em função da perda de massa de água, durante à secagem natural.

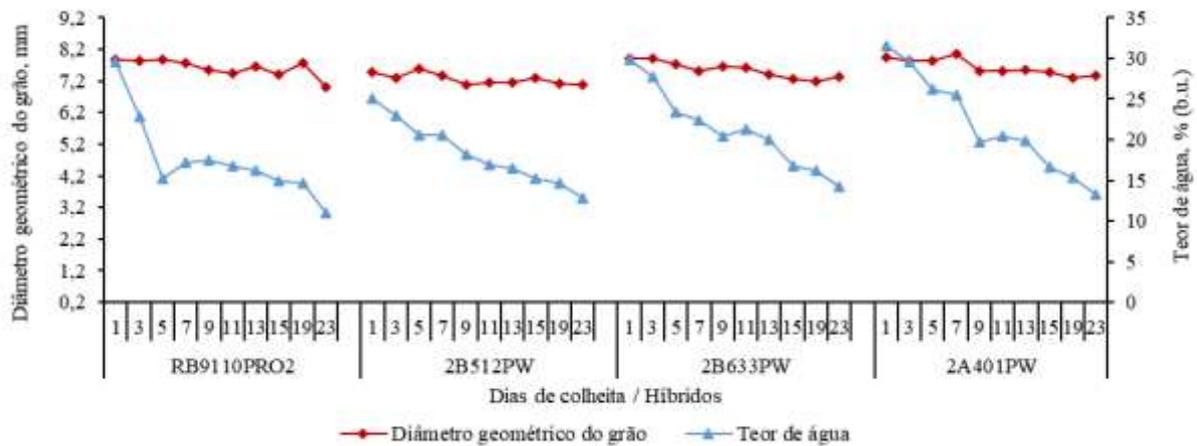


Fonte: Autores.

Os valores da variação do teor de água no diâmetro geométrico do grão de milho em função da secagem natural são descritos na Figura 9. Semelhantemente ao ocorrido com o volume do grão, o diâmetro geométrico também decresceu à medida que houve redução do teor de água. As variações foram de 11, 5, 7 e 7% para as cultivares RB9110PRO2, 2B512PW, 2B633PW e 2A401PW, respectivamente, em relação à sua dimensão inicial. A maior ou menor variação do teor de água não refletiu na mesma proporção sobre a variação do diâmetro geométrico, como verificado para o volume do grão.

Esses resultados concordam com os encontrados por Siqueira et al. (2012) trabalhando com pinhão-mansão verificaram que o diâmetro geométrico do grão foi proporcional à redução do conteúdo de água presente no mesmo, bem como das condições de secagem, como temperatura. Além disso, Goneli et al. (2011) também observaram que a redução no teor de água influenciou diretamente no tamanho e na forma dos frutos de mamona, assim como na contração volumétrica.

**Figura 9.** Valores médios observados para o diâmetro geométrico do grão de diferentes híbridos de milho em função da perda de massa de água, durante à secagem natural.



Fonte: Autores.

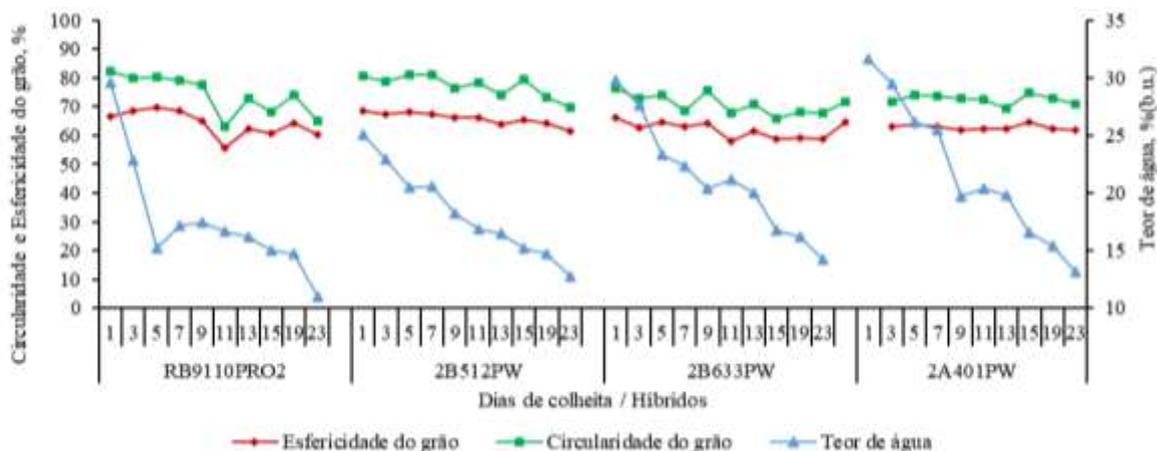
Os valores médios do teor de água na forma do grão de milho em função da secagem natural são mostrados na Figura 10. A forma foi avaliada por meio da circularidade (quanto o grão se assemelha a um círculo na posição natural de repouso) e pela esfericidade (o quanto o grão se aproxima à forma de esférica). Nota-se uma redução na magnitude dos valores de circularidade e esfericidade com a redução do teor de água devido a secagem natural. O valor médio para circularidade foi de 71,03; 69,8; 67,7 e 64,9% e para a esfericidade foi de 61,7; 61,5; 58,6 e 64,9%, respectivamente, para os híbridos RB9110PRO2, 2B512PW, 2B633PW e 2A401PW.

Estes dados denotam a irregularidade dos grãos de milho, visto que valores acima de 80% poderiam indicar que o grão tende a apresentar formato próximo à de uma esfera. Além disso, o híbrido RB9110PRO2 apresentou menores variações em relação ao formato do grão durante a secagem, ao passo o híbrido 2A401PW foi o que apresentou maiores alterações, principalmente em relação a circularidade.

Oliveira et al. (2014), trabalhando com grãos de milho submetidos a diferentes temperaturas de ar de secagem (40, 60, 80 e 100 °C), também observaram resultados semelhantes, nos quais a circularidade e a esfericidade diminuíram com a redução do teor de água. Esses autores afirmam que a redução da circularidade está relacionada com a maior redução no eixo médio (X) em relação ao eixo maior (Y). Enquanto que a esfericidade pode ser explicada pela menor contração do eixo maior (Y), já que este parâmetro é inversamente proporcional à esfericidade.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Coradi et al. (2016) que estudando a secagem do milho em diferentes temperaturas (80, 100 e 120 °C), verificaram que as variações de teor de água causaram influência tanto sobre a circularidade quanto da esfericidade do grão, sendo que conforme o teor de água reduzia os valores das propriedades decresciam de modo linear durante a secagem. No trabalho de Goneli et al. (2011), avaliando frutos de mamona durante a secagem, também constataram que a esfericidade e a circularidade reduziram a medida em que o teor de água reduziu.

**Figura 10.** Valores médios observados para a forma (circularidade e esfericidade) do grão de diferentes híbridos de milho em função da perda de massa de água, durante à secagem natural.

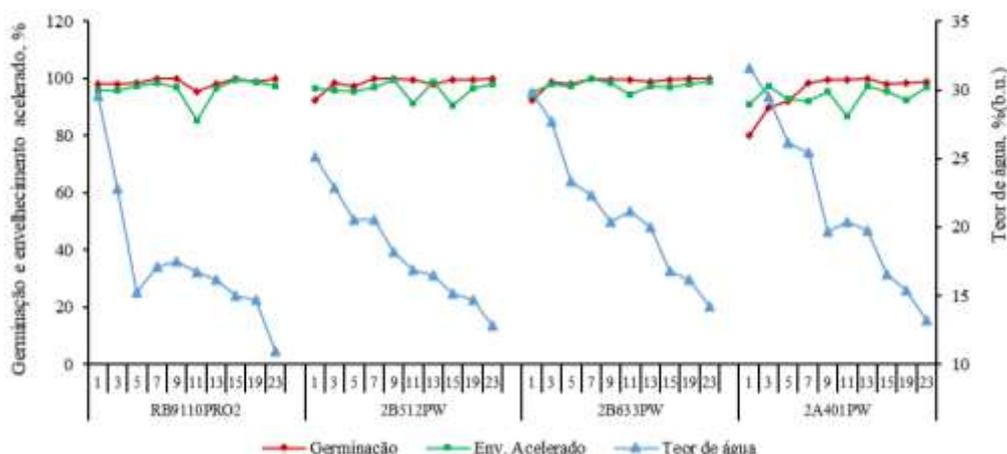


Fonte: Autores.

Os valores médios do teor de água na germinação e envelhecimento acelerado dos grãos de milho em função da secagem natural são apresentados na Figura 11. As características fisiológicas foram mais susceptíveis às variações em função da permanência do produto na planta, após a maturidade fisiológica.

Os maiores valores médios encontrados para germinação foram para os grãos coletados nos dias 7, 9 e 23 para o híbrido RB9110PRO2; nos dias 7 e 23 para o híbrido 2B633PW; nos dias 19 e 23 para o híbrido 2B512PW e para o híbrido 2A401PW somente no dia 13, onde todos apresentaram 100% de grãos germinados. De modo geral, observa-se que não houve grandes reduções em relação a germinação durante o período de secagem natural do milho. Ocorreu oscilações, porém os valores médios mantiveram-se acima de 90% à exceção do híbrido 2B633PW no dia 5.

**Figura 11.** Valores médios observados para germinação e envelhecimento acelerado de grãos de diferentes híbridos de milho em função da perda de massa de água, durante à secagem natural.



Fonte: Autores.

No que diz respeito a germinação após envelhecimento acelerado, verifica-se maiores oscilações do que para a germinação inicial. Entretanto, após a secagem natural, quando atingido o teor de água final de colheita, teve-se bons resultados de germinação mesmo após o grão ter sofrido estresse térmico e hídrico durante a análise, demonstrando que a

secagem natural pode ser indicada para o caso de produção de semente, bem como, para armazenagem de milho por longo período (1 a 2 anos).

Saath et al. (2017) analisando a qualidade fisiológica de grãos de soja durante a secagem, observaram que para a faixa de teor de água variando de 28,02 a 12,06% (b.s.), a germinação do grão variou entre 88 e 96% e de 80 e 97% para a temperatura do ar de secagem de 45 e 50 °C, respectivamente. Para Coradi et al. (2016), trabalhando com o efeito da temperatura e redução do teor de água em função da qualidade de grãos de milho durante a secagem, concluíram que a germinação do grão de milho permaneceu constante, em torno de 40%, para a temperatura de 80 °C e numa faixa de teor de água variando entre 18 e 12% (b.u.).

#### 4. Considerações Finais

Pode-se concluir que as condições climáticas, alta temperatura e baixa umidade relativa do ar e sem ocorrência de precipitação, encontradas no estado de Mato Grosso para o período entre 21 de junho e 13 de julho são favoráveis para a secagem natural dos grãos. Assim, para a redução do teor de água inicial (25 a 32% b.u.) até o teor de água final ( $14 \pm 2\%$  b.u.) são necessários em média de 18 dias de secagem natural de híbridos de milho. Devido as diferenças das características dos materiais genéticos, têm-se variações no decréscimo do teor de água em função da secagem natural, sendo os híbridos RB9110PRO2 e 2A401PW com maior redução no teor de água, 18,5 e 18,4 pontos percentuais, respectivamente.

A estimativa do teor de água de equilíbrio, considerando as condições climáticas locais, torna-se necessária para o maior controle do gerenciamento da secagem natural do milho em campo, evitando a perda de qualidade e prejuízos financeiros ao produtor agrícola devido a supersecagem do grão.

O modelo Polinomial quadrático descreve bem a variação do teor de água dos híbridos 2B512PW, 2B633PW e 2A401PW durante à secagem natural, de acordo com o intervalo de dias avaliado, assim como para a faixa de teor de água.

Os resultados e discussões apresentados ao entorno da qualidade física apontam que o teor de água apresenta influência direta nas propriedades físicas dos grãos de milho, independente do híbrido. Com a redução do teor de água ao longo do tempo de secagem natural tem-se decréscimo na massa de mil grãos e no tamanho e forma do grão (volume, diâmetro, circularidade e esfericidade), além do aumento da massa específica aparente e unitária.

A redução do teor de água durante a secagem natural dos grãos de milho não apresenta alteração na qualidade fisiológica dos grãos de milho, independente do material genético.

A secagem natural dos grãos de milho ainda na planta, não causa perdas qualitativas (físicas e fisiológicas) de acordo com as condições climáticas locais, bem como para o tempo de secagem analisado.

Por fim, a avaliação do processo de secagem natural constitui em importante informação para produtores da região, a partir desta, é possível que os mesmos consigam gerenciar de forma mais adequada a operação de colheita, além de manter a qualidade dos grãos.

#### Referências

- Araújo, W. D., Goneli, A. L. D., Souza, C. M. A., Gonçalves, A. A., & Vilhasantis, H. C. B. (2014). Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3), 279-286. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300006>
- Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes*. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Produção Vegetal.
- Companhia Nacional de Abastecimento (2021). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*, 8(7), Brasília: CONAB, 2021 <http://www.conab.gov.br>
- Companhia nacional de abastecimento (2016). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. v. 3, sétimo levantamento.
- Coradi, P. C., Milane, L. V., Andrade, M. G. O., Camilo, L. J., & Souza, A. H. S. (2016). Secagem de grãos de milho do cerrado em um secador comercial de fluxos mistos. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 10(1), 14-26. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2016v10n1p14-26>

- Corrêa, P. C., Machado, P. F., & Andrade, E. T. (2015). Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. *Ciência e Agrotecnologia*, 25(1), 134-142.
- Eiras, D. L. & Biagionni, M. A. M. (2014). Perda de matéria seca em grãos de milho submetidos a sistemas de secagem natural e artificial. *Revista Energia na Agricultura*, 29(3), 228-235. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n3p228-235>
- Guedes, M. A., Mata, M. R. M. C., Duarte, M. E. M., & Farias, P.A. (2011). Caracterização física de grãos de soja utilizando processamento digital de imagens. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 13(3), 279-294. <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v13n3p279-294>
- Guimarães, D., & Baudet, L. (2002). *Simulação de secagem de grãos e sementes*. Universidade Federal de Pelotas.
- Goneli, A. L. D., Corrêa, P. C., Magalhães, F. E. A., & Baptestini, F. M. (2011). Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. *Acta Scientiarum Agronomy*. 33, 1-8. 10.4025/actasciagron.v33i1.4629
- Hauth, M. R., Botelho, F. M., Hoscher, R. H., Botelho, S. C. C., & Oliveira, G. H. H. (2018). Physical properties of different soybean cultivars during drying. *Engenharia Agrícola*, 38(4), 590-598. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n4p590-598/2018>
- Jesus, F. F., Souza, R. T. G., Teixeira, G. C. S., Teixeira, I. R., & Devilla, I. A. (2013). Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água. *Engenharia na Agricultura*, 21, 09-18. <https://doi.org/10.13083/1414-3984.v21n01a01>
- Kappes, C. (2013). *Sistemas de cultivo de milho safrinha no Mato Grosso*. 7º Seminário Nacional.
- Köppen, W. (1931). *Grundriss der imakunde: Outline of climate science*.
- Marcuzzo, F. F. N., Melo, D. C. R., & Rocha, H. M. (2011). Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*.16(4), 154-167. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v16n4.p157-167>
- Martins, E. A. S., Goneli, A. L. D., Hartmann Filho C. P., Mauad, M., Siqueira, V. C., & Gonçalves, A. A. (2017). Propriedades físicas dos grãos de cártamo. Parte I: Características geométricas e gravimétricas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(5), 344-349. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n5p344-349>
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Publishers.
- Oba, G. C., Goneli, A. L. D., Martins, E. A. S., Hartmann Filho, C. P., & Gonçalves, A. A. (2019). Caracterização física das sementes de feijão-caupi, cultivar brs guariba, durante o processo de secagem. *Energia na Agricultura*, 34 (2), 283-296. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n2p283-296>
- Oliveira, D. E. C., Santos, M. N. S., & Ruffato, S. (2014). Forma e tamanho dos grãos de milho da cultivar P3646 submetidos a diferentes condições de ar de secagem. *Nativa*, 2(3), 162-165. 10.14583/2318-7670.v02n03a06
- Souza, A. P., Mota, L. L., Zamadei, T., Martin, C. C., Almeida, F. T., & Paulino, J. (2013). Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa*, Sinop, 1(1), 34-43. <https://doi.org/10.31413/nativa.v1i1.1334>
- Pfost, H. B., Maurer, S. G., Chung, D. S., & Milliken, G. (1976). *Summarizing and reporting equilibrium moisture data for grains*. ASAE, 76–3520.
- Quequeto, W. D., Siqueira, V. C., Schoeninger, V., Martins, E. A. S., Isquierdo, E. P., & Silva, F. P. (2018). Physical properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grains during convective drying. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(11), 793-798. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n11p793-798>
- Ramos Junior, E. U., Ramos, E. M., Konzen, L. M., Faleiro, V. O., Silva, A. F., & Tardin, F. D. (2019). Desempenho da soja em sucessão ao consórcio de milho segunda safra com diferentes densidades de *Crotalaria spectabilis*. *Nativa*, 7(6), 649-655. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7930>
- Rossetto, C. A. V., Lima, T. de M., & Guimarães, E. C. (2004). Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de amendoim. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(8), 795-801. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000800010>
- Saath, R., J. H. S. T., Terenciano, R. M., Evaristo, T., & Rosso, B. C. D. (2017). Desempenho fisiológico e qualidade físico-química de grãos de soja secados sob diferentes temperaturas. *Colloquium Agrariae*,13(2),19-33. 10.5747/ca.2017.v13.n2.a157
- Sartori, J. A. Qualidade dos grãos de milho após o processo de secagem. 2001. *Dissertação*. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 54.
- Silva, K. B., Alves, E. U., Bruno, R. L. A., & Cardoso, E. A. (2012). Tolerância à dissecação em sementes de *Bunchosia armênica*. *Ciências Agrárias*, Londrina, 33(4), 1403-1410. 10.5433/1679-0359.2012v33n4p1403
- Siqueira, V. C., Resende, O., & Chaves, T. H. (2012). Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. *Acta Scientiarum Agronomy*, 34, 231-238. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i3.14402>
- Theertha, D. P., Sujeeetha, J. A. R. P., Abirami, C. V. K., & Alagusundaram, K. (2014). Effect of moisture content on physical and gravimetric properties of black gram (*Vigna mungo* L.). *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 3, 97-104.
- Ventura, M. F. B., & Dalchiavon, F. C. (2018). Agronomic characteristics of corn grown in different population arrangements. *Nativa*, 6(3)569-574. 10.31413/nativa.v6i6.5927
- Wandkar, S. V., Ukey, P. D., & Pawar, D. A. (2012). Determination of physical properties of soybean at different moisture levels. *Agricultural Engineering International*, 14(2), 138-142.
- Werle, A. (2017). *As Vantagens do híbrido de milho superprecoce*. <https://revistacampoenegocios.com.br/as-vantagens-do-hibrido-de-milho-superprecoce>