



**MARIA ALICE BENTO ÁVILA**

**QUALIDADE DE SEMENTES DE MILHO COLHIDAS  
EM ESPIGAS COM ALTO TEOR DE ÁGUA E SUBMETIDAS  
À SECAGEM COM CONTROLE DA UMIDADE RELATIVA  
DO AR**

**LAVRAS-MG  
2022**

**MARIA ALICE BENTO ÁVILA**

**QUALIDADE DE SEMENTES DE MILHO COLHIDAS EM ESPIGAS COM  
ALTO TEOR DE ÁGUA E SUBMETIDAS À SECAGEM COM CONTROLE DA  
UMIDADE RELATIVA DO AR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Everson Reis Carvalho  
Orientador

Prof. Dr. João Almir Oliveira  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ávila, Maria Alice Bento.

Qualidade de sementes de milho colhidas em espigas com alto teor de água e submetidas à secagem com controle da umidade relativa do ar / Maria Alice Bento Ávila. - 2022.

87 p. : il.

Orientador(a): Everson Reis Carvalho.

Coorientador(a): João Almir Oliveira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Secadores. 2. Taxa de secagem. 3. Qualidade fisiológica. I. Carvalho, Everson Reis. II. Oliveira, João Almir. III. Título.

**MARIA ALICE BENTO ÁVILA**

**QUALIDADE DE SEMENTES DE MILHO COLHIDAS EM ESPIGAS COM  
ALTO TEOR DE ÁGUA E SUBMETIDAS À SECAGEM COM CONTROLE DA  
UMIDADE RELATIVA DO AR**

**QUALITY OF CORN SEEDS HARVESTED ON EARS WITH HIGH WATER  
CONTENT AND SUBMITTED TO DRY WITH CONTROL OF RELATIVE AIR  
HUMIDITY**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 29 de abril de 2021.

Dr. André Delly Veiga – IFMG

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa – DCA/UFLA

Dr. João Almir Oliveira – DCA/UFLA

Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires – DAG/UFLA

Prof. Dr. Everson Reis Carvalho  
Orientador

Prof. Dr. João Almir Oliveira  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2022**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG), em especial ao Setor de Sementes, pela oportunidade concedida para a realização desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

Agradeço ao professor Dr. João Almir Oliveira, pelo melhor exemplo de profissionalismo e dedicação, pelos ensinamentos transmitidos nesses anos de orientação, por ter sido sempre paciente e atencioso, e, principalmente, por sua compreensão.

Ao Professor Dr. Everson Reis Carvalho por aceitar ser meu orientador na fase final, pré-defesa, dedicando-se a me incentivar a concluir a tese com a excelência que um nível de doutorado exige.

Aos professores e pesquisadores do Setor de Sementes, pelos conhecimentos transmitidos e disposição em colaborar sempre.

A toda a equipe de orientados do professor João, pela parceria, amizade, apoio e colaboração.

À banca examinadora, pela avaliação deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Agricultura e do Setor de Sementes, pelo apoio na execução das atividades.

À Marli, secretária do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela atenção, carinho, e colaboração de sempre.

Ao Núcleo de Estudos em Sementes (NESem) pelo desenvolvimento nos campos profissionais, acadêmicos e pessoais. Aos seus membros e ex-membros pela amizade, exemplo e empenho. Vocês são a minha referência e tenho fé que todos seremos ótimos profissionais!

Aos amigos do Setor de Sementes e da cidade de Lavras pela fraternidade em momentos memoráveis compartilhados.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação e conquista deste sonho.

As amadas famílias Bento e Ávila, pelo incentivo, carinho e alegrias.

À Wesley, Alf, por seu exemplo, o trabalho duro sempre compensará. Sou eternamente grata, cada ano ao seu lado se supera em ser o melhor em minha vida.

Aos meus pais, Maria Aparecida Bento e João Batista Ávila (*sempre presente*) pelo AMOR, educação e esforços para me proporcionar o melhor. Mãe esta conquista é tão sua, quanto minha.

Ao, meu filho Manoel, por ser esse amor e benção de Deus em minha vida e alegria de nossa família. Desde os primeiros dias de vida me inspirando a ser forte, a acreditar na simplicidade e que as dificuldades sempre serão superadas.

Sobretudo, eu agradeço, principalmente a Deus, pela presença constante em minha vida, por transformar mais um sonho em realidade e por colocar em meu caminho pessoas incríveis que me inspiram a ser cada dia melhor.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

No atual cenário agrícola sementes de milho são colhidas antecipadamente em espiga com alto teor de água, o que requer um planejamento do processo de recebimento e secagem, que visa levar o produto a um padrão de umidade adequado com a manutenção do seu estado fisiológico pós-colheita. Assim, objetivou-se no primeiro trabalho avaliar processos de secagens de sementes de milho em espiga com distintos controles e parâmetros em função das condições ambientais e taxas de secagens e a relação com a qualidade fisiológica. No segundo trabalho verificou-se os efeitos da temperatura e umidade relativa do ar durante a secagem sobre a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho híbrido, colhidos em espiga. Para ambos os estudos foram utilizados os híbridos simples BM 709 PRO2 e BM 812 PRO2 colhidos em safras de inverno e verão, submetidos a dois métodos de secagem estacionária: o MT, com controle apenas da temperatura, constante entre 38°C e 40°C; MUR, com controle da umidade relativa entre 25 e 30%, e controle de temperatura máxima a 40°C. As sementes foram colhidas, em espiga, com 35% de umidade e foram secadas até 11%. O acompanhamento da secagem foi feito com avaliação da taxa de secagem ao longo do tempo e as condições psicrométricas ambientais. As sementes foram armazenadas em dois ambientes: em câmara fria e seca a 10°C e 50% UR; e em câmara de 25°C, sem controle de umidade relativa. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada no início do período de armazenamento e aos 4, 8, 12 e 16 meses para ambos os estudos. O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x5, envolvendo métodos de secagem, ambientes e épocas de armazenamento, com quatro repetições. No primeiro trabalho, no verão, a metodologia com controle de umidade relativa mínima e temperatura máxima (MUR) propicia taxas de secagem maiores e conseqüente redução do tempo de secagem, sem prejudicar a qualidade fisiológica das sementes. O controle da umidade relativa do ar nos secadores é essencial para a secagem de sementes de milho. Concluiu-se no segundo trabalho que o controle de umidade relativa do ar mínima, entre 25 e 30%, além do controle da temperatura máxima 40°C, durante a secagem de sementes de milho colhidas em espiga é favorável a qualidade fisiológica e sanitária das sementes ao longo do armazenamento. O armazenamento em condições controladas de câmara fria (10°C e 50% UR) promovem melhor manutenção da qualidade fisiológica das sementes de milho em relação ao ambiente climatizado (25°C), após 8 meses de armazenamento.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Secadores. Taxa de secagem. Secagem de sementes. Qualidade fisiológica.

## ABSTRACT

In the current agricultural scenario, corn seeds are harvested in advance from the ear with a high water content, which requires a planning of the reception and drying process, which aims to bring the product to an adequate moisture standard with the maintenance of its post-harvest physiological state. harvest. Thus, the objective of the first work was to evaluate drying processes of corn seeds on the cob with different controls and parameters as a function of environmental conditions and drying rates and the relationship with physiological quality. In the second work, the effects of temperature and relative humidity during drying on the physiological and sanitary quality of hybrid corn seeds, harvested on the cob, were verified. For both studies, the simple hybrids BM 709 PRO2 and BM 812 PRO2 were used, harvested in winter and summer seasons, submitted to two methods of stationary drying: the MT, with only temperature control, constant between 38°C and 40°C; MUR, with relative humidity control between 25 and 30%, and maximum temperature control at 40°C. The seeds were harvested on the cob at 35% moisture and dried to 11%. The monitoring of drying was carried out by evaluating the drying rate over time and the environmental psychrometric conditions. The seeds were stored in two environments: in a cold and dry chamber at 10°C and 50% RH; and in a 25°C chamber, without relative humidity control. The physiological quality of the seeds was evaluated at the beginning of the storage period and at 4, 8, 12 and 16 months for both studies. The experiment was carried out in a completely randomized design in a 2x2x5 factorial scheme, involving drying methods, environments and storage times, with four replications. In the first work, in summer, the methodology with minimum relative humidity and maximum temperature (MUR) control provides higher drying rates and consequent reduction of drying time, without harming the physiological quality of the seeds. Controlling the relative humidity of the air in the dryers is essential for the drying of corn seeds. It was concluded in the second work that the control of minimum relative humidity, between 25 and 30%, in addition to the control of the maximum temperature of 40°C, during the drying of corn seeds harvested on the cob is favorable to the physiological and sanitary quality of the seeds. seeds during storage. Storage in controlled cold chamber conditions (10°C and 50% RH) promotes better maintenance of the physiological quality of corn seeds in relation to the climatized environment (25°C), after 8 months of storage.

**Keywords:** *Zea mays*. Dryers. Drying rate. Seed drying. Physiological quality.



## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL .....</b>  | <b>10</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>2.1 A cultura do milho no Brasil .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>2.2 Colheita de sementes de milho em espiga.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2.3 Secagem de Sementes .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>2.4 Secagem de sementes de milho em espiga .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2.5 Fatores que influenciam na qualidade das sementes durante a secagem.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>2.5.1 Temperatura do ar de secagem.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>2.5.2 Teor de água inicial nas sementes .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.5.3 Taxa de secagem .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>2.5.4 Umidade relativa do ar no processo de secagem .....</b>  | <b>21</b> |
| <b>2.6 Perda de umidade das espigas de milho por aquecimento .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>3 REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>CAPÍTULO 2 – PROCESSO DE SECAGEM DE SEMENTES DE MILHO EM ESPIGA<br/>COM CONTROLE DA UMIDADE RELATIVA DO AR.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>33</b> |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>4 CONCLUSÕES.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>5 AGRADECIMENTOS .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>CAPÍTULO 3 - QUALIDADE DE SEMENTES DE MILHO EM FUNÇÃO DOS<br/>PROCESSOS DE SECAGENS DAS ESPIGAS COM CONTROLE DE<br/>TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA .....</b> | <b>62</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>64</b> |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>65</b> |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>68</b> |
| <b>4 CONCLUSÕES.....</b>  | <b>82</b> |
| <b>5 AGRADECIMENTOS .....</b>   | <b>82</b> |

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL

### 1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) pertence à família *Poaceae*, sendo uma das principais espécies da agricultura intensiva mundial. Possui elevada demanda agrícola por sementes de alta qualidade devido ao aprimoramento tecnológico dos agricultores e ao aumento do número das áreas cultivadas, seu uso é destinado tanto para consumo animal, quanto para humano. Sendo assim, os produtores de sementes são incentivados a sua produção e investirem no controle da qualidade, com o objetivo de assegurar a oferta crescente de sementes, as quais apresentem os atributos físicos, fisiológicos, genéticos e sanitários, acima dos padrões estabelecidos para a comercialização das sementes e se destaquem no mercado.

A tendência de maior qualidade das sementes é próxima ao ponto de maturidade fisiológica, momento em que as sementes atingem o máximo acúmulo de matéria seca e tendências elevadas de níveis de germinação e vigor. A partir deste ponto a semente interrompe a conexão nutricional com a planta mãe e inicia-se o processo de deterioração, a velocidade com que este fenômeno ocorre irá depender das condições climáticas, como temperatura e umidade relativa do ambiente, ataque de pragas e de microrganismos e o tempo em que estas ficam expostas até o momento de colheita.

É recomendado, genericamente, a realização da colheita no momento mais próximo possível da maturidade fisiológica. Contudo, nesta ocasião, as sementes de milho ainda apresentam teores de água elevado, em torno de 40%, o que demanda cuidados quanto a colheita mecanizada, debulha, bem como quanto a manutenção da qualidade, devido ao elevado teor de água, que favorece a degradação de reservas e ocorrência de pragas e patógenos. Assim sementes colhidas com elevados teores de água, demandam cuidados especiais no transporte até a unidade de beneficiamento de sementes e também no processo de secagem.

Com a utilização do método de colheita de milho em espigas, grande parte das sementes híbridas atualmente são colhidas com teores elevados de água, próximos a maturidade fisiológica, acima de 30%. Este método de colheita precoce otimiza o processo de produção de sementes, como a redução do tempo de exposição a pragas e condições ambientais adversas no campo, aproveitamento antecipado das áreas de plantio, e melhor planejamento do processo de secagem no qual as sementes continuam nas espigas. Entretanto, as sementes assim colhidas

estão com alto grau de umidade, o que requer atenção, principalmente no início da secagem artificial.

De acordo com vários estudos já realizados com sementes de milho, tem-se verificado que alguns dos mecanismos que conferem tolerância à dessecação das sementes são adquiridos nos estágios finais da maturação e prolongam pós-estádio de maturidade. Portanto a secagem deve ser monitorada cuidadosamente, pois a taxa de secagem envolvendo alta temperatura e baixa umidade relativa do ar, o que otimiza a taxa de secagem, poderá afetar todo o sistema de tolerância que está sendo formado e reduzir significativamente a qualidade das sementes. A temperatura, a umidade relativa, a velocidade do ar de secagem, a taxa de secagem de sementes, o teor de água inicial e final do produto, o sistema de secagem empregado e o tempo de permanência das sementes na câmara de secagem, são parâmetros importantes na garantia da qualidade das sementes. Porém ajustes e avanços nos processos de secagens industriais de sementes são necessários, para que a operacionalidade, viabilidade econômica estejam sempre aliadas à qualidade fisiológica das sementes, devido à escassez de trabalhos que alinhem essas linhas de pesquisa.

Neste sentido, com o presente trabalho objetivou-se avaliar os efeitos dos processos de secagem, envolvendo controles de temperatura e umidade relativa do ar, e parâmetros de condições ambientais sobre taxas de secagens e a qualidade final das sementes de milho secas em espiga.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura do milho no Brasil

O aumento gradativo da participação do Brasil na produção global de produtos agropecuários tem sido cada vez mais expressivo (NASCIMENTO et al., 2018). A produção do milho em sucessão a soja, no inverno, viabilizou o aumento da área plantada e da produção do cereal no país. A estimativa nacional de plantio do milho, considerando a primeira, segunda e terceira safras, no período de 2019/20, foi de uma área plantada que totalizou 17,5 milhões de hectares, com uma produção de 92,34 milhões de toneladas, o que representa 40% da produção total de grãos no Brasil (CONAB, 2020).

O centro de origem do milho é nas Américas, especificamente no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos e está no cenário comercial como uma das plantas de maior eficiência. Sua produção tem alta ano após ano, alavancada pelos setores de suinocultura e avicultura, que utilizam o produto in natura ou processado em rações destinadas à alimentação animal (MELO; CASIMIRO, 2017).

Os produtores de *commodities* normalmente cultivam uma safra por ano, no Brasil, porém, se tornou uma exceção, no mercado de milho devido à capacidade de colher duas safras por ano (MATTOS; SILVEIRA, 2018). A primeira safra, de verão, é plantada entre setembro e dezembro e colhida entre janeiro e abril. Concentra-se no Sul e Sudeste brasileiros e geralmente é usado para atender à demanda doméstica de ração. A segunda safra, de inverno, é plantada de janeiro a março e colhida de maio a agosto. Concentra-se principalmente no Centro-Oeste e é utilizado principalmente para abastecer o mercado internacional (USDA, 2020).

A cultura do milho tem papel socioeconômico importante no agronegócio brasileiro devido sua produção estar inserida em todas as regiões do país (FEITOSA et al., 2018) e possui uma demanda efetiva de aproximadamente 250 mil toneladas de sementes por ano (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES, 2017) sendo o milho híbrido o grande responsável pela alta taxa de utilização de sementes e uma das principais estratégias empregadas para aumentar a produção, o que impacta aumentos de aproximadamente 50% para híbridos adaptáveis (GAFFNEY et al., 2015). A adesão dessa tecnologia permitiu plantios em altas densidades, de 60 a 80 mil plantas por hectare. As espigas desses cultivares são bem empalhadas e raramente viram para baixo, porque a colheita ocorre logo após as sementes estarem com a umidade adequada (GALVÃO et al., 2019).

É preciso ressaltar, que o aumento na utilização de sementes melhoradas, contribuiu para a expansão e diversificação da produção de sementes, resultantes da evolução do melhoramento genético, do uso da biotecnologia e da incorporação de novas tecnologias ao processo de produção de sementes, o que disponibiliza no mercado sementes de alta qualidade, de diferentes espécies, para diferentes condições edafoclimáticas, que possibilitaram o aumento da produtividade no campo (SANTOS et al., 2014). A cultura do milho apresenta uma taxa de uso de sementes certificadas de 90%, uma das mais altas do país (VERGARA et al., 2018). Neste aspecto, as indústrias de sementes possuem papel fundamental na cadeia produtiva do agronegócio, uma vez que, seu principal produto, as sementes, constituem sua base e fundamento (BONNY, 2017).

## **2.2 Colheita de sementes de milho em espiga**

O desenvolvimento e a maturação das sementes de milho são aspectos importantes a serem considerados na tecnologia de produção de sementes, e irão determinar a qualidade das sementes sob as condições ambientais (GENG et al., 2016). O momento ideal para se realizar a colheita seria no ponto de maturidade fisiológica, pois é nesse estágio fenológico que as sementes de milho possuem a máxima qualidade e acúmulo de massa seca e menor exposição a patogenicidades (DI DOMENICO et al., 2015), sementes de milho, quando colhidas com teor de água inferior a 18%, tendem a perder massa seca quantitativa por respiração (MARQUES et al., 2011). Em termos de teor de água nas sementes o ponto de maturidade fisiológica do milho pode variar de acordo com o genótipo, entre valores de 28 a 40% (GALINDO et al., 2017).

Após a maturidade fisiológica até o momento da sua utilização na semeadura, as sementes estão sujeitas a perdas qualitativas. Estas perdas podem ser devido às alterações fisiológicas e bioquímicas, as quais vão se somando no decorrer do tempo, o que ocasiona redução de vigor (PARVEJ et al., 2020). Porém, no ponto de maturação fisiológica, as sementes apresentam alto teor de umidade o que impossibilita a colheita mecanizada (NGOUNE TANDZI; MUTENGWA, 2020), exceto para o milho, onde grande parte da colheita das sementes é realizada em espigas permitindo que sementes com alto teor de umidade sejam colhidas próximo ao ponto de maturação fisiológica (JACOB JUNIOR et al., 2014). Esta abordagem resulta em maior qualidade fisiológica da semente devido à baixa exposição a condições ambientais adversas (JORGE et al., 2005).

Este método de colheita torna a secagem das espigas importante dentro da estratégia de colheita antecipada, (JACOB JUNIOR et al., 2014). A colheita em espigas requer um

planejamento do processo de recebimento e secagem, que visa levar o produto a um padrão de umidade adequado com a manutenção do seu estado fisiológico pós-colheita (PERFEITO et al., 2017).

Assim, a secagem artificial é considerada um dos processos mais críticos da produção de sementes de milho. Se a secagem não inadequada, os danos serão irreversíveis o que comprometerá a qualidade final das sementes o que pode tornar inviável sua comercialização (COSTA et al., 2017).

### **2.3 Secagem de Sementes**

A secagem é uma operação unitária que envolve processos simultâneos de transferência de calor e massa para remover a umidade de uma matriz sólida (LIU; LEE, 2015). A secagem térmica é responsável por 10 a 20% do consumo de energia industrial nas economias desenvolvidas do mundo (LEE; JANGAM; MUJUMDAR, 2013).

Como atividade econômica, a secagem é um processo artificial e mecânico destinado a remover o excesso de água, levando o produto a um padrão exigido por cada espécie com a responsabilidade de não alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas, mantendo a qualidade das sementes desenvolvidas durante os estádios de campo (AMARAL; DALPASQUALE, 2000).

A secagem de sementes é um processo recomendado para manter sua qualidade durante o armazenamento, para antecipar a colheita, e obter uma semente de melhor qualidade fisiológica. Assim, quando a colheita ocorre com teor de água superior a 12% em base úmida, a secagem deve ser realizada para ter armazenamento seguro, o que evita principalmente o desenvolvimento de fungos e pragas no ambiente de armazenamento (FARIA et al., 2019).

No Brasil, a produção de sementes de milho é caracterizada pela alta qualidade de seus produtos. Isso pode ser parcialmente atribuído ao momento da colheita das sementes, que ocorre próximo ao estágio de maturidade fisiológica, o que minimiza o efeito deletério do armazenamento no campo (VERGARA et al., 2018).

Em sementes ortodoxas, em estádios tolerantes à dessecação, a água do tipo 2 (22 até 8% de teor de água, dependendo da espécie) ou até mesmo parte da água do tipo 1, podem ser retiradas, sendo que as sementes podem sobreviver por períodos prolongados nesta condição e neste caso toleram temperaturas mais altas de secagem. Contudo, já água dos tipos 4 ou 3 (40 a 23% de teor de água) para serem removidas não há necessidade de elevar muito a temperatura

e os danos podem ser altamente significativos se a taxa de secagem for muito elevada (MARCOS FILHO, 2015).

A secagem ocorre pela transferência de calor e de massa, a por meio de uma aplicação de fonte de calor (RESENDE et al., 2012). Tal prática contribui diretamente na preservação da qualidade fisiológica durante a armazenagem, visto que a deterioração por excesso de umidade representa um dos principais problemas na qualidade de pós-colheita de sementes (FRANÇANETO et al., 2007). Pois, quanto menor for o teor de água nas sementes menor será a atividade metabólica e dos microrganismos (BERBERT et al., 2008).

A secagem tem influência na gestão de movimentação da produção das sementes reduzindo custos relacionados à embalagem, manipulação, transporte e armazenamento devido à redução do peso e volume de sementes (JUNQUEIRA; MORABITO, 2012). E, sobretudo, a secagem é essencial para minimizar alterações físico-químicas das sementes, que é o que se busca para o armazenamento seguro destas, ao suprimir as possíveis deteriorações por bactérias, fungos e insetos, além de reduzir a respiração dos grãos (SILVA; MOSSINI JUNIOR; DALLACORT, 2017).

Sabe-se que as propriedades físicas, químicas e biológicas das sementes são alteradas no processo, porém é necessário realizar a secagem de forma que ocorram apenas as alterações essenciais para a germinação e que estas alterações sejam as mais naturais e menos prejudiciais possíveis. Segundo Oliva et al. (2012), a escolha do método de secagem a que as sementes serão submetidas depende da espécie, da estrutura e equipamentos disponíveis, do volume de sementes e dos mecanismos que possam reduzir os custos operacionais, diminuir o tempo de secagem e a energia consumida.

Na secagem artificial por meio de ventilação forçada o ar é movimentado mecanicamente com o uso de ventiladores tendo a capacidade em operar tanto em baixas quanto em altas temperaturas (FARIA et al., 2012). Usualmente para a produção de sementes de milho o processo de secagem mais utilizado é o de alta temperatura, porém controlada a certos limites para não comprometer a qualidade final das sementes.

Baseado na capacidade do ar fornecer calor e na necessidade de aumentar a temperatura do ar, a secagem com altas temperaturas consiste em aquecer o ar a temperaturas iguais ou superiores a 8 a 10 °C acima da temperatura ambiente, já a secagem com baixa temperatura, utiliza-se o ar natural ou aquecido, que varia de 1 a 8°C acima da temperatura ambiente (GARCIA et al, 2004).

Em se tratando de sementes, que se busca a máxima qualidade fisiológica colhendo o material com elevado conteúdo de água o mais próximo possível da maturidade fisiológica, a

secagem tem papel importante na manutenção da qualidade fisiológica e obtenção de níveis seguros de umidade para armazenamento. A operação de secagem pode ser mais rápida ou mais lenta, dependendo dos seguintes fatores: tipo de reserva das sementes, teor de água inicial e final das sementes; localização da maior parte de água a ser removida se interna ou superficial; avanço da frente de secagem interna na semente, temperatura do ar, umidade relativa do ar e capacidade de ventilação.

O avanço de umidade em se tratando de secagem, também chamado de dessorção, será de dentro para fora, podendo ocorrer no sentido inverso, ou seja, de fora para dentro no caso do umedecimento, chamado de adsorção. Estes processos são dependentes da pressão de vapor de água no ar e no produto, isto se deve a propriedade higroscópica das sementes. É a característica higroscópica que confere as sementes à propriedade de ganhar umidade e a de ceder ou perder umidade para o ar (ELIAS et al., 2009).

#### **2.4 Secagem de sementes de milho em espiga**

O milho sempre possui alto teor de umidade na colheita, e as sementes precisam ser secadas para um estado seguro (abaixo de 13% em base úmida) correspondendo à estabilização bioquímica (XIE et al., 2020).

O sistema de secagem estacionário e artificial, consiste na exposição direta de ar quente no material que é disposto em câmaras. O ambiente possui pressão e temperatura controlada por meio de secadores e ventiladores que garantem fluxo de ar, conseqüentemente, que retira a umidade relativa que é transportada pelo ar seco. O sistema é considerado mais eficiente para produção de sementes de milho colhidas em espiga, pois garante maior controle e menor impacto direto à qualidade fisiológica do material e permite o gerenciamento da secagem conforme curva psicrométrica (MOSSINI JUNIOR, 2013).

Uma característica da secagem estacionária é a frente de secagem, que é a camada de sementes onde mais efetivamente se verifica a passagem de água das sementes para o ar. A região anterior a frente à secagem, à temperatura é maior e as sementes estão secas e, na região posterior, o processo é totalmente ao inverso, a temperatura é baixa e as sementes permanecem úmidas (VILLELA; SILVA, 1992). Entretanto Garcia (2004), determina que a secagem estacionária é caracterizada pela não movimentação das sementes em câmaras de secagem, permanentes a introduzir o fluxo de ar aquecido insuflados por um ventilador axial que atravessa sobre uma massa de sementes que permanecem em repouso.



Para evitar o armazenamento no campo, o milho em espiga é colhido com alta umidade (entre 30 a 40%), tornando-se necessária a secagem artificial. Utilizam-se secadores especiais, geralmente de alvenaria, com vários compartimentos, onde as espigas de milho, após despalha e seleção, são colocadas. Os compartimentos variam em tamanho, dependendo da necessidade de secagem; entretanto, a altura da camada de sementes pode atingir 4 m. Isso é possível porque a espiga oferece baixa resistência à passagem do ar.

No carregamento dos compartimentos do secador que possuem fundo falso perfurado, deve-se ter o cuidado de não debulhar muito as sementes, nem permitir muitas impurezas, como palha e ponta de sabugo, os quais irão preencher os espaços vazios entre as espigas, aumentando a resistência à passagem do ar, ou seja, aumentando a pressão estática.

Durante a fase inicial de secagem, os embriões secam muito lentamente na espiga, mais rapidamente em sementes a granel, esse pode ser um fator importante para explicar a suscetibilidade à secagem de sementes a granel a maiores injúrias (HERTER; BURRIS, 1989). No entanto, o alto custo da eletricidade, principalmente nos horários de pico, o tamanho elevado para as instalações necessárias e o longo tempo de secagem de sementes de milho, colhidas em espiga, tornam a operação onerosa para as empresas de sementes.

## **2.5 Fatores que influenciam na qualidade das sementes durante a secagem**

Diversos fatores podem estar correlacionados com a qualidade das sementes, dentre estes, as condições de secagem: temperatura, tempo de exposição às altas temperaturas, volume e pressão estática do ar de secagem, taxa de secagem, umidade relativa e método de secagem. O conteúdo de água inicial e final das sementes são os parâmetros que podem estar associados à perda de qualidade das sementes durante o processo de secagem (CAVARIANI, 1996).

Condições inadequadas podem levar a redução da germinação, com efeitos cumulativos de exposição das sementes a combinação de alta temperatura e elevado teor de água inicial. Estes dois fatores são administráveis durante o processo de secagem das sementes, mostrando grande importância no processo de obtenção de sementes de milho de alta qualidade (NAVRATIL; BURRIS 1984).

### **2.5.1 Temperatura do ar de secagem**

A temperatura do ar de secagem é o parâmetro de maior flexibilidade em um sistema de secagem em altas temperaturas, pois de acordo com Zuchi et al. (2009) a temperatura interfere

na taxa e na eficiência de secagem e principalmente na qualidade das sementes, e ainda no maior consumo de energia. Para secagem de milho em espigas, a temperatura do ar de secagem deve variar entre 40 e 45 °C. Este limite não deve ser ultrapassado para não comprometer a qualidade fisiológica das sementes (AMARAL; DALPASQUALE, 2000).

O processo de secagem pode ser realizado de diversas maneiras, porém, requer atenção, no que diz respeito às temperaturas (MENEZES et al., 2012). Temperaturas elevadas combinadas com longos tempos de exposição e métodos de secagem inapropriados, danificam membranas celulares e desnaturam proteínas, bem como causam fissuras. Tais danos acarretam redução na qualidade física e fisiológica das sementes, seja logo após a secagem, efeito imediato, ou durante o armazenamento, efeito latente (VILLELA; PESKE 2003).

O monitoramento da temperatura atingida pelas sementes é importante para a prevenção de danos, principalmente aqueles causados no embrião, pelo fato da temperatura do ar de secagem o danificar, por consequência, reduzindo a germinação (SCHUH et al., 2013). Com relação à secagem existem dois tipos de temperaturas: a temperatura da massa das sementes e a temperatura do ar de secagem. Sementes de milho apresentam redução gradativa da sensibilidade à perda de água após a maturidade e, quando submetidas a uma secagem prévia em baixa temperatura, adquirem tolerância à secagem a altas temperaturas (HERTER; BURRIS, 1989; ROSA, 2000). Com indução de tolerância à alta temperatura, em decorrência da ativação de mecanismos de defesa contra os efeitos danosos da retirada de água, como observados por Chen e Burris (1991).

De acordo com Rosa et al. (2005), a tolerância à alta temperatura de secagem em sementes de milho está associada à atividade da enzima catalase e ao aumento da expressão de proteínas resistentes ao calor. Sementes de milho que apresentam estrutura do pericarpo mais densa, formada por células mais compactadas, são mais sensíveis à alta temperatura de secagem (JOSÉ et al., 2005). Por sua vez, o processo de secagem também contribui para o aumento de sementes quebrados, uma vez que as elevadas temperaturas do ar de secagem, são promotoras de trincas (Jorge et al., 2005). Uma maior concentração de açúcares confere uma maior proteção aos embriões contra os danos de secagem à alta temperatura. Isso foi evidente entre as sementes de milho híbridas tolerantes à alta temperatura de secagem (JOSÉ et al., 2006).

### **2.5.2 Teor de água inicial nas sementes**

O teor de água das sementes representa a média de concentração desta, embora existam variações entre as diversas estruturas da semente (MCDONALD *et al.*, 1994). Para Welch e

Delouche (1967), o elevado conteúdo de água nas sementes no início da secagem, é provavelmente, a principal causa da perda de viabilidade e vigor. Em um estudo realizado por Carter e Poneleit (1973), foi observado que dependendo do genótipo, o conteúdo de água na maturidade fisiológica em sementes de milho, pode variar entre 28 a 42%.

Sementes de milho, colhidas com 40% de conteúdo de água são normalmente intolerantes a altas temperaturas de secagem (PERDOMO; BURRIS 1998). Resultados semelhantes foram encontrados por Chen & Burris (1991). Os autores determinaram que as sementes de milho colhidas com teor de água acima de 40% são intolerantes à temperatura de secagem superior a 45 °C. Para Herter e Burris (1989) além do conteúdo de água, o estágio de maturação desempenha um papel importante para a sensibilidade das sementes à temperatura de secagem, sendo que a progressiva perda do teor de água ainda no campo torna as sementes de milho mais tolerantes a temperaturas de secagem acima de 40 °C.

Este elevado conteúdo de água das sementes no momento da colheita deve ser levado em consideração, pois o período compreendido entre a colheita e a secagem contribui para acelerar o processo de deterioração (AFZAL et al., 2020). Devido à elevada atividade metabólica que, além de consumir parte das substâncias de reserva, libera energia e água, dando condições favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos (VILLELA; PESKE, 2003). Então essa etapa entre colheita e início da secagem das sementes deve ser realizado o mais rápido possível, para se evitar degradação acentuada em sementes com elevado teor de água (CARVALHO et al., 2019)

O alto teor de água, com que as sementes de milho em espiga são colhidas, faz com que a secagem seja imprescindível para reduzir este teor ao adequado para o armazenamento, pois, segundo Carvalho e Nakagawa (2000), elevado conteúdo de água, durante o armazenamento, é uma das principais causas da perda do poder germinativo e do vigor das sementes. Sabe-se que o entendimento sobre as mudanças que ocorrem nas sementes durante os diferentes estágios de desenvolvimento quando ocorre perda de água, é importante para a escolha da metodologia que deve ser utilizada no processo de secagem de sementes colhidas com alto teor de água, como as de milho colhidas em espiga, com a perda progressiva de água, as sementes tornam-se tolerantes a altas temperaturas, indica que ambas ocorrem simultaneamente (ROSA et al., 2000).

A secagem contínua a 50°C de sementes de milho, colhidas com teor de água de 42,3%, resultou em consideráveis danos. No entanto, à medida que as sementes foram submetidas aos períodos crescentes de secagem a 35°C, processo de indução de tolerância à temperatura de

50°C, os danos causados pela alta temperatura diminuiram gradativamente até que as sementes atingiram seu melhor desempenho fisiológico, (ROSA et al., 2005).

Observa-se que quanto maior o teor de umidade na colheita, maior a ocorrência de danos considerados graves. Essa alta ocorrência de danos mecânicos é ocasionada principalmente nas etapas de descascamento e debulha, uma vez que sementes com alto teor de umidade são mais suscetíveis a danos mecânicos. (FERREIRA et al., 2013)

### **2.5.3 Taxa de secagem**

Taxa de secagem é a relação da velocidade de evaporação da água da semente com a velocidade de movimentação da água do seu interior para a superfície. O deslocamento da água do interior para a superfície depende, fundamentalmente, da umidade do ar, da temperatura e do fluxo de ar utilizado na secagem. A taxa de secagem é também influenciada pela espessura e permeabilidade do pericarpo, pelo genótipo, pelo estágio de maturação da semente e pelo teor de água da semente (VON PINHO, 1998).

A umidade inicial é determinada para estabelecer as condições de processamento, secagem, armazenagem e comercialização dos produtos agrícolas (MILMAN, 2002). Outra característica fundamental que a umidade inicial influencia é na taxa de secagem, sendo que quanto maior for a umidade de um produto, maior será a quantidade de água evaporada por unidade de energia. Segundo Dias et al. (2005), essa característica ocorre por motivos que os altos valores de umidade, as forças de adsorção da estrutura celular do material sobre as moléculas de água são menores, diferente de quando esses produtos se encontram com umidades baixas.

O fluxo de ar deve ser suficiente para não se tornar saturado antes de sair da massa de sementes, podendo ser elevado até que seja capaz de absorver toda a água evaporada das sementes. A partir desse ponto, a movimentação da água, do interior para a superfície das sementes, torna-se o principal fator a influenciar o tempo de secagem (NEVES et al., 2005).

O teor de água no qual a taxa de secagem passa de constante para decrescente é chamado de teor crítico de água, cujo valor depende das características do sólido, tais como tamanho, forma e das condições de secagem. Durante o período de secagem a uma taxa decrescente não se pode mais considerar que exista um filme de água cobrindo o sólido, porque a resistência interna ao transporte de umidade torna-se maior do que a resistência externa. À medida que o teor de água diminui além do ponto crítico, a força motriz do processo de secagem, também

diminui porque a pressão de vapor à temperatura de bulbo seco na superfície do produto, torna-se inferior à pressão de vapor de saturação à temperatura de bulbo úmido. Consequentemente, há também uma redução na taxa de secagem. Além disso, há a formação de um gradiente de umidade no interior do produto e a temperatura deste aumenta acima da temperatura de bulbo molhado, tendendo à temperatura do ar de secagem (MATA et al., 1999).

Destes dois períodos de secagem, a secagem de sementes praticamente só ocorre em período com taxa de secagem decrescente, principalmente nas condições de produção de sementes comerciais. A taxa de secagem de sementes de milho não pode ser muito elevada para não as comprometer, linhagens tolerantes a altas temperaturas de secagem podem proporcionar redução no tempo de secagem, uma etapa crítica no sistema de produção de sementes de milho (JOSÉ et al., 2004).

Para Neves et al. 2005 a velocidade mínima de secagem de milho em espiga, com grau de umidade superior a 25%, deve ser de 0,2 pontos percentuais por hora. Ao se correlacionar a taxa de secagem com a viabilidade de sementes de milho necessitou-se de 3,98 a 4,09 h para a retirada de um ponto percentual do teor de água das sementes, mantendo sua qualidade fisiológica (SCHUH et al., 2013).

#### **2.5.4 Umidade relativa do ar no processo de secagem**

A secagem é feita para inibir a germinação de sementes, reduzir o teor de umidade a um nível que desfavoreça o crescimento de fungos e evitar reações de deterioração. Entende-se a secagem como método universal de conservação de sementes, removendo a água até um nível que permita seu equilíbrio com o ambiente, de tal forma que preserve sua aparência, características, o que inclui sua qualidade fisiológica no que tange e a viabilidade e longevidade (BAQUERO; RODRÍGUEZ, 2017).

A umidade relativa do ar de secagem deve ser monitorada de forma a saber o teor de água adequado do produto para armazenagem, devido ao equilíbrio que a umidade relativa e a umidade do produto tendem a atingir (SANTOS et al., 2020). Esse equilíbrio higroscópico é um fenômeno que deve ser dada atenção, pois, poderá necessitar de nova secagem devido à elevação da umidade das sementes com o aumento da umidade ambiente, e caso a umidade relativa esteja muito baixa o produto perderá água para o ambiente, ocasionando umidades inferiores as desejadas, e danos por dessecação (DIAS et al., 2005).

A condição de secagem também é vital para manter a qualidade da semente. De acordo com Menezes et al. (2012), o aumento nas temperaturas de secagem resulta em aumento na

percentagem de sementes com fissuras, que, associado a outros efeitos de secagem, afetam, negativamente, a germinação. O aumento da temperatura do ar atmosférico faz aumentar o valor da pressão de vapor d'água saturado, e como a umidade relativa é a relação entre a pressão de vapor d'água e a pressão de vapor d'água saturado, tem-se que o aumento da temperatura do ar faz diminuir a umidade relativa e vice-versa se considerarmos que não haja a inserção de vapor d'água no ar atmosférico (MORAES 2011).

Além da vantagem da secagem em que dois fatores são controlados, como a temperatura e a umidade relativa do ar, pode-se em teoria economizar custos de energia. Isso ocorre porque após a secagem das sementes a 18% de umidade reativa em base úmida, a superfície da semente fica seca. No teor de umidade  $\leq 18\%$ , embora a alta temperatura e velocidade do ar de secagem sejam aplicadas, a taxa de secagem permanece baixa devido à dureza da superfície da semente e à limitação da difusividade da umidade das sementes. A baixa umidade do ar faz a diferença na pressão de vapor do material, aumentando assim a taxa de secagem (SUSILO et al., 2020). Portanto pode levar a uma maior eficiência de secagem do que a secagem de um único controle, a temperatura, como benefício da secagem com o tempo de secagem mais curto (JITTANIT, SRZEDNICKI, DRISCOLL, 2010), além de possíveis economias energéticas dependendo das condições do ar externo ao secador.

## **2.6 Perda de umidade das espigas de milho por aquecimento**

A secagem é uma operação complexa envolvendo transferência simultânea de calor e massa, juntamente com as variações de processos do material, tais como transformações físicas ou químicas, que, por sua vez, podem causar mudanças na qualidade do material, assim como nos mecanismos de transferência de calor e massa (MUJUMDAR, 2006). Em geral, a secagem é feita por técnicas térmicas e, portanto, envolve a aplicação de calor, geralmente por convecção a partir de uma corrente de ar (McMINN; MAGEE, 1999).

A secagem de sementes em espiga por aquecimento baseia-se no ganho de entalpia e manutenção da razão de mistura do ar, pois a umidade relativa do ar diminui e a pressão de vapor do ar, proporciona um gradiente mais elevado da semente para o meio externo, elevando a taxa de secagem (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). O material absorve calor do ar quente, o que provê o calor latente necessário para evaporar a água da superfície (PARK; YADO; BROD, 2001). A temperatura do ar, medida por um termômetro, é chamada de temperatura de bulbo seco. Se o bulbo do termômetro for coberto por um tecido molhado, é retirado calor por evaporação da água no tecido e a temperatura cai. Essa temperatura mais baixa é chamada de

temperatura de bulbo úmido. A diferença entre essas duas temperaturas é utilizada para encontrar a umidade relativa do ar, normalmente recorre-se às cartas psicrométricas (MATA; DANTAS; BRAGA, 1999).

Um aumento na temperatura do ar ou uma redução na UR faz com que a água evapore mais rapidamente de uma superfície molhada, portanto, provoca uma queda maior na temperatura. O ponto de orvalho é a temperatura na qual o ar se torna saturado de água (UR 100%) e qualquer resfriamento além desse ponto resulta na condensação da água do ar (FELLOWS, 2006; MUJUMDAR, 2006). Outro fator que controla a taxa de secagem, além da umidade e temperatura do ar, é a velocidade do ar de secagem. Quando o ar quente é soprado sobre a massa de espigas, o vapor de água se difunde através da camada limite de ar ao redor do material e é levado pelo ar em movimento (MUJUMDAR, 2006). Essa energia será utilizada para acelerar o processo de evaporação da água e aumentar a taxa de secagem (WERNCKE, 2020).

Quanto maior o aquecimento menor será a umidade relativa do ar, maior a entalpia e a razão de mistura permanecerão constantes. A razão de mistura só será modificada se houver um processo de retirada ou adição de água. Deve-se atentar para os limites práticos de aquecimento, em relação a danos nas sementes e taxa de retirada de água, pois podem acarretar danos à parte física e, principalmente, fisiológica da semente. A temperatura máxima está relacionada ao modelo de secador, fluxo do ar, umidade da semente, tempo de exposição e temperatura da semente (VILLELA; PESKE, 2003). A temperatura da semente não será necessariamente a mesma do ar de secagem, pois no processo de secagem a vaporização da água é um processo endotérmico e a semente resfria o ar de secagem com a elevação da razão de mistura.

O processo de secagem pode ocorrer de forma natural sem o aquecimento do ar, desde que este esteja com características de secagem (pressão de vapor do ar menor que a pressão de vapor da semente), porém com taxa de secagem menor. Esse processo pode conferir qualidade maior, desde que as condições climáticas favoreçam a secagem em tempo hábil (CAMICIA et al., 2015). Devido ao sabugo ter grau de umidade de pelo menos 10% superior ao das sementes, o tempo de secagem em espigas é cerca de três vezes maior ao de sementes debulhadas (BAKER; PAULSEN; ZWEDEN et al., 1991).

Assim, resumidamente, para secar as sementes de milho em espiga com sucesso, o ar de secagem deve ter temperatura de bulbo seco moderadamente alta, baixa umidade relativa e alta velocidade do ar (FELLOWS, 2006).

Não foram encontrados na literatura trabalhos com controle da umidade relativa do ar de secagem de sementes de milho. No Brasil, a tecnologia do *heat pipe*, o HPT, foi inicialmente aplicado na secagem de sementes de amendoim por Krzyzanowski, West e Franca Neto (2006a), bem como na soja por Krzyzanowski, West e Franca Neto (2006b); Levien, Baudet, Peske et al., (2008 ); e Avelar et al., (2011). Esses autores utilizaram ar desumidificado por resfriamento para secar as sementes e constataram redução no tempo de secagem e maior manutenção da qualidade fisiológica das sementes.



### 3 REFERÊNCIAS

AFZAL, I. et al. Harvesting and post-harvest management approaches for preserving cottonseed quality. **Industrial Crops and Products**, v. 155, p. 112842, 2020.

AMARAL, D.; DALPASQUALE, V. A. Technical and economic viability of a system of drying soyabeans with ambient air. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 25, n. 2, p. 51-57, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. **Anuário 2016**. Brasília: ABRASEM, 128 p., 2017.

AVELAR, S. A. G. Secagem estacionária de sementes de soja com ar desumidificado por resfriamento. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n. 3, p. 454-462, 2011.

BAKER, K. D.; PAULSEN, M. R.; ZWEDEN, J. van; Hybrid and drying rate effects on seed corn viability. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.34, n.2, p. 499-506, 1991.

BERBET, R.P.; HAMAWAKI, O.T. **Análise da plasticidade da cultura de soja em diferentes arranjos populacionais e diferentes espaçamentos entre linhas**. UFU - Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

BONNY, S. Corporate concentration and technological change in the global seed industry. **Sustainability**, v. 9, p. 9, 2017.

CAMICIA, R. G. M. et al. Modelagem do processo de secagem de sementes de feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 206-214, 2015.

CARVALHO, E. R. et al. Temperatures and periods of drying delay and quality of corn seeds harvested on the ears. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 3, p. 336-343, 2019.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Campinas: Fundação Cargill, 2000. 588p.

CARTER, M. W.; PONELEIT, C. G. Black Layer Maturity and Filling Period Variation Among Inbred Lines of Corn (*Zea mays* L.) 1. **Crop Science**, v. 13, n. 4, p. 436-439, 1973.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar**. 1996. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CHEN, Y.; J.S. BURRIS. Desiccation tolerance in maturing maize seed: Membrane phospholipid composition and thermal properties. **Crop Science**, v. 31, p. 766–770, 1991.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Compêndio de estudos da Conab**. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab>>.

COSTA, L. M. et al. Qualidade fisiológica das sementes de crambe submetidas a diferentes condições de secagem. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 60, n. 3, p. 235-240, jul./set. 2017

- DIAS, D.C.F.S. Dormência em sementes: mecanismo de sobrevivência das espécies. **Seed News**, v.9, n.4, p.24-28, 2005.
- DI DOMENICO, A. S. et al. Análise de trilha da contaminação por aflatoxinas em grãos de milho armazenados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 6, p. 441-449, 2015.
- ELIAS, M. C. et al. Umidade de colheita, métodos de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de grãos de trigo (cv. 'Embrapa 16'). **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 25-30, 2009.
- FARIA, Rute Q. de et al. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 573-583, 2012.
- FARIA, R. Q. et al. Optimization of the process of drying of corn seeds with the use of microwaves, **Drying Technology**, v. 38, n. 5, p. 676-684, 2020.
- FEITOSA, B. E. S. et al. Sanidade e germinação de sementes de variedades crioulas de milho armazenadas por agricultores familiares no município de Belterra-Pará. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.
- FERREIRA, V. F. et al. Qualidade de sementes de milho colhidas e despalhadas com altos teores de água. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 3, p. 276-283, 2013.
- FRANÇA-NETO, J. B. **Tecnologia para produção de sementes de soja de alta qualidade Série Sementes**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 12p, 2007.
- GAFFNEY, J. et al. Avaliação em escala industrial de híbridos de milho selecionados para aumento da produtividade em condições de estresse hídrico da faixa de milho dos EUA. **Crop Science**, v. 55, p. 1608-1618, 2015.
- GALINDO, F. S. et al. Teor de água nos grãos, em ocasião de colheita nas perdas ocorridas no milho. **Revista Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.26, n.4, p.671-682, 2017.
- GALVÃO, Sarah Rodrigues. **Enfezamentos do milho: incidência do fitoplasma e espiroplasma, dinâmica populacional, expressão de sintomas e caracterização molecular do fitoplasma com base no gene SecY**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- GARCIA, D. C. et al. A secagem de sementes. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 603-608, 2004.
- GENG, J. H. et al. Effect of pollen of regular cotton and transgenic Bt-CpTI cotton on the survival and reproduction of the parasitoid wasp *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in the laboratory. **Environmental Entomology**, College Park, v. 35, n. 6, p. 1661-1668, 2006.

HERTER, U. BURRIS, J.S. Changes in moisture, temperature, and quality of corn seed during high-temperature drying, *Can. J. Plant Sci.*, v. 69, p. 749-761, 1989.

JACOB JUNIOR, E. A. et al. Ideal seeds harvest moment of different maize hybrids. *Ciencia Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 2, p. 253-260, 2014.

JITTANIT, W.; SRZEDNICKI, G.; DRISCOLL, R. Corn, rice, and wheat seed drying by two-stage concept. *Drying Technology*, v. 28, n. 6, p. 807-815, 2010.

JORGE, M. H. A. et al. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho colhidas e secas em espigas. *Bragantia*, v.64, n.4, p.679-686, 2005.

JOSE, S. C. B. R. et al. Açúcares e tolerância à alta temperatura de secagem em sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes*, Pelotas, v. 28, n. 2, pág. 60-68, 2006.

JOSE, S. C. B. R. et al. Características físicas do pericarpo de sementes de milho associadas com a tolerância a alta temperatura de secagem. *Revista Brasileira de Sementes*, Pelotas, v. 27, n.1, p. 125-131, 2005.

JOSE, S. C. B. R. et al. Padrões eletroforéticos da enzima alfa-amilase em sementes de milho submetidas a alta temperatura de secagem. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 26, n. 1, p. 77-83, 2004.

JUNQUEIRA, R. A. R.; MORABITO, R. Production and logistics planning considering circulation taxes in a multi-plant seed corn company. *Computers and electronics in agriculture*, v. 84, p. 100-110, 2012.

KRZYZANOWSKI FC, WEST SH, FRANCA NETO JB. Secagem de sementes de amendoim com ar em temperatura ambiente e baixa umidade relativa. *Revista brasileira de sementes*, v. 28, n. 3, p. 1-5, 2006a.

KRZYZANOWSKI FC, WEST SH, FRANCA NETO JB Secagem de sementes de soja usando ar à temperatura ambiente e baixa umidade relativa. *Revista brasileira de sementes*, v. 28, n. 2, p. 77-83, 2006b.

LEE, D.J.; JANGAM, S.; MUJUMDAR, A.S. Some recent advances in drying technologies to produce particulate solids. *Powder and Particle Journal*, v. 30, n. 1, p. 69–83, 2013.

LEVIEN A., BAUDET L., PESKE S. Secagem estacionária de sementes de soja usando ar de secagem de diferentes umidades relativas. *Seed Science and Technology*, v. 36, n. 1, p. 148-156, 2008.

LIU, X.; LEE, D. Some Recent Research and Development in Drying Technologies: Product Perspective, *Drying Technology*, v. 33, n. 11, p. 1339-1349, 2015.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*, v.72, n.4, p.363- 374, 2015.

- MARQUES, O. J. et al. Danos mecânicos em grãos de híbridos comerciais de milho em função da umidade de colheita. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 565-576, 2011.
- MATA, M. E. R. M. C.; DANTAS, L. A.; BRAGA, M. E. D. Programa computacional para simulação de secagem de grãos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.1, n.1, p.33-50, 1999.g
- MATTOS, F. L.; SILVEIRA, R. L. F. The Expansion of the Brazilian Winter Corn Crop and Its Impact on Price Transmission. **Int. J. Financial Stud.** v. 6, p. 45, 2018.
- McDONALD, M.B.; COPELAND, L.O. **Seed Production: Principles and Practices**, Chapman & Hall, New York, 1997
- McMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Principles, methods and applications of the convective drying of foodstuffs. **Food and Bioproducts Processing**, v. 77, n. 3, p. 175-193, 1999.
- MELO, A. L.; CASIMIRO, E. L. N. Emergência do milho submetido a diferentes doses de enraizador a base de molibdênio e potássio. *Revista Cultivando o Saber*. Cascavel, Edição Especial p. 109-116. 2017.
- MENEZES, N. L. et al. Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 430-436, 2012.
- MILMAN, M.J. Equipamentos para pré-processamento de grãos. Pelotas: **Ed. Universitária/UFPel**, 2002. 206p.
- MORAES, Wanderson Bucker. Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 2, 2011.
- MOSSINI Junior, D.J. - **Validação de modelos matemáticos para estimar a temperatura e umidade relativa do ar na análise do potencial de secagem de grãos em municípios de Mato Grosso**. 2013. 57p. Dissertação Pós Graduação. Tangará da Serra, MT: UNEMAT.
- MUJUMDAR, A. S. **Principles, classification, and selection of dryers**. Handbook of industrial drying, v. 3, p. 3-32, 2006.
- NASCIMENTO, W. F. et al. Efeitos da temperatura sobre a soja e milho no Estado de Mato Grosso do Sul. **Investig. Agrar.**, San Lorenzo, v. 20, n. 1, p. 30-37, 2018.
- NAVRATIL, R.J., BURRIS, J.S. Small-scale dryer design. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 159-161, 1984.
- NGOUNE TANDZI, L.; MUTENGWA, C. S. Estimation of maize (*Zea mays* L.) yield per harvest area: appropriate methods. **Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 29, 2020.
- NEVES, E. et al. Secagem de sementes de milho em espiga, em função da altura da camada e fluxo de ar. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 117-124, 2005.

- OLIVA, A. C. E.; BIAGGIONI, M. A. M.; CAVARIANI, C. Efeito imediato do método de secagem na qualidade de sementes de crambe. **Revista Energia na Agricultura**, v.27, p.16-30, 2012.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.
- PARVEJ, M. R. et al. Dynamics of corn dry matter content and grain quality after physiological maturity. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 2, p. 998-1011, 2020.
- PERDOMO, A.; BURRIS, J. S. Histochemical, physiological, and ultrastructural changes in the maize embryo during artificial drying. **Crop science**, v. 38, n. 5, p. 1236-1244, 1998.
- PERFEITO, Danielle Godinho de Araújo et al. Caracterização pós-colheita de milho doce submetido ao parcelamento de fertirrigação nitrogenada. *Braz. J. Food Technol.*, Campinas, v. 20, 2017.
- RESENDE, O.; et al. Adzuki beans (*Vigna angularis*) seed quality under several drying conditions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, n. 1, p. 151-155, 2012
- ROSA, S. D. V. F. et al. Qualidade fisiológica e atividade enzimática em sementes de milho submetidas a secagem artificial. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 177-184, 2000.
- ROSA, S. D. V. F. et al. Enzimas removedoras de radicais livres e proteínas lea associadas à tolerância de sementes milho à alta temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 91-101, 2005.
- SANTOS, S. G. F. Isotermas de adsorção e calor latente de vaporização de grãos de milho. **Científica**, Jaboticabal, v.48, n.1, p.17-24, 2020.
- SANTOS, W. O. et al. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n.4, p. 559-572, outubro-dezembro, 2014
- SCHUH, G. C. et al. Secagem de linhagens de milho colhido em espiga para seleção de plantas-mãe na produção de sementes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, núm. 1, p. 8-14, 2013.
- SILVA, F. S.; MOSSINI JUNIOR, D.; DALLACORT, R. Análise das condições climáticas de municípios do estado de Mato Grosso, para secagem de grãos com ar ambiente. **Global Science and Technology**, v. 10, n. 2, 2018.
- SUSILO, B. et al. Performance of Drying Machine with Air Dehumidifying Process for Sweet Corn Seed (*Zea mays saccharata*). In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012008.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain: World Markets and Trade; Production, Supply and Distribution (PSD) on line.** 2020

VERGARA, R. O. et al. Períodos de intermitência no processo de secagem de sementes de milho. **J. Seed Sci.**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 193-198, 2018.

VILLELA, F. A.; PESKE, S. T. Secagem de sementes. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos.** Pelotas: UFPel, p. 283-321, 2003.

VILLELA, F. A. SILVA, W. R. Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente. **Scientia agrícola**, v. 49, n. SPE, p. 145-153, 1992.

VON PINHO, EV de R. A secagem de sementes: curso de especialização pós graduação “Lato sensu” por tutoria à distância. **Lavras: UFLA/FAEP**, 1998.

WELCH, G. B.; DELOUCHE, J. C. Seed processing and storage facilities for tropical areas. 2016.

WERNCKE, I. et al. **Qualidade de sementes de milho em função do tipo de secagem, armazenamento e aplicação de ozônio.** UNIOESTE. Cascavel, 2020.

XIE, Y., et al. Radio frequency treatment accelerates drying rates and improves vigor of corn seeds. **Food Chemistry**, v. 319, art. no. 126597, 2020.

ZUCHI, J. et al. Retardamento de colheita, método de secagem e qualidade de sementes de mamona. **Revista brasileira de sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 9-15, 2009.

## **CAPÍTULO 2 – PROCESSO DE SECAGEM DE SEMENTES DE MILHO EM ESPIGA COM CONTROLE DA UMIDADE RELATIVA DO AR**

### **RESUMO**

Novos estudos e sistemas de secagem que também tenham os valores de umidade relativa do ar regulados, além da temperatura, são necessários para aprimorar os processos de secagem e possivelmente favorecer a qualidade das sementes. Assim, os objetivos no presente trabalho foi avaliar processos de secagens de sementes de milho em espiga com distintos controles e parâmetros em função das condições ambientais e taxas de secagens e a relação com a qualidade fisiológica. Foram avaliadas sementes dos híbridos simples BM 709 PRO2 e BM 812 PRO 2 colhidos em safras de inverno e verão, submetidos a dois processos de secagem estacionária: o MT, com controle apenas da temperatura interna, constante entre 38°C e 40°C; MUR, com controle da umidade relativa interna entre 25 e 30%, e temperatura máxima a 40°C. As sementes foram colhidas em espiga com 35% de umidade, despalhadas e foram secadas até 11%, em uma usina de beneficiamento de sementes em Patos de Minas, MG, Brasil, classificação climática Aw. O acompanhamento dos processos de secagem foi feito por meio da taxa de secagem e com as condições psicrométricas ambientais e no secador ao longo da secagem. As sementes foram armazenadas em dois ambientes: em câmara fria e seca a 10°C e 50% UR; em câmara climatizada a 25°C, sem controle de umidade relativa. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada no início do período de armazenamento e aos 4, 8, 12 e 16 meses, com os testes de germinação e teste frio. No inverno, no processo com controle apenas de temperatura máxima (MT) ocorre umidade relativa do ar inadequada no secador, abaixo de 20%. O que prejudica a qualidade fisiológica das sementes de milho. No verão, a metodologia com controle de umidade relativa mínima e temperatura máxima (MUR) propicia taxas de secagem maiores e redução do tempo de secagem, sem prejudicar a qualidade fisiológica das sementes. O controle da umidade relativa do ar nos secadores é essencial para a secagem de sementes de milho.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Psicrometria. Secagem de sementes. Secadores. Qualidade fisiológica.

## ABSTRACT

New studies and drying systems that also have the relative humidity values of the air regulated, in addition to the temperature, are necessary to improve the drying processes and possibly favor the quality of the seeds. Thus, the objectives of the present work were to evaluate drying processes of corn seeds on the cob with different controls and parameters as a function of environmental conditions and drying rates and the relationship with physiological quality. Seeds of the single hybrids BM 709 PRO2 and BM 812 PRO 2 harvested in winter and summer seasons, submitted to two stationary drying processes were evaluated: the MT, with control only of the internal temperature, constant between 38°C and 40°C; MUR, with internal relative humidity control between 25 and 30%, and maximum temperature at 40°C. The seeds were harvested on the cob with 35% moisture, husked and dried to 11%, in a seed processing plant in Patos de Minas, MG, Brazil, climate classification Aw. The monitoring of the drying processes was done through the drying rate and with the psychrometric conditions in the environment and in the dryer during the drying process. The seeds were stored in two environments: in a cold and dry chamber at 10°C and 50% RH; in an acclimatized chamber at 25°C, without relative humidity control. The physiological quality of the seeds was evaluated at the beginning of the storage period and at 4, 8, 12 and 16 months, with germination and cold tests. In winter, in the process with only maximum temperature (MT) control, there is inadequate relative humidity in the dryer, below 20%. What impairs the physiological quality of corn seeds. In summer, the methodology with minimum relative humidity and maximum temperature (MUR) control provides higher drying rates and reduced drying time, without harming the physiological quality of the seeds. Controlling the relative humidity of the air in the dryers is essential for the drying of corn seeds.

**Keywords:** *Zea mays*. Psychrometry. Seed drying. Dryers. Physiological quality.



## 1 INTRODUÇÃO

Na produção de sementes, no processamento pós-colheita a secagem é uma etapa crítica (PEREIRA *et al.*, 2018), principalmente quando a colheita é realizada com elevadas umidades nas sementes. No processo de produção de sementes híbridas de milho é corriqueira a colheita de sementes em espigas entre 30 e 35% de teor de água, em algumas situações até 40% (FERREIRA *et al.*, 2013).

Sementes com elevadas umidades necessitam de cuidados especiais desde a colheita. O transporte das sementes do campo de produção até a unidade de beneficiamento de sementes (UBS), quando em ambiente pouco ventilado e sujeito à forte incidência de raios solares, que podem elevar a temperatura no interior da massa das espigas, tendem a potencializar a deterioração (CARVALHO *et al.*, 2019). Por isso, a secagem das sementes é uma medida que deve ser executada o mais cedo possível. A semente de milho é geralmente colhida na espiga para minimizar os danos mecânicos ao manipular o produto úmido, dentre outras vantagens (KYRPA; STIURKO; BONDAR *et al.*, 2016). A colheita por espiga permite a antecipação da retirada do produto do campo com alto teor de umidade, o que traz a vantagem de ser mais próxima da maturidade fisiológica das sementes e otimiza o planejamento da produção (STEPONAVICIUS *et al.*, 2018).

A secagem de milho em espigas ocorre em secadores estacionários, os quais devem ser corretamente operados, no intuito de evitar a secagem excessiva das camadas inferiores e permitir que a camada superior seque de maneira suficientemente rápida para que não ocorra redução na qualidade das sementes (OLIVEIRA; MARTINS, 2020).

Na secagem, o ar é usado para transportar a umidade das sementes para fora do sistema (EICHOL; PERES, 2008). Ar forçado e quente serve para aquecer as sementes, fazendo com que a umidade interna migre para a superfície externa das sementes e seja evaporada da periferia, para assim diminuir a umidade da massa de sementes que está sendo secada (PERES, 2015).

Vários parâmetros têm influência no tempo necessário para reduzir a umidade das sementes ao nível seguro para armazenamento. Os principais fatores a considerar são: temperatura, umidade relativa e vazão do ar, umidade inicial e final das sementes (FEI; YAN., 2020).

O acompanhamento das propriedades psicrométricas do ar é de suma importância no processo de secagem, por oferecer um delineamento das condições ambientais e auxiliar na tomada de decisão das condições aplicadas no processo (LOPES, SILVA, REZENDE *et al.*,

2000). De acordo com Corrêa et al. (2010), informações sobre o comportamento do fenômeno de transferência de calor e massa entre o material biológico e o elemento de secagem são essenciais para projetos, simulações de operação de secagem, secadores e sistemas de qualidade de sementes.

Durante a secagem, a ocorrência de altas temperaturas pode ser prejudicial para sementes de milho, uma vez que podem afetar a germinação e desenvolvimento das plântulas de milho (DUTRA et al., 2015). José et al. (2004) atribuem maior tolerância à alta temperatura durante a secagem às características do pericarpo ou endosperma da semente. Esse fator é o mais estudado no escopo secagem e qualidade de sementes de milho (JOSÉ et al. 2005; JORGE et al., 2004; ROSA et al. 2004). Assim o controle da temperatura máxima de 40 a 42°C na secagem é comum e importante para sementes de milho (FERREIRA et al., 2013; VERGARA et al., 2018). Porém, sabe-se que além da temperatura a umidade relativa do ar de secagem vai afetar a taxa de secagem, característica também importante quando se trata de qualidade de sementes, Villela e Peske (2003) recomendam que a umidade relativa do ar de secagem seja em torno de 40 a 70%, para a secagem estacionária.

Novos estudos e sistemas de secagem que também considerem os valores de umidade relativa do ar, além da temperatura, são necessários para aprimorar os processos de secagem e favorecer a qualidade das sementes. Assim, os objetivos no presente trabalho foi avaliar processos de secagens de sementes de milho em espiga com distintos controles e parâmetros em função das condições ambientais e taxas de secagens e a relação com a qualidade fisiológica.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizadas sementes de milho dos híbridos BM812 PRO 2 e BM702 PRO 2, cedidas pela empresa Helix Sementes, produzidas no município de Paracatu, MG, Brasil. As sementes foram mecanicamente colhidas em espiga com ponto de umidade médio de 35% b.u., a colheita da safra de inverno foi realizada em setembro e para safra de verão colheita em março.

Os processos de pré limpeza, despalha, seleção, secagem em espiga e debulha, foram feitos em escala industrial na unidade de beneficiamento desta empresa na cidade de Patos de Minas, MG, localizada nas coordenadas geográficas 18°34'46" S e 46°31'6" O. O clima da região é caracterizado, segundo Köppen (1948), como tropical úmido com estação seca no inverno, correspondente à classificação Aw (MARTINS et al., 2018).

A secagem artificial foi realizada em secadores estacionários, em câmaras com 8 metros de comprimento, 5 metros de largura e 4 metros de altura de camada de espigas, totalizando

160 m<sup>3</sup> de espigas de milho. O ar de secagem foi aquecido por troca de calor em um radiador, este por sua vez foi alimentado pelo vapor saturado originado na caldeira. O controle de temperatura e umidade relativa do ar de secagem foi realizado com auxílio de aferidores dentro das câmaras de secagem. Assim que os parâmetros e valores que foram fixados e programados eram atingidos a válvula que exerce a abertura e fechamento do radiador era acionada automaticamente. Os parâmetros fixados foram distintos entre os processos industriais de sementes, conforme descrição subsequente.

O ar aquecido era forçado com vazão de 125m<sup>3</sup>/h por ventiladores em fluxo ascendente para o interior da câmara de secagem até que a camada de baixo da massa de espigas atingisse um grau de umidade de 11% b.u. Posteriormente o fluxo foi invertido para a posição descensional até que a camada superior das espigas alcançassem um teor de água de 11% b.u..

Os processos industriais de secagem testados foram:

*Método de secagem - MT:* apenas controle de temperatura, valores mantidos sempre entre 38°C e 40°C;

*Método de secagem - MUR:* controle de umidade relativa do ar e da temperatura máxima, umidade relativa constante entre 25 e 30%, e controle de temperatura máxima a 40°C.

Posteriormente foi calculada a taxa de secagem, que se refere à massa de água removida por unidade de tempo por unidade de massa de material seco (BERK, 2018). A velocidade com que a água é evaporada foi determinada, a partir da taxa de secagem do produto, de acordo com a seguinte expressão, utilizada para estudos com sementes de milho (XIE et al., 2020):

$$Tx. Sec = (U_{ant} - U_{at}) / \Delta t$$

Em que:

Tx. Sec.: Taxa de secagem (%.h<sup>-1</sup>).

U<sub>ant</sub>: Teor de água no tempo anterior (%).

U<sub>at</sub>: Teor de água atual (%).

Δt: Intervalo de tempo entre as pesagens (h).

O teor de água das sementes foi feito pelo método direto de Brown-Duvel (BROWN; DUVEL, 1907), com a destilação da água contida nas sementes, com o medidor de umidade modelo CA50, Gehaka. Utilizou-se um equipamento que se baseia na remoção da água das sementes pelo aquecimento do material imerso óleo vegetal, que possui temperatura de ebulição superior ao da água. O vapor d'água proveniente das sementes foi condensado, recolhido e medido em uma proveta graduada. Em cada amostragem foram coletadas três repetições, com 10 espigas,

que foram debulhadas manualmente e amostradas porções de 100g de sementes milho para cada repetição. As amostragens durante a secagem foram em intervalos de 12 horas. Foi considerada a massa específica da água igual a  $1\text{g.ml}^{-1}$ . Após atingir a temperatura de  $195^{\circ}\text{C}$ , o valor do teor de água foi considerado igual ao volume medido em mililitros.

Utilizando o *software PSYCHROMETRIC CHART* (MARSH, 2018) foram inseridos os dados correspondentes ao período de cada secagem, da estação meteorológica automática A562, situada em Patos de Minas, cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Em seguida foram gerados gráficos psicrométricos que relacionam as condições ambientais e do processo de ambos os métodos de secagem estudados.

Após o processo de secagem em cada método, as espigas foram debulhadas mecanicamente no próprio sistema de debulha industrial da UBS. A classificação quanto ao tamanho das sementes foi realizada na unidade de beneficiamento de sementes da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, MG. Para fins de padronização dos lotes de sementes de milho, para todos os testes foram utilizadas as sementes retidas na peneira de crivo redondo com diâmetro de 20/64 (Peneira 20).

Em seguida as sementes foram tratadas manualmente. Para tanto, utilizou-se sacos plásticos, onde foram misturados as sementes e os produtos químicos de maneira homogênea. O tratamento foi composto por fungicida Carbendazim + Tiram (Derosal Plus®) e inseticidas Pirimifós metílico (K-obiol®) e Fenitrothion (Sumigran 500 EC®). As sementes foram acondicionadas em caixas de papel contendo 1kg e armazenadas em dois ambientes, câmara fria e seca a  $10^{\circ}\text{C}$  e 50% UR; e em câmara climatizada a  $25^{\circ}\text{C}$ , sem controle de umidade relativa.

Os testes laboratoriais e armazenamento foram conduzidos no Setor de Sementes do Departamento de Agricultura, Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL), da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. A qualidade das sementes foi avaliada no início do período de armazenamento, aos 4, 8, 12 e aos 16 meses, por meio dos testes descritos a seguir:

*Teste de germinação:* realizado utilizando papel germitest umedecido com água equivalente a 2,5 vezes seu peso seco, com quatro repetições de 50 sementes, em germinador a  $25^{\circ}\text{C}$ . Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais aos 7 dias (germinação) (BRASIL, 2009).

*Teste de frio sem solo:* realizado utilizando-se como substrato o papel germitest, com procedimentos semelhantes ao do teste de germinação. Porém, os rolos foram acondicionados em sacos plásticos e mantidos em câmara regulada a  $10^{\circ}\text{C}$ , durante sete dias. Após este período, os rolos foram retirados dos sacos plásticos e acondicionados em germinador regulado para

25°C, durante quatro dias (KRZYŻANOWSKI et al., 1999). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x5 com quatro repetições, sendo: dois processos industriais de secagem das sementes em espiga, dois ambientes de armazenamento e cinco períodos de armazenamento, para cada híbrido e safra, separadamente. Para o híbrido BM709 PRO2 na safra de verão, foram estudados apenas 4 períodos de armazenamento, somente até 12 meses, por questões logísticas e técnicas. Os resultados foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Quando necessário os efeitos quantitativos foram analisados por meio de regressão. Utilizou-se para a análise o programa estatístico R Core Team (2018). Os gráficos foram plotados com o programa gráfico SigmaPlot 14.0.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conhecimento dos termos usados nas psicrometria e no uso da carta psicrométrica é essencial para a compreensão dos processos envolvidos na secagem de sementes, é uma representação gráfica das condições e propriedades do ar, como temperatura, umidade relativa e permite a compreensão e visualização de processos de secagem, principalmente em condições divergentes de ambiente, como inverno e verão, e de tipos de controles de secadores (UTHPALA; NAVARATNE; THIBBOTUWAWA, 2020).

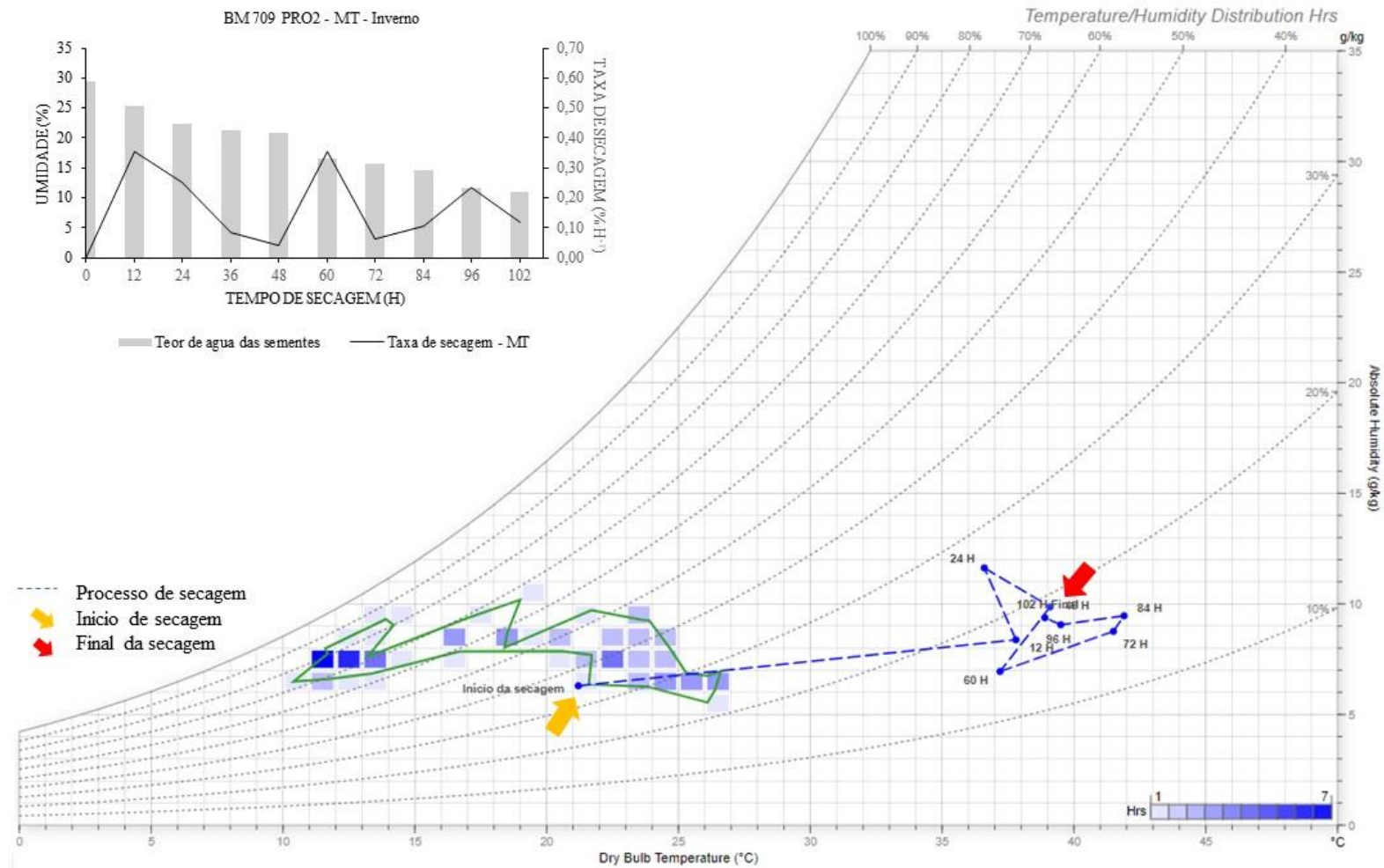
#### **Safra de inverno**

Na safra de inverno, a colheita foi realizada no mês de setembro, final do inverno e início da primavera, para sementes do híbrido BM709 PRO2, a secagem até 11% com a metodologia MT, com controle somente com a temperatura máxima, foi finalizada com 102 horas (FIGURA 1a), e a MUR, controle de temperatura máxima e umidade relativa mínima, com 122 horas (FIGURA 2a). Nessa mesma safra, para sementes do híbrido BM 812 PRO2, os valores entre os tempos de secagem das metodologias foram mais próximos, 132 horas (Figura 3a) e 128 horas (Figura 4a), respectivamente.

Para o híbrido BM 709 PRO2 na condição MT a taxa de secagem média foi de 0,24% por hora. Notou-se uma alta taxa secagem, principal após 60 horas, devido à combinação baixas umidades relativas, abaixo de 20%, e temperatura elevada, próximo a 42°C, a 72 e 84 horas,

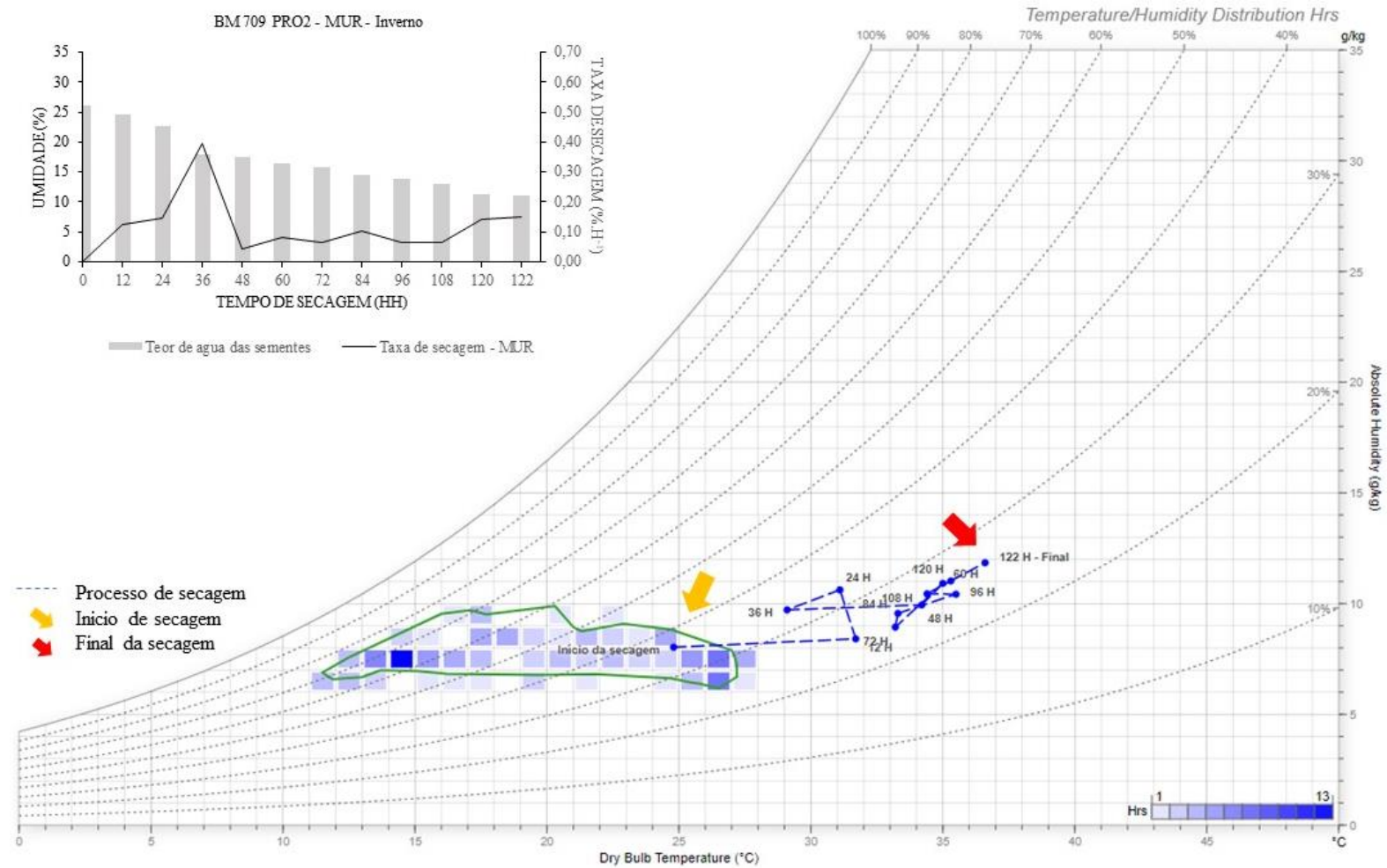
que ocasionou um aumento na velocidade de secagem e uma redução do período de secagem no terço final da secagem (FIGURA 1). Situação diferente da encontrada com o processo MUR para o mesmo híbrido (FIGURA 2), em que nenhum momento a temperatura excedeu 40°C, tão pouco a umidade ficou abaixo de 20%.h<sup>-1</sup>, proporcionando uma secagem mais lenta em 20 horas, com taxa de secagem média de 0,20 %.h<sup>-1</sup>. A velocidade da secagem das sementes pode afetar a qualidade fisiológica das sementes, secagens mais lentas tendem a ser favoráveis em relação à retirada rápida da água (COELHO et al., 2015). Porém cada situação deve ser analisada em função da espécie e umidades iniciais e finais.

Figura 1 Gráfico da taxa de secagem (a) e psicrométrico (b) referente as condições ambientais, com distribuição da umidade relativa e temperaturas ambientais (quadrados em azul) e processo de secagem de sementes em espiga do híbrido BM709 PRO2, com o método de controle de secagem por temperatura do ar (MT), na safra de inverno.



Fonte: Da autora (2021).

Figura 2 Gráfico da taxa de secagem (a) e psicrométrico (b) referente as condições ambientais, com distribuição da umidade relativa e temperaturas ambientais (quadrados em azul) e processo de secagem de sementes em espiga do híbrido BM709 PRO2, com o método de controle de secagem por temperatura e umidade relativa do ar (MUR), na safra de inverno.



Fonte: Da autora (2021).



Temperaturas mais elevadas reduzem o tempo de secagem. O aumento da temperatura diminui a viscosidade da água, o que influencia diretamente no escoamento do fluido. A diminuição da viscosidade facilita a difusão das moléculas de água pelo produto, além de aumentar a energia cinética das moléculas de água, o que também contribui para o aumento da taxa de secagem (CORRÊA et al., 2010). Outro fator que pode ser atribuído ao aumento da taxa de secagem, em função de aumentos na temperatura de bulbo seco, é que esta proporciona um aumento no nível de vibração das moléculas de água, o que também contribui para uma difusão mais rápida (GONELI et al., 2009). Peske e Villela (2012) concluíram que se pode utilizar temperatura do ar de até 40°C na secagem de sementes de milho em espiga, com umidade inicial entre 30-40%, sem afetar negativamente a qualidade fisiológica das sementes.

Outro fator relevante é a umidade relativa do ar, valores muito baixos otimizam a retirada da água, a exemplo do constatado para valores abaixo de 20% na secagem MT (Figura 1). Para a secagem em condições climáticas do final de inverno e início da primavera, o ar ambiente já apresentava baixa umidade relativa (Figura 1b), com a combinação de elevadas temperaturas na secagem pelo método MT, sem controle de UR mínimo, o ar no secador atingiu valores extremos, abaixo de 20%. Com essa combinação as taxas de secagem foram elevadas para secagem em espiga e secador estacionário longitudinal, 0,60 % por hora (Figura 1a). Fato não observado para o método MUR, devido ao controle de umidade relativa mínima. Essa retirada rápida de água, pode ser prejudicial à qualidade das sementes tanto para germinação e vigor, mas também pela ocorrência de fissuras nas sementes (COELHO et al., 2015). Neves et al. 2005 constataram para secagem estacionária de sementes de milho em espiga, empregando ar com umidade relativa entre 40 e 70%, não ocasionou fissuras às sementes de milho.

Com base na análise de variância dos dados do híbrido BM709 PRO 2 na safra de inverno, para a interação tripla: secagem x ambiente de armazenamento x época de armazenamento houve efeito significativo apenas para os resultados do teste de frio.

Na Tabela 1 observa-se que no método de secagem em que a umidade relativa foi controlada (MUR), as sementes apresentaram médias superiores de vigor pelo teste de frio aos 12 e aos 16 meses em ambiente de armazenamento de 10°C, e aos 4 e 16 meses em ambiente de 25°C. Indicando a importância do controle não só da temperatura de secagem, mas também da umidade relativa. Para Medeiros; Pereira e Silva (2018) o teste frio se apresentou mais sensível na diferenciação da qualidade dos lotes de sementes de milho, quando comparado aos demais testes utilizados na caracterização fisiológica.

Tabela 1 – Porcentagem de vigor por meio do teste de frio para sementes de milho híbrido BM709 PRO 2, secadas por diferentes métodos, MT: controle apenas de temperatura e MUR: controle de umidade relativa do ar e temperatura, e armazenadas em diferentes condições de ambiente por 16 meses.

| Secagem | Ambiente 10°C                   |      |      |      |      | Ambiente 25°C                   |      |      |      |      |
|---------|---------------------------------|------|------|------|------|---------------------------------|------|------|------|------|
|         | Épocas de armazenamento (meses) |      |      |      |      | Épocas de armazenamento (meses) |      |      |      |      |
|         | 0                               | 4    | 8    | 12   | 16   | 0                               | 4    | 8    | 12   | 16   |
| MT      | 98 a                            | 88 a | 86 a | 71 b | 72 b | 98 a                            | 78 b | 82 a | 86 a | 77 b |
| MUR     | 98 a                            | 84 a | 89 a | 78 a | 79 a | 98 a                            | 90 a | 86 a | 80 a | 80 a |

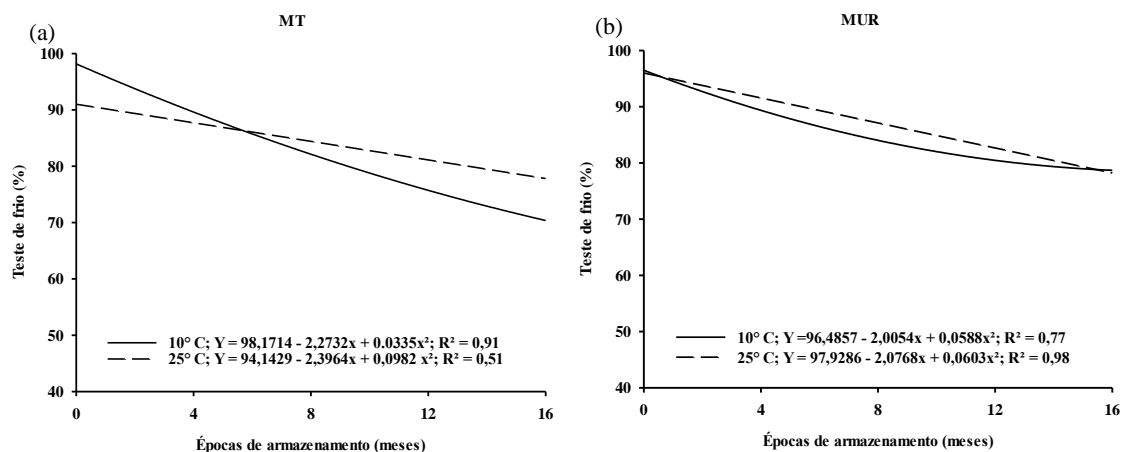
Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F, com 95% de confiança.

Não foi encontrado nenhum trabalho desta natureza com sementes de milho, porém em estudos com sementes de soja secadas no secador estacionário com distribuição de ar radial, a qualidade fisiológica não foi negativamente afetada pela variação da umidade relativa em torno de 30% do ar de secagem, uma vez que a temperatura de secagem não excedeu 43°C na massa de sementes (LEVIEN; BAUDET; PESKE, 2008).

Altas porcentagens de germinação, obtidas no teste de frio, são importantes, pois híbridos com alto desempenho em condições de baixas temperaturas tendem a demonstrar melhores resultados no campo por suportarem maiores adversidades no ambiente (CARVALHO et al., 2015). Segundo a *International Seed Testing Association* - ISTA (1981) e a *Association of Official Seed Analyst* - AOSA (1983) é considerado o teste mais importante para determinar o vigor das sementes de milho.

Ao analisar os resultados da Figura 3, também para teste de frio, observa-se que ao longo das épocas de armazenamento sementes secadas com o método de secagem MUR (Figura 3b) apresentaram menor redução do vigor, em ambas as condições de armazenagem, em relação às submetidas ao método MT, com valores em patamares superiores ao longo de todo o armazenamento (Figura 3). A qualidade fisiológica das sementes testada durante o armazenamento mostrou que as submetidas a MUR apresentaram melhor potencial de armazenamento. Isso pode estar relacionado a um maior dano latente, ou fissuras, que a estrutura da semente pode sofrer quando secada a condições extremas de baixas umidades relativas, e taxa de secagem muito elevada, em comparação com sistemas com controle de umidade relativa e temperatura do ar.

Figura 3 – Porcentagem de vigor por meio do Teste de frio de sementes de milho híbrido BM709 PRO 2, na safra de inverno, submetidas a dois métodos de secagem, (a) MT: controle apenas de temperatura e (b) MUR: controle de umidade relativa do ar e temperatura máxima, e armazenadas em diferentes condições de ambiente por 16 meses.



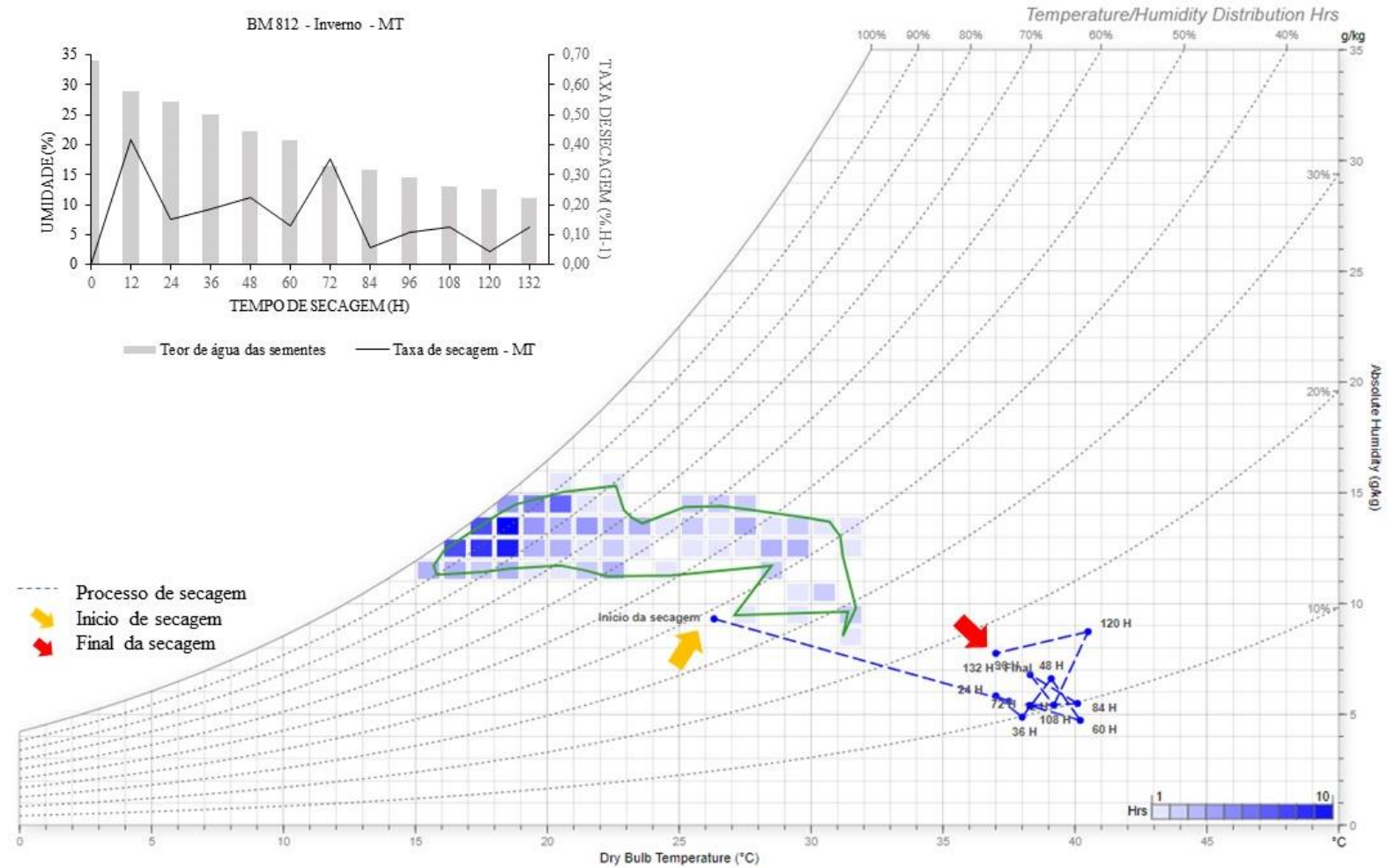
Fonte: Da autora (2021).

Para sementes do híbrido BM 812 PRO2, quando submetidas a secagem com apenas controle da temperatura, MT, todo o processo de secagem ocorreu com umidade relativa abaixo de 20%, porém a temperatura máxima não ultrapassou 40,5°C (FIGURA 4b). As maiores taxas de secagem foram na parte inicial do processo, a taxa de secagem média do processo foi de 0,18% (FIGURA 4a). À medida que o processo de secagem avança, a água se torna mais fortemente ligada e, portanto, mais difícil de ser removida. Resultados semelhantes foram encontrados por diversos pesquisadores, trabalhando com a secagem de diferentes produtos agrícolas (SIQUEIRA et al., 2012; BOTELHO et al., 2015; ROSA et al., 2015;). Fato esse associado a alta umidade relativa do ambiente que ocorreu nas fases finais da secagem, com valores acima de 80%, diminuiu a taxa de secagem ao final. O que estendeu a secagem até 132 horas (FIGURA 4). Demonstrando a importância não só do controle da temperatura máxima, mas também da interação umidade relativa do ar externo, do ar no secador e da temperatura para eficiente secagem.

Com o controle da umidade relativa, método MUR (FIGURA 5), verificou-se que, os valores da umidade relativa do ar de secagem permaneceram entre 20 e 35% e mesmo com temperaturas mais amenas entre 25 e 36°C de bulbo seco (FIGURA 5b), a secagem foi concluída em 128 horas, com taxa de secagem média de 0,19%.h<sup>-1</sup> (Figura 5a). Pois as condições ambientais eram favoráveis à secagem, umidade relativa do ar baixa, assim mesmo com temperaturas amenas a taxa de secagem foi satisfatória. Na literatura, denota a importância do monitoramento da umidade relativa do ar de secagem durante o processo, principalmente por ocorrer aumento na danificação das sementes de milho quando a umidade relativa do ar de secagem for inferior a 40%. (EICHOLI; PERES, 2008). Reiterando a relevância da interação umidade relativa do ar externo, do ar no secador e da temperatura para a eficiência energética

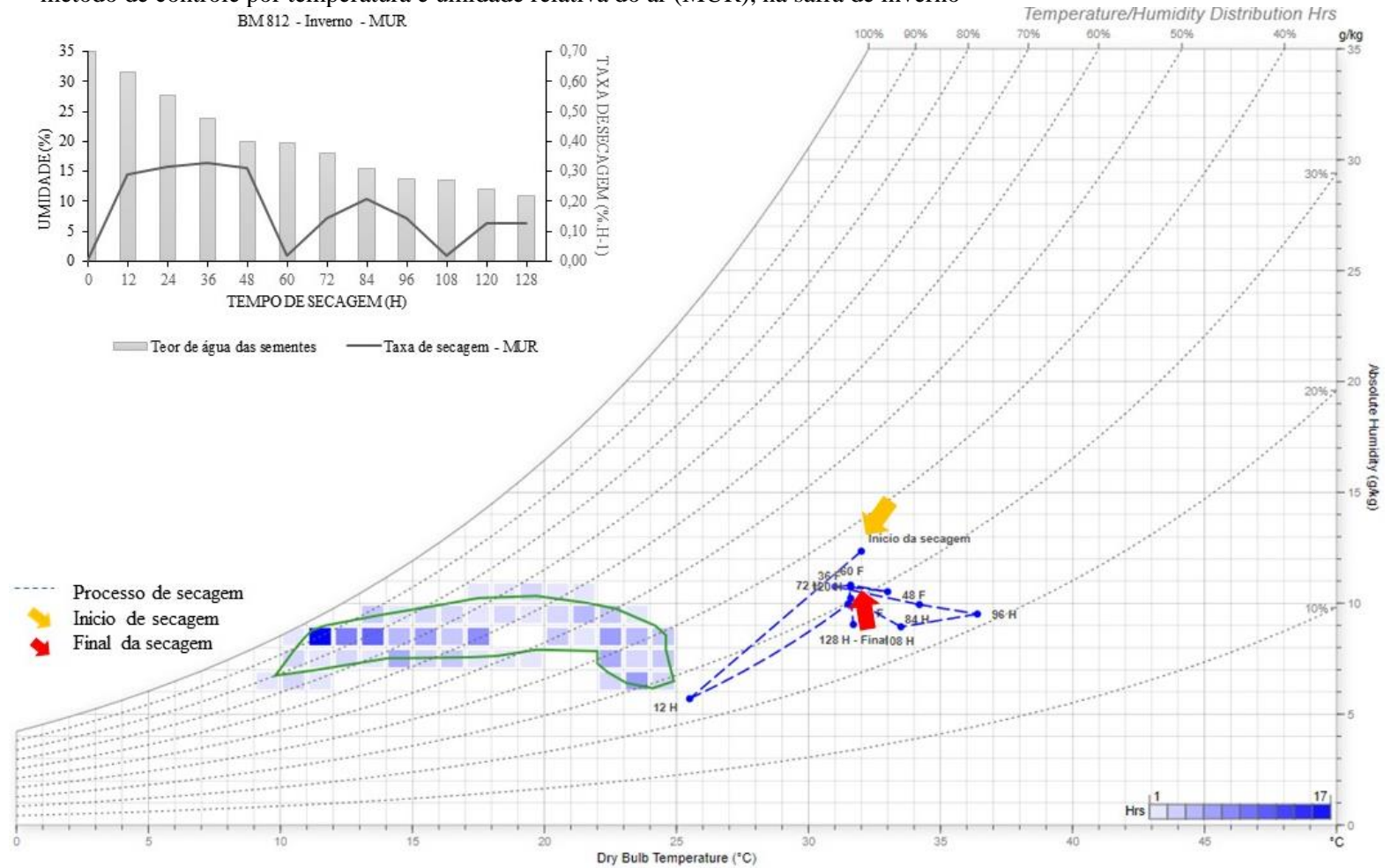
da secagem e também melhor qualidade fisiológica das sementes secadas em temperaturas mais baixas, corroborando com estudos em sementes de milho de José et al. (2004), em que nestas condições de secagem sementes de diferentes genótipos, esses apresentaram menos danos estruturais.

Figura 4 Gráfico da taxa de secagem (a) e psicrométrico (b) referente as condições ambientais, com distribuição da umidade relativa e temperaturas ambientais (quadrados em azul) e processo de secagem de sementes em espiga do híbrido BM812 PRO2, com o método de controle de secagem por temperatura do ar (MT), na safra de inverno



Fonte: Da autora (2021).

Figura 5 Gráfico da taxa de secagem (a) e psicrométrico (b) referente as condições ambientais, com distribuição da umidade relativa e temperaturas ambientais (quadrados em azul) e processo de secagem de sementes em espiga do híbrido BM812 PRO2, com o método de controle por temperatura e umidade relativa do ar (MUR), na safra de inverno



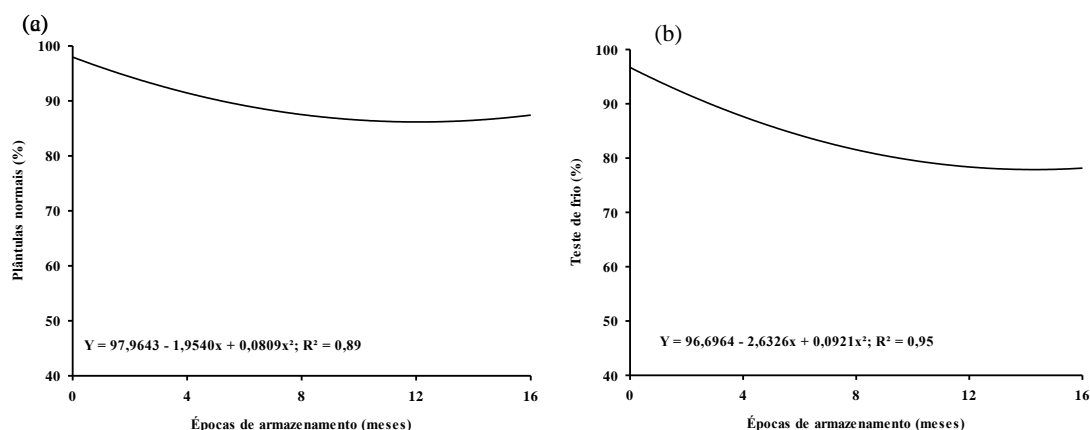
Fonte: Da autora (2021).

Apesar das diferenças dos processos de secagem em relação a taxa de secagem, umidade relativa mínima e tempo de secagem, diferença apenas de 4 horas (Figuras 4 e 5), para esse híbrido, essas não foram suficientes para afetar a qualidade fisiológica. Pelos resultados da análise de variância do híbrido BM812 na safra de inverno, somente o fator isolado época de armazenamento apresentou diferenças significativas para o teste de germinação e teste frio.

A redução da temperatura é uma técnica economicamente viável para preservar a qualidade de sementes armazenadas (DEMITO; AFONSO, 2009). A diminuição da germinação e vigor ao longo do armazenamento ficou evidente pelos resultados apresentados na Figura 6. O comportamento foi semelhante para as variáveis estudadas, com diminuição mais acentuada na metade inicial do período de armazenamento e então deterioração mais branda ou estabilização.

Em estudos com sementes de milho, ao longo de um período de avaliação de 450 dias, o ambiente de câmara fria mostrou-se superior na manutenção da germinação, (HERBELE et al., 2020). Se o ambiente de armazenamento for adequado, as sementes tendem a se equilibrar com o microclima e o vigor do lote é preservado (BAKHTAVAR; AFZAL; BASRA, 2019).

Figura 6 – Resultados dos testes de Germinação (a) e Teste de frio (b) de sementes de milho híbrido BM812 armazenados por 16 meses.



Fonte: Da autora (2021).

## Safra de verão

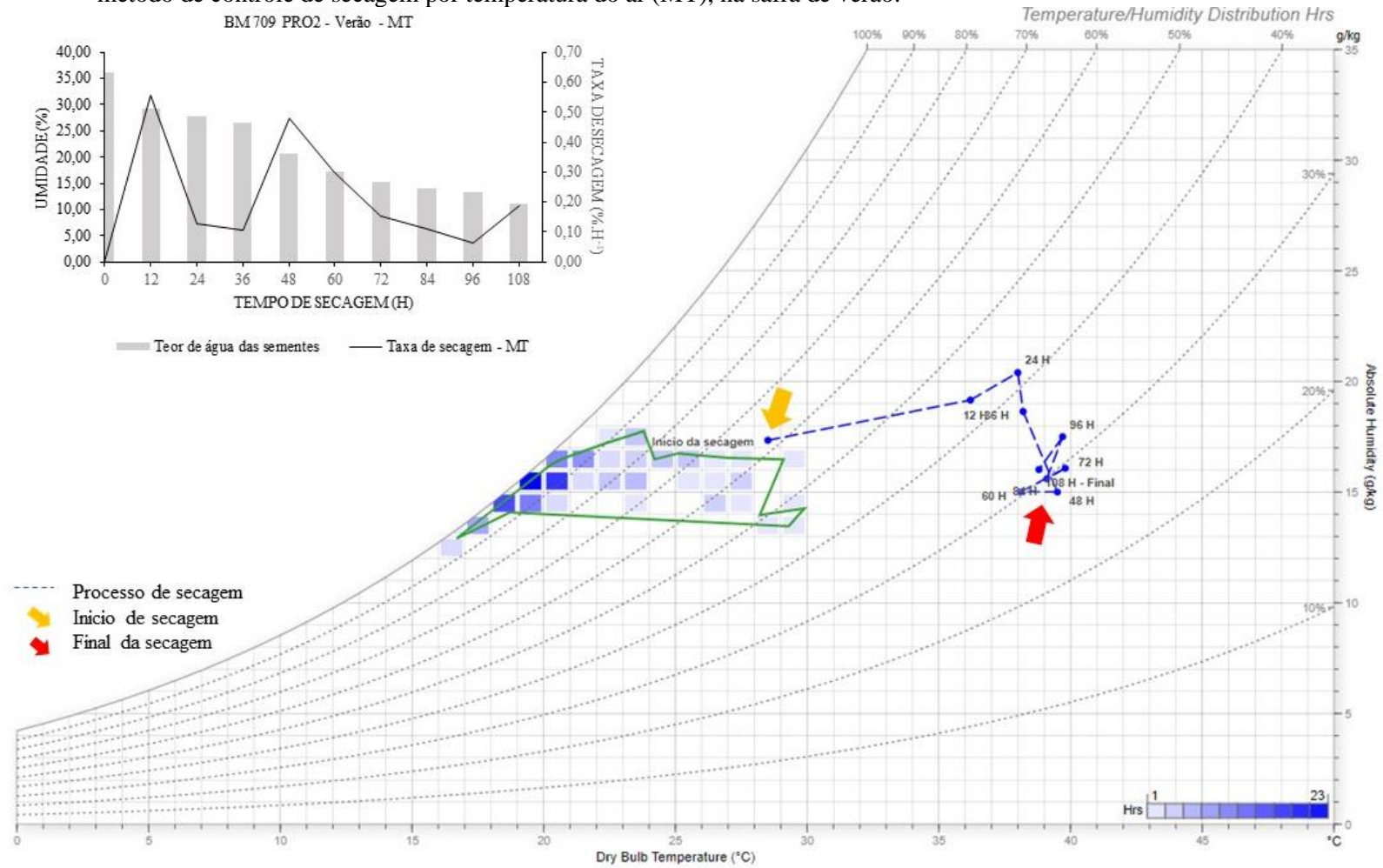
Na safra de verão, as taxas de secagens e tendências da dinâmica de secagem foram distintas das observadas na safra de inverno, devido às diferentes condições ambientais das estações do ano. Para sementes do híbrido BM709 PRO2, a secagem foi finalizada com 108 horas pelo modo MT (Figura 7a) e 104 horas pelo MUR (Figura 8a), valores similares.

No método MT, até 36 horas de secagem, a umidade relativa no secador estava acima ou próxima a 40%, fato que “retardou” a taxa de secagem entre 24 e 36 horas (FIGURA 7). Fato relacionado às condições ambientais desfavoráveis, umidade relativa elevada. Após esse período a umidade relativa no secador ficou próximo a 30% até o final do processo (FIGURA 7b). Nessa situação a taxa de secagem média foi de 0,22% por hora.

Já com o método MUR, com 12 horas a umidade no secador já estava abaixo de 40% (FIGURA 8b), o que proporcionou um tempo de secagem final mais curto em relação ao MT, com maior taxa média de secagem de 0,23% por hora. Para Neves et al. (2005) a velocidade mínima de secagem de milho em espiga, com grau de umidade superior a 25%, deve ser de 0,2 pontos percentuais por hora.

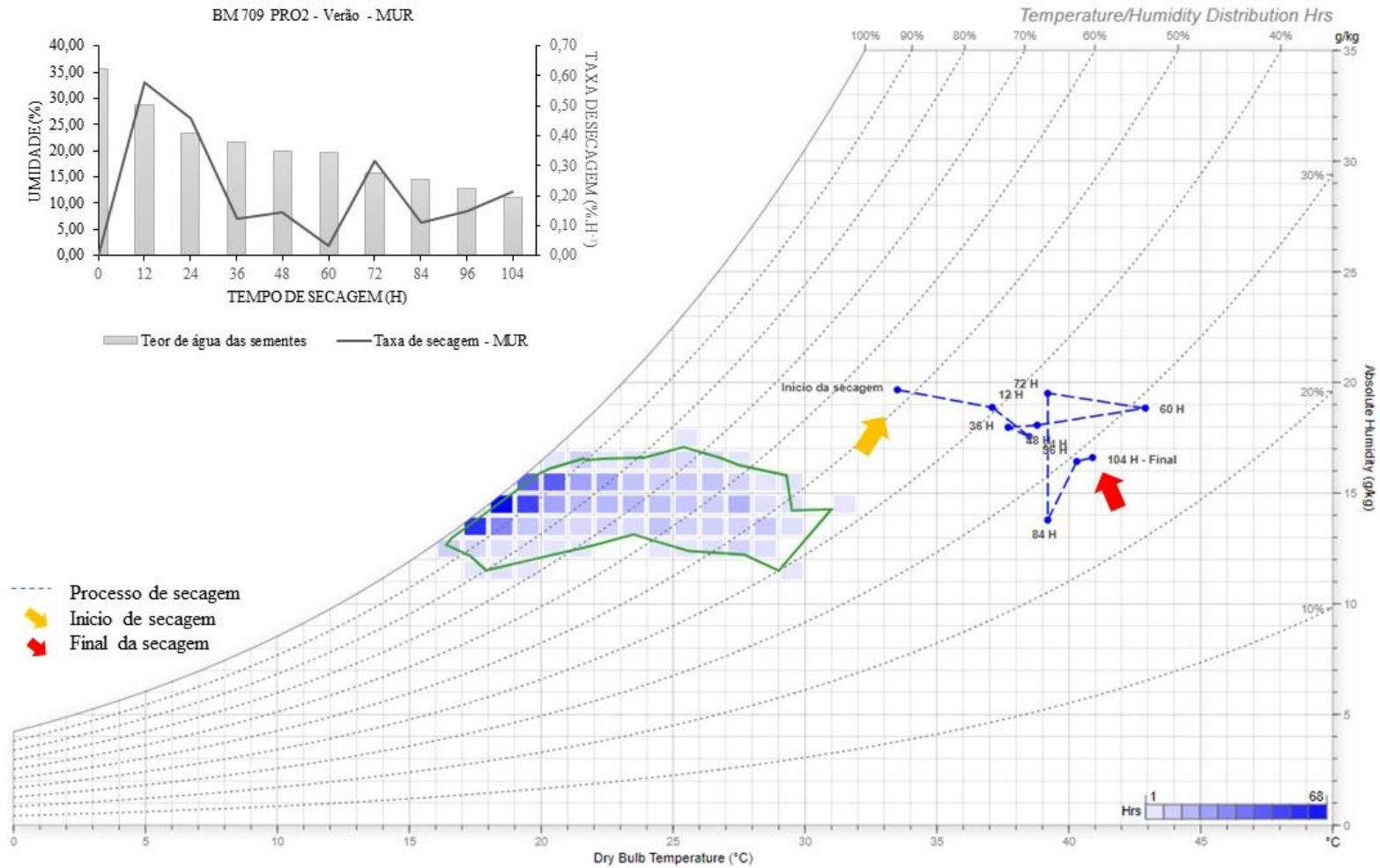


Figura 7 Gráfico da taxa de secagem (a) e psicrométrico (b) referente as condições ambientais, com distribuição da umidade relativa e temperaturas ambientais (quadrados em azul) e processo de secagem de sementes em espiga do híbrido BM709 PRO2, com o método de controle de secagem por temperatura do ar (MT), na safra de verão.



Fonte: Da autora (2021).

Figura 8 Gráfico da taxa de secagem (a) e psicrométrico (b) referente as condições ambientais, com distribuição da umidade relativa e temperaturas ambientais (quadrados em azul) e processo de secagem de sementes em espiga do híbrido BM709 PRO2, com o método de controle de secagem por temperatura e umidade relativa do ar (MUR), na safra de verão.



Fonte: Da autora (2021).

Para sementes do híbrido BM709 PRO2 houve interação significativa para ambiente de armazenamento x época de armazenamento para os resultados do teste de germinação e para o fator secagem isolado com o teste frio obteve-se valores significativos.

As sementes armazenadas em ambiente a 25°C apresentaram desempenho inferior aos 12 meses de armazenamento para germinação (TABELA 2). Com base nestes resultados em que a velocidade e a germinação foram reduzidas durante o período de armazenamento, isso é indicativo de deterioração do vigor das sementes e do respectivo potencial de armazenamento ao longo do tempo (TILLMANN; MENEZES, 2012).

Tabela 2 – Resultados de Germinação (%) para sementes de milho do híbrido BM709 PRO 2, armazenadas por 12 meses em diferentes condições de ambiente.

| Ambiente | Germinação             |         |         |         |
|----------|------------------------|---------|---------|---------|
|          | Época de armazenamento |         |         |         |
|          | 0                      | 4       | 8       | 12      |
| 10 °C    | 94,00 a                | 87,75 a | 85,25 a | 86,25 a |
| 25 °C    | 90,75 b                | 86,25 a | 84,75 a | 83,75 a |

Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F com 95% de confiança.

Observando-se os resultados da Tabela 2 e o padrão mínimo de germinação, 85%, preconizado para comercialização de sementes de milho no Brasil pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2013) na Instrução Normativa N° 45 (2013), até os 8 meses houve eficiência de manutenção de qualidade fisiológica em ambas as condições de armazenamento. Porém aos 12 meses, somente sementes armazenadas a 10°C atenderiam os padrões mínimos. Lorenzetti (2017) concluiu que o armazenamento de sementes de milho em condições de temperatura controlada (8°C), proporcionam melhor conservação das mesmas, pelos seis meses de estudo observados os testes de germinação, primeira contagem de germinação e condutividade elétrica. Altas temperaturas de armazenamento (acima de 28°C) prejudicaram a germinação de sementes de milho (SBRUSSI; ZUCARELLI, 2014).

Os melhores resultados para o teste de frio foram obtidos quando se usou o controle da temperatura e umidade relativa do ar de secagem (MUR) do que o com controle apenas da temperatura (MT), com valores significativamente diferentes de 81,2% e 78,40%, respectivamente. Reforçando a relação qualidade de sementes e controle de umidade durante a secagem. Danos causados pela alta temperatura e baixa umidade relativa, ocorridas na secagem MT, explicam a diferença de vigor, devido a possíveis efeitos na embebição em baixa temperatura que ocorre no teste. O teste de frio foi sensível para identificar danos por secagem

em estudos com características físicas do pericarpo de sementes de milho associadas com a tolerância à alta temperatura de secagem (JOSÉ et al., 2005).

Nesta mesma safra as sementes do híbrido BM 812 PRO2 secaram pelo processo MT em 114 horas (FIGURA 9). Com a secagem pelo processo MT, a taxa média de secagem foi de 0,21%, já no final do processo houve um aumento da umidade no secador e da temperatura, relacionado a uma condição ambiental desfavorável à secagem, umidade acima de 90%, chuva no ambiente externo (FIGURA 9). Reforça a importância do monitoramento ambiental, e não só da temperatura máxima.

As condições psicrométricas do ar insuflado são de extrema importância. Segundo Silva e Azevedo (2016), se o fluxo de ar aplicado possuir umidade relativa alta, aumentará a disponibilidade de água no espaço intergranular. Uma maneira de evitar esse fenômeno é observar as condições climáticas para a realização da atividade. O mesmo autor ainda destaca que o maior agravante desse fenômeno é que acelera a proliferação de fungos, além do aumento da taxa de respiração das sementes.

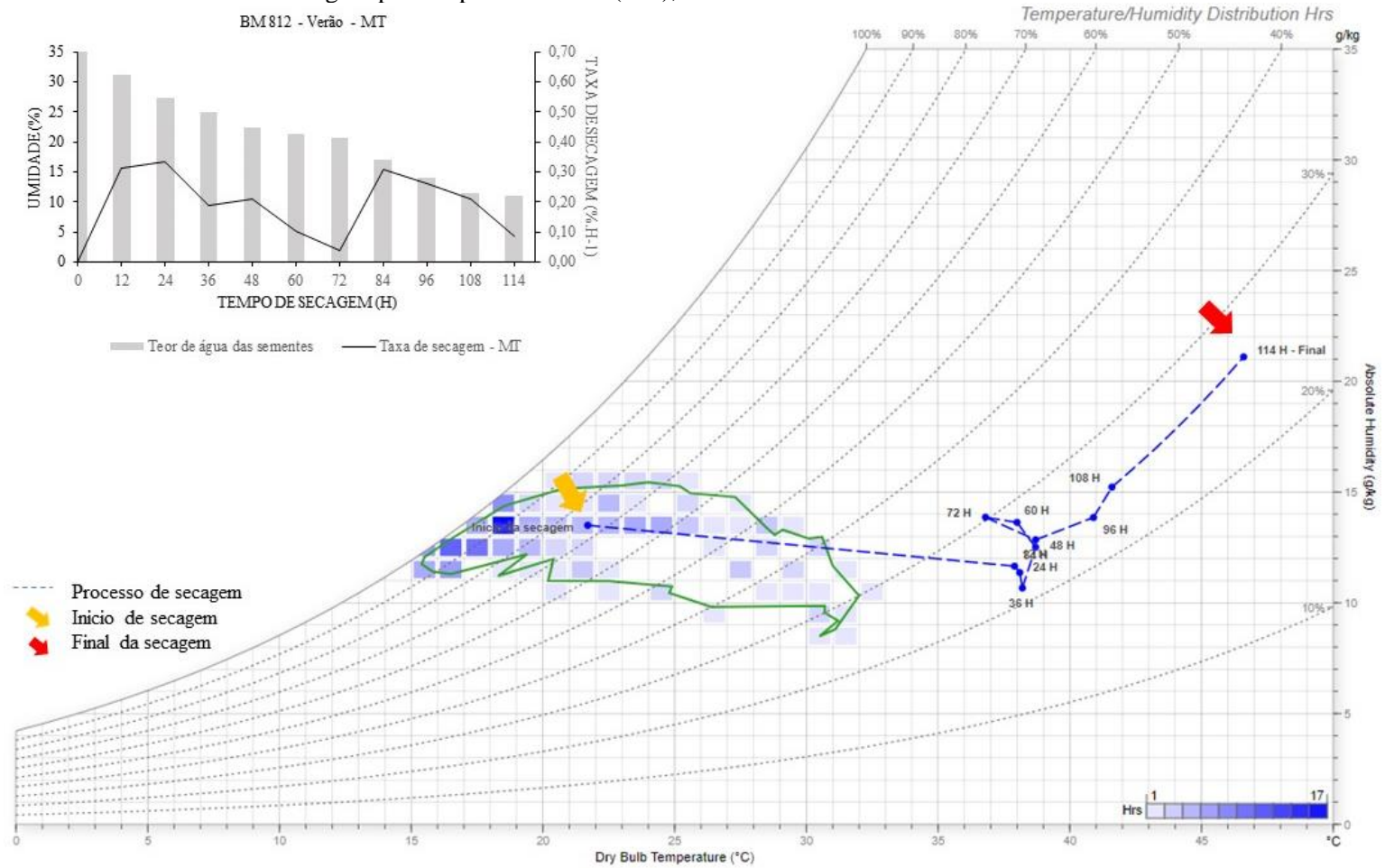
Já com a utilização do controle da temperatura máxima e da faixa de umidade relativa do ar no secador (MUR), a secagem foi finalizada com 96 horas, com temperaturas de até 40,5°C e umidade relativa do ar de secagem entre 25 e 30% (FIGURA 10). Com taxa média de secagem de 0,25% a cada hora, reiterando a eficiência desse processo de secagem em relação ao convencional, controle somente de temperatura máxima.

A redução de umidade relativa do ar de secagem é uma alternativa para continuar com o aumento da taxa de secagem, sem provocar danos térmicos as sementes. Considerando a importância da secagem das sementes, métodos alternativos de secagem devem ser objeto de pesquisas constantes. A combinação dos métodos discutidos e a observação de condições climáticas são alternativas que visam melhorias nos sistemas existentes. Essas melhorias devem aumentar a velocidade de secagem, reduzir os custos e tempo de secagem, mas manter a qualidade das sementes, visto que são organismos vivos, diferente de quando se trabalha com grãos.

Ao estudar a secagem de sementes de milho em espiga em temperatura de 30 °C, Neves et al. (2005) obtiveram, resultados da taxa média de secagem entre 0,14 e 0,24%, respectivamente quando trabalharam com alturas de camada de 150 e 50 cm. As dimensões das câmaras de secagem do presente trabalho são de caráter industrial, com uma camada de 4 m de sementes em espiga e foram secadas com taxas médias de secagem semelhantes, o processo de secagem MUR propiciou valores entre 0,20% e 0,25% pontos percentuais de água removidos

por hora de secagem, proporcionando qualidade de sementes superior ou igual ao método convencional – MT.

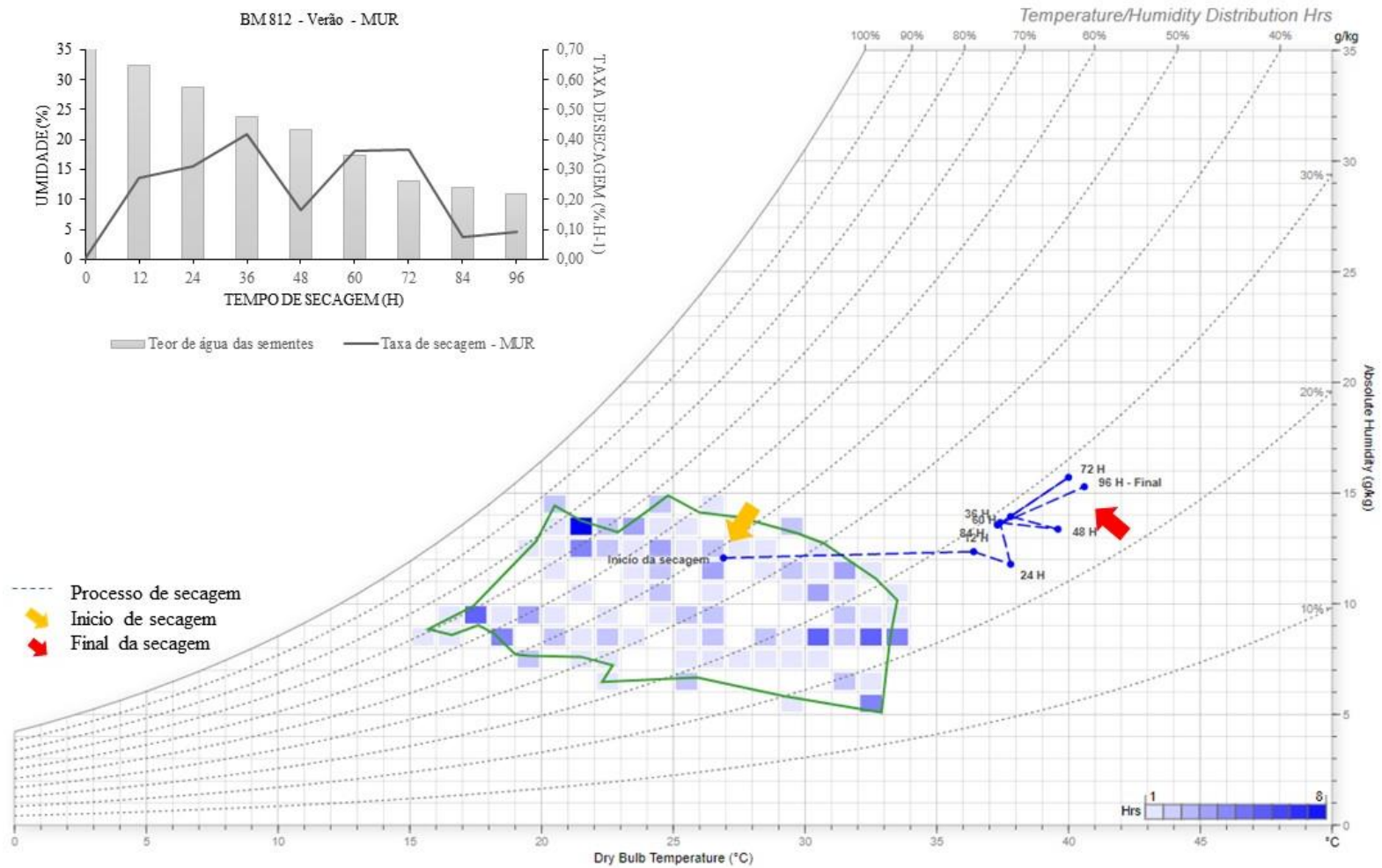
Figura 9 Gráfico da taxa de secagem (a) e psicrométrico (b) referente as condições ambientais, com distribuição da umidade relativa e temperaturas ambientais (quadrados em azul) e processo de secagem de sementes em espiga do híbrido BM812 PRO2, com o método de controle de secagem por temperatura do ar (MT), na safra de verão.



Fonte: Da autora (2021).



Figura 10 Gráfico da taxa de secagem (a) e psicrométrico (b) referente as condições ambientais, com distribuição da umidade relativa e temperaturas ambientais (quadrados em azul) e processo de secagem de sementes em espiga do híbrido BM812 PRO2, com o método de controle de secagem por temperatura e umidade relativa do ar (MUR), na safra de verão.

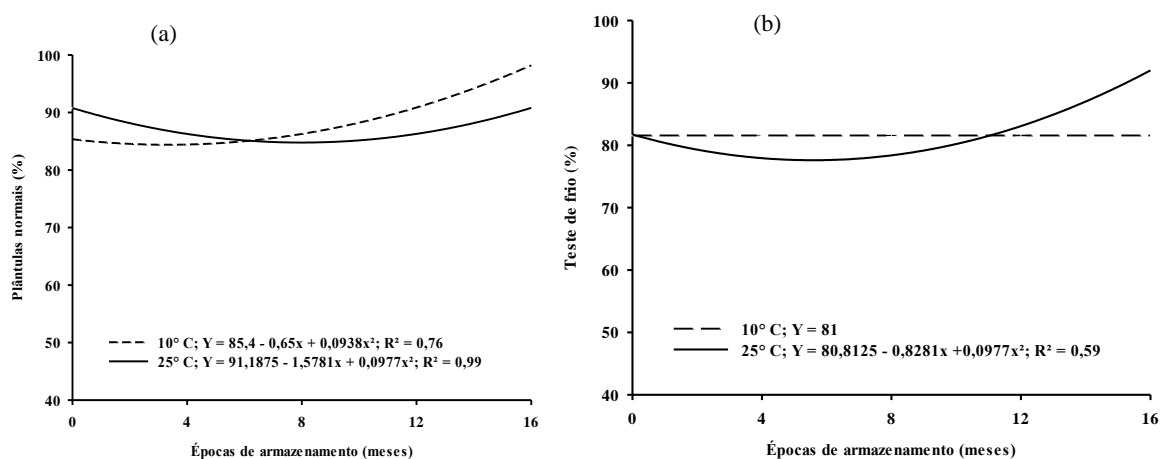


Fonte: Da autora (2021).

Ao se estudar sementes de milho híbrido BM812 na safra de verão, pelos resultados da análise de variância houve interação significativa para ambiente de armazenamento x épocas de armazenamento nos resultados dos testes de germinação e teste de frio. Sem influência dos métodos de secagem sobre esses parâmetros.

Os valores obtidos nos testes de germinação e teste frio sem solo para avaliação da qualidade das sementes estão plotados na Figura 11, observa-se semelhança entre os resultados dos testes ao longo do armazenamento, com valores próximos até 8 meses entre as temperaturas, porém com diferenciação maior na metade final do período de armazenamento, em que sementes armazenadas a 10°C apresentaram maior qualidade. Ao final do armazenamento, 16 meses, sementes armazenadas a 10°C apresentaram 98,1% e 93,6% para germinação e teste frio, ao passo que a 25°C, os valores foram 90,9% e 81%, respectivamente.

Figura 11 – Porcentagens de plântulas normais nos testes de Germinação (a) e Teste Frio (b) de sementes de milho híbrido BM812 armazenadas em diferentes condições de ambiente.



Fonte: Da autora (2021).

Resultados que reiteram a importância da temperatura de armazenamento, independente dos métodos de secagem, principalmente para períodos mais longos, situação corriqueira no mercado de sementes de milho. Dentre os fatores que apresentam maior influência na conservação de sementes está a umidade e a temperatura, assim, o controle destes aumenta a longevidade das sementes. Segundo Heberle (2019) sementes de milho são melhor conservadas em ambientes de câmara fria com manutenção da qualidade fisiológica, germinação de 85% por 450 dias, contrapondo aos 360 dias em ambiente não controlado.



#### **4 CONCLUSÕES**

No inverno, no processo com controle apenas de temperatura máxima (MT) ocorre umidade relativa do ar inadequada no secador, abaixo de 20%. O que prejudica a qualidade fisiológica das sementes de milho.

No verão, a metodologia com controle de umidade relativa mínima e temperatura máxima (MUR) propicia taxas de secagem maiores e redução do tempo de secagem, sem prejudicar a qualidade fisiológica das sementes.

O controle da umidade relativa do ar nos secadores é essencial para a secagem de sementes de milho.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento à pesquisa e concessão de bolsa de estudos e a empresa Sementes Biomatrix pela parceria.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS (AOSA). **Seed vigour testing handbook**. East Lasing, 1983. 88p. (AOSA. Contribution, 32).
- BAKHTAVAR, M. A., AFZAL, I. & BASRA, S. M. A. Moisture adsorption isotherms and quality of seeds stored in conventional packaging materials and hermetic Super Bag. *PLoS ONE* 14, e0207569 (2019).
- BERK, Z. Dehydration. **Food process engineering and technology**, Elsevier, p. 513-566, 2018.
- BOTELHO, F. M. et al. Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo de grãos de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 260-272, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. **Padrões para a produção e a comercialização de sementes**. Brasília (DF): Diário Oficial da União, 20 set. 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análises de sementes**. Brasília: MAPA/SDA/ACS, 2009. 399p.
- BROWN, E.; DUVEL, J. W. T. A. A quick method for the determination of moisture in grain. U.S. Department of Agriculture, **Bureau of Plant Industry**, Bull. 99, 1907.
- CARVALHO, E. R. et al. Temperatures and periods of drying delay and quality of corn seeds harvested on the ears. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 3, p. 336-343, July 2019.
- CARVALHO, I. R. et al. Efeitos fisiológicos atribuídos ao teste de frio e adição de reguladores vegetais em híbridos de milho. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 11, n. 3, p. 1-9, 2015.
- COELHO, S. V. B. et al. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de café secas em sílica gel e soluções salinas saturadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 6, p. 483-491, 2015.
- CORRÊA, P. C., et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. ), p. 595-601, 2010.
- DEMITO, A; AFONSO, A. D. L. et al. Quality of artificially cooled soybeans seeds. *Engenharia na Agricultura*, v. 17, n. 1, p. 7-14, 2009.
- DUTRA, S. M. F. et al. Genes related to high temperature tolerance during maize seed germination. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, p. 18047-18058, 2015.

EICHOL, E. D.; PERES, W. B. Monitoramento da qualidade física de secagem de sementes de milho em secadores estacionários. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 30, n. 2, p. 57-64, 2008.

FEI, Q.; YAN, L. Proceedings Paper Template Parameter Optimization of Vertical Drying System for Corn Ears Based on BP Neural Network. In: **Recent Trends in Decision Science and Management**. Springer, Singapore, 2020. p. 177-184.

FERREIRA, V. F. et al. Qualidade de sementes de milho colhidas e despalhadas com altos teores de água. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 3, p. 276-283, 2013.

HEBERLE, E. et al. Qualidade fisiológica e atividade enzimática de sementes de milho durante o armazenamento. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 657-665, 2019.

INTERNACIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). **Handbook of vigour test methods**. Zurich, Switzerland, 1981. 72p.

GONELI, A.L.D., CORRÊA, P.C., AFONSO JÚNIOR, P.C., OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **p**, v. 11, p. 64-73, 2009.

KRZYŻANOWSKI, F. C. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Abrates, 1999.

KYRPA, M.; STIURKO, M.; BONDAR, L. Complex mechanized drying–cleaning corn seeds in farms. **Technical sciences**, v. 3, n. 1, 2016.

JORGE, M. H. A. et al. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho colhidas e secas em espigas. **Bragantia**, v.64, n.4, p.679-686, 2005.

JOSE, S. C. B. R. et al. Características físicas do pericarpo de sementes de milho associadas com a tolerância a alta temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 27, n.1, p. 125-131, 2005.

JOSE, S. C. B. R. et al. Padrões eletroforéticos da enzima alfa-amilase em sementes de milho submetidas a alta temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, p. 77-83, 2004.

KÖPPEN, W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. México. **Fondo Cult. Econ.** 479p.

LEVIEN A., BAUDET L., PESKE S. Secagem estacionária de sementes de soja usando ar de secagem de diferentes umidades relativas. **Seed Science and Technology**, v. 36, n. 1, p. 148-156, 2008.

LOPES, R. P.; SILVA, J. de S.; REZENDE, R. C. Princípios básicos da psicrometria. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. SILVA, JS (editor). **Editora Aprenda Fácil**, Viçosa, Brazil, 2000.

- LORENZETTI, E. et al. Comportamento de sementes de milho submetidas a diferentes condições e período de armazenamento. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.6, n.1, p.19-29, 2017.
- MARTINS, F. B. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, 2018.
- MEDEIROS, A. D.; PEREIRA, M. P.; SILVA, J. A. Processamento digital de imagens na determinação do vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.13, n.3, 2018.
- NEVES, E. et al. Secagem de sementes de milho em espiga, em função da altura da camada e fluxo de ar. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 117-124, 2005.
- OLIVEIRA, W. L.; MARTINS, J. H. Simulação de secagem de milho em camada estacionária por meio de modelagem computacional. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, 2020.
- PEREIRA, K. C. et al. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.
- PERES, W. **Beneficiamento de Grãos**. Dissertação Pós Graduação. Cascavel, PR: FAG . 63p. 2015.
- R CORE TEAM **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018.
- ROSA, D. P. et al. Mathematical modeling of orange seed drying kinetics. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 3, p. 291-300, 2015.
- ROSA, S. D. V. F. et al. Enzimas removedoras de radicais livres e proteínas lea associadas à tolerância de sementes milho à alta temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 91-101, 2005.
- SBRUSSI, C. A. G.; ZUCARELI, C. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 215-226, 2014.
- SILVA, F. A. S. E; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analyzes of experimental data. **Afr. J. Agríc. Res.** Vol. 11(39), p. 3733- 3740, , 2016.
- SIQUEIRA, V. C. et al. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. *Acta Scientiarum*. **Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 231-238, 2012.
- SIGMAPLOT versão 14.0, da Systat Software, Inc., San Jose, Califórnia, EUA.
- STEPONAVIČIUS, D. et al. Concave design for high-moisture corn ear threshing. **Mechanics**, v. 24, n. 1, p. 80-91, 2018.

TILLMANN, M. A. A.; MENEZES, N. L. Análise de sementes In: Peske, ST; Villela, FA; Meneghello, GE **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 2012.

UTHPALA, T. G. G.; NAVARATNE, S. B.; THIBBOTUWAWA, Amila. Review on low-temperature heat pump drying applications in food industry: Cooling with dehumidification drying method. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 10, p. e13502, 2020.

VERGARA, R. O. et al. Períodos de intermitência no processo de secagem de sementes de milho. **J. Seed Sci.**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 193-198, 2018.

VILLELA, F. A.; PESKE, S. T. Secagem de sementes. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: UFPel, p. 283-321, 2003.

XIE, Y., et al. Radio frequency treatment accelerates drying rates and improves vigor of corn seeds. **Food Chemistry**, v. 319, art. no. 126597, 2020.

### **CAPÍTULO 3 - QUALIDADE DE SEMENTES DE MILHO EM FUNÇÃO DOS PROCESSOS DE SECAGENS DAS ESPIGAS COM CONTROLE DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA**

#### **RESUMO**

Atualmente, as sementes de milho são colhidas em espigas com alta umidade o que requer uma rápida e eficiente secagem. A secagem artificial oferece as vantagens de permitir a colheita mais precoce e oportuna. Assim, o objetivo no trabalho foi verificar os efeitos da temperatura e umidade relativa do ar durante a secagem sobre a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho híbrido, colhidos em espiga. Foram avaliadas sementes dos híbridos simples BM 709 PRO2 e BM 812 PRO2 colhidos em safras de inverno e verão, submetidos a dois tipos de métodos de secagem estacionária: o MT, com controle apenas da temperatura, constante entre 38°C e 40°C; MUR, com controle da umidade relativa entre 25 e 30%, com controlada de temperatura máxima a 40°C. As sementes foram colhidas com 38% de umidade e foram secadas até 11%, em uma usina de beneficiamento de sementes em Patos de Minas, MG, Brasil, classificação climática Aw. Posteriormente as sementes foram debulhadas mecanicamente e tratadas com inseticidas e fungicidas. As sementes foram armazenadas em dois ambientes: em câmara fria e seca a 10°C e 50% UR; e em câmara a 25°C. As qualidades fisiológica e sanitária das sementes foram avaliadas no início do período de armazenamento e aos 4, 8, 12 e 16 meses de armazenamento. O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x5 com quatro repetições. O controle de umidade relativa do ar mínima, entre 25 e 30%, além do controle da temperatura máxima 40°C, durante a secagem de sementes de milho colhidas em espiga é favorável a qualidade fisiológica e sanitária das sementes ao longo do armazenamento. O armazenamento em condições controladas de câmara fria (10°C e 50% UR) promovem melhor manutenção da qualidade fisiológica das sementes de milho em relação ao ambiente climatizado (25°C), após 8 meses de armazenamento.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Secadores. Vigor. Secagem de espigas.

## ABSTRACT

Currently, corn seeds are harvested on ears with high humidity, which requires quick and efficient drying. Artificial drying offers the advantages of allowing earlier and more timely harvesting. Thus, the objective in this work was to verify the effects of temperature and relative humidity during drying on the physiological and sanitary quality of hybrid corn seeds, harvested on the cob. Seeds of the simple hybrids BM 709 PRO2 and BM 812 PRO2 harvested in winter and summer crops were evaluated, submitted to two types of stationary drying methods: MT, with temperature control only, constant between 38°C and 40°C; MUR, with relative humidity control between 25 and 30%, with only maximum temperature controlled at 40 ° C. The seeds were harvested at 38% moisture and dried to 11%. Subsequently, the seeds were threshed mechanically, and treated with insecticides and fungicides. The seeds were stored in two environments: in a cold and dry chamber at 10°C and 50% RH; and in a chamber at 25°C. The physiological and sanitary qualities of the seeds were evaluated at the beginning of the storage period and at 4, 8, 12 and 16 months of storage. The experiment was conducted in a completely randomized design in a 2x2x5 factorial scheme with four replications. The control of minimum relative humidity of the air, between 25 and 30%, in addition to the control of the maximum temperature 40 ° C, during the drying of corn seeds harvested on the cob is favorable to the physiological and sanitary quality of the seeds during storage. Storage in controlled cold room conditions (10°C and 50% RH) promotes better maintenance of the physiological quality of corn seeds in relation to the air-conditioned environment (25 ° C), after 8 months of storage.

**Keywords:** *Zea mays*. Dryer. Vigor. Ear drying

## 1 INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais cultivados do mundo. A área mundial cultivada com milho até fevereiro do ano agrícola 2020/2021 foi de 196,69 milhões de hectares (USDA, 2021). No Brasil a área plantada com o cereal na safra 2020/2021 foi cerca de 19 milhões de hectares com produção de 105,5 milhões de toneladas (CONAB, 2021). O uso de sementes de boa qualidade possibilita aos agricultores o acesso aos avanços genéticos, com garantia de desempenho e adventos tecnológicos, propiciando as boas produtividades agrícolas do país (HARTMANN FILHO et al, 2016).

Atualmente, as sementes de milho são colhidas em espigas com alta umidade o que requer uma rápida e eficiente secagem, pois a umidade está próxima a 35%, e em alguns casos até 40% (FERREIRA et al., 2013; CASTRO et al., 2015; MORENO et al., 2019; CARVALHO et al. 2019). O processo de secagem ocorre até que se atinjam valores seguros para o armazenamento, abaixo de 13% em base úmida, correspondendo à estabilização bioquímica (XIE et al., 2020).

A secagem artificial oferece as vantagens de permitir a colheita mais precoce e oportuna, reduz a atividade metabólica, desfavorece o desenvolvimento de microrganismos e prolonga o tempo de armazenamento e a viabilidade de sementes (DOYMAZ, 2016). Entretanto o custo desta operação é elevado, por isso estudos e alternativas de otimizar a secagem e manter a qualidade fisiológica são relevantes (VERGARA et al., 2018). Dentre os métodos de secagem, o estacionário, consiste basicamente no insuflamento de ar continuamente, na maioria das situações, através de um volume de sementes que permanece estático, em camada fixa (CORADI; LEMES, 2019).

As sementes por serem higroscópicas possuem a propriedade de realizar intercâmbio de água, sob a forma de vapor com o ar circundante, por sorção ou dessorção, até alcançarem o ponto de equilíbrio higroscópico (BARBOSA et al., 2016). O processo de secagem visa à retirada parcial da água da semente, através da transferência simultânea de calor do ar para a massa de semente, e por meio do fluxo de vapor de água, da semente para o ar. É um processo dinâmico, em função da umidade relativa do ar de secagem (BOLIGON et al., 2020). A secagem processa-se em camadas com a formação de zonas de secagem, a região onde mais



efetivamente verifica-se a perda de água das sementes para o ar é denominada de frente de secagem (VILLELA; PERES, 2004).

Ao estudar o atraso da secagem em sementes colhidas nas espigas m alto teor de umidade, Carvalho et al. (2019) não observaram prejuízos a qualidade fisiológica com temperaturas abaixo de 40 °C, considerando até 36 h de espera até a secagem. Em altas temperaturas do ar e níveis elevados de umidade relativa, o adiamento do processo de secagem favorece a depreciação das sementes, conforme Castro et al (2015) confirmaram que o vigor das sementes de uma determinada linhagem de milho foi de fato muito afetado em tais circunstâncias, mas não consideraram os danos latentes originados ao longo do armazenamento. Em um sistema de secagem estacionário, períodos de intermitência de até 6 horas por dia preservam a qualidade fisiológica das sementes de milho (VERGARA et al., 2018). Há uma carência de estudos científicos aplicados no controle da umidade relativa durante a secagem de milho, sendo mais comuns trabalhos com sementes de soja (AVELAR et al., 2011; KRZYZANOWSKI, WEST, FRANÇA NETO, 2006).

Em vista do exposto, e diante da escassez de informações a respeito da influência da umidade relativa do ar durante a secagem de sementes de milho, desenvolveu-se este trabalho, com o objetivo de verificar os efeitos do controle da temperatura e da umidade relativa do ar durante a secagem sobre a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho híbrido.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizadas sementes de milho dos híbridos BM812 e BM702 PRO 2, cedidas pela empresa Helix Sementes, produzidas no município de Paracatu, MG. As sementes foram mecanicamente colhidas em espiga como ponto de umidade médio de 35% b.u., no mês de setembro para a safra de inverno e no mês de março para a safra de verão.

Os processos de pré limpeza, despalha, seleção, secagem em espiga e debulha, foram feitos na unidade de beneficiamento desta empresa na cidade de Patos de Minas, MG. O clima da região é caracterizado, segundo Köppen (1948), como tropical úmido com estação seca no inverno, correspondente à classificação Aw (MARTINS et al., 2018).

A secagem artificial foi realizada em secadores estacionários, em câmaras com 8 metros de comprimento, 5 metros de largura e 4 metros de altura de camada de espigas, totalizando 160 m<sup>3</sup> de espigas de milho. O ar de secagem foi aquecido por troca de calor em um radiador,

este por sua vez foi alimentado pelo vapor saturado originado na caldeira. O controle de temperatura e umidade relativa do ar de secagem foi realizado com auxílio de aferidores dentro das câmaras de secagem, assim que os valores que foram fixados e programados eram atingidos a válvula que exerce a abertura e fechamento do radiador era acionada automaticamente.

Quando necessário o ar aquecido era forçado com vazão de 125 m<sup>3</sup>/h por ventiladores em fluxo ascendente para o interior da câmara de secagem até que a camada de baixo da massa de espigas atingisse um grau de umidade de 11% b.u. Posteriormente o fluxo era invertido para a posição descensional até que a camada superior das espigas obtivessem um teor de água de 11% b.u..

Os processos industriais de secagem estudados foram:

*Método de secagem - MT:* apenas controle de temperatura, valores mantidos sempre entre 38 e 40°C;

*Método de secagem - MUR:* controle de umidade relativa do ar e da temperatura máxima, umidade relativa constante entre 25 e 30%, e controle de temperatura máxima a 40°C.

Após o processo de secagem em cada método, as espigas foram debulhadas mecanicamente no próprio sistema de debulha industrial da UBS. A classificação quanto ao tamanho das sementes foi realizada na unidade de beneficiamento de sementes da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, MG, as sementes passaram por peneiras de crivo oblongo para a classificação quanto a sua espessura, e por peneiras de crivo redondo para a classificação quanto a sua largura. Para fins de padronização dos lotes de sementes de milho, para todos os testes foram utilizadas as sementes retidas na peneira de crivo redondo com diâmetro de 20/64 (Peneira 20).

Em seguida as sementes foram tratadas manualmente. Para tanto, utilizou-se sacos plásticos, onde foram misturados as sementes e os produtos químicos de maneira homogênea. O tratamento foi composto por fungicida Carbendazim + Tiram (Derosal Plus®) e inseticidas Pirimifós metílico (K-obiol®) e Fenitrothion (Sumigran 500 EC®). As sementes foram acondicionadas em caixas de papel contendo 1kg e armazenadas em dois ambientes, câmara fria e seca a 10°C e 50% UR; e em câmara climatizada a 25°C, sem controle de umidade.

Os testes laboratoriais e armazenamento foram conduzidos no Setor de Sementes do Departamento de Agricultura, Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL), da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. A qualidade das sementes foi avaliada no início do período de armazenamento, aos 4, 8, 12 e aos 16 meses, por meio dos testes descritos a seguir:

*Teste de germinação:* realizado utilizando papel germitest umedecido com água equivalente a 2,5 vezes seu peso seco, com quatro repetições de 50 sementes, em germinador a 25°C. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais aos 4 dias (1° contagem de germinação) e aos 7 dias (germinação) (BRASIL, 2009).

*Teste de emergência de plântulas em condições controladas:* foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes por tratamento, sendo a semeadura realizada em substrato contendo areia e solo na proporção 2:1. As bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal à 25 °C com fotoperíodo de 12 horas, sendo irrigadas com o objetivo de manter o solo com 70% da capacidade de retenção de água. A partir da emergência da primeira plântula, foram realizadas avaliações diárias. Foi considerada a porcentagem de emergência de plântulas normais aos 14 dias e o índice de velocidade de emergência (IVE), conforme descrito por Maguire (1962).

*Teste de frio sem solo:* realizado utilizando-se como substrato o papel germitest, com procedimentos semelhantes ao do teste de germinação. Porém, os rolos foram acondicionados em sacos plásticos e mantidos em câmara regulada a 10 °C, durante sete dias. Após este período, os rolos foram retirados dos sacos plásticos e acondicionados em germinador regulado para 25 °C, durante quatro dias (KRZYZANOWSKI et al., 1999). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009b).

*Envelhecimento Acelerado:* foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes acondicionadas em caixas plásticas transparentes do tipo gerbox, com telas onde as sementes foram distribuídas de maneira a formar uma camada uniforme. Foram adicionados ao fundo de cada caixa plástica 40 mL de água destilada. As caixas foram tampadas e mantidas em câmara de envelhecimento (do tipo BOD) a 42 °C por 96 horas. Posteriormente, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, avaliando-se as plântulas normais no quarto dia após a instalação do teste.

*Teste de condutividade elétrica:* Quatro repetições de 50 sementes foram pesadas e acondicionados em copos plásticos com 75 mL de água destilada e mantidos a temperatura constante de 25 °C por 24 horas. A condutividade elétrica da solução foi determinada com um medidor de condutividade (DIGIMED - DM 31) (VIEIRA e KRZYZANOWSKI, 1999).

*Teste de sanidade:* foi utilizado o método de papel de filtro modificado, com congelamento, conforme descrito por Machado (1988). Foram utilizadas oito repetições de 25 sementes por tratamento, colocadas sobre três folhas estéreis e umedecidas de papel filtro, em placas de Petri. Após 24 horas de incubação, as placas contendo as sementes foram transferidas

para freezer à temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ , por 24 horas. Em seguida, incubadas à  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ , por um período de 10 dias em regime luminoso de 12 horas. Finalizado esse período, as sementes foram examinadas individualmente com auxílio de microscópio estereoscópico à resolução de 30-80 X. Os resultados foram expressos em percentual de ocorrência dos fungos.

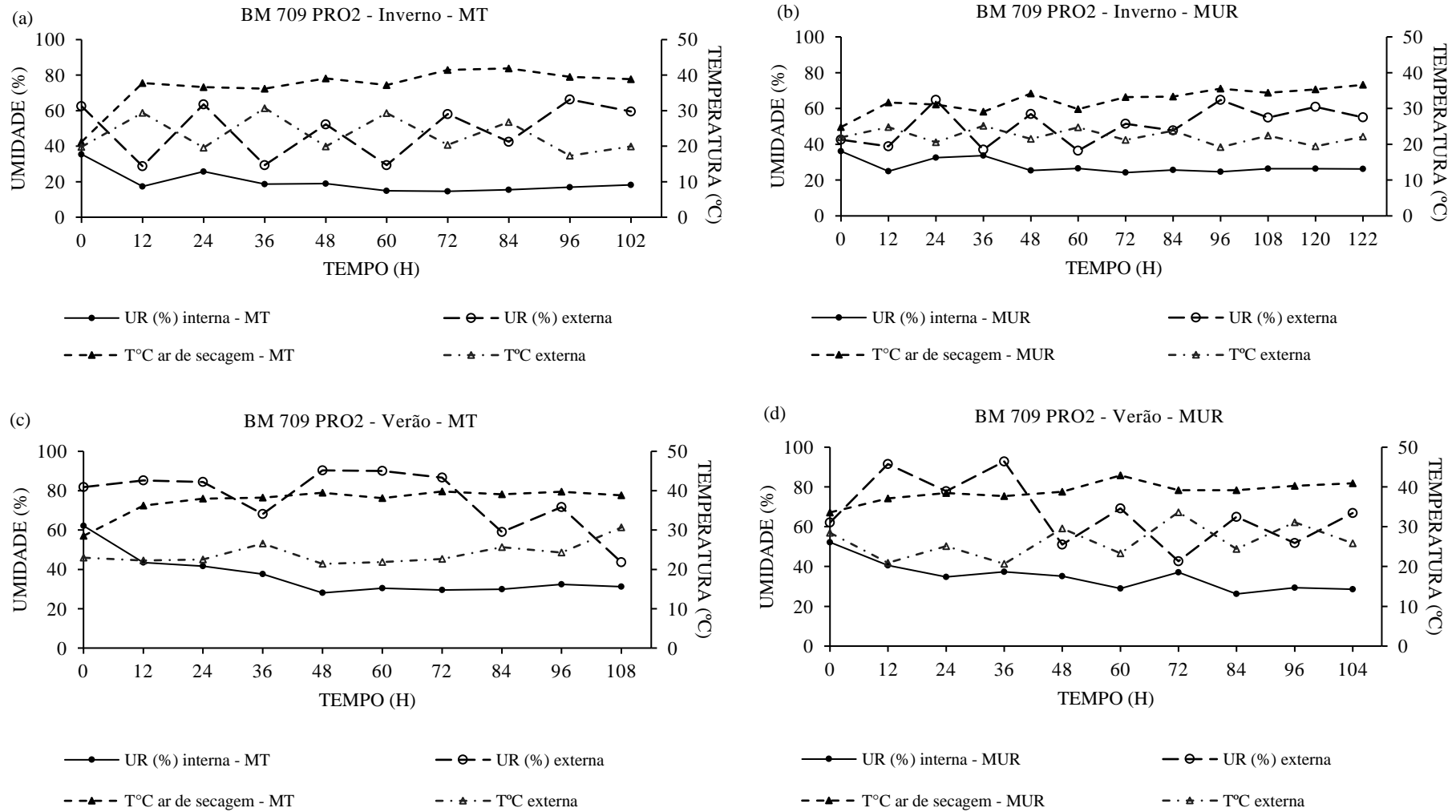
O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 5$  com quatro repetições, sendo: dois processos industriais de secagem das sementes em espiga, dois ambientes de armazenamento e cinco períodos de armazenamento, para cada híbrido e safra, separadamente. Para o híbrido BM709 PRO2 na safra de verão, foram estudados apenas 4 períodos de armazenamento, somente até 12 meses, por questões logísticas e técnicas. Os resultados foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Quando necessário os efeitos quantitativos foram analisados por meio de regressão. Utilizou-se para a análise o programa estatístico R Core Team (2018). Os gráficos foram plotados com o programa gráfico SigmaPlot 14.0.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados do monitoramento das temperaturas e umidades relativas do ar do ambiente externo e interno aos secadores estão plotados nas Figuras 1 e 2. Na safra de inverno, para sementes do híbrido BM709 PRO2, a secagem com a metodologia MT foi finalizada com 102 horas e a MUR com 122 horas. Para o híbrido BM 812 PRO2, esses valores foram 132 e 128, respectivamente. Na safra de verão sementes do híbrido BM709 PRO2 secaram em 108 horas pelo modo MT e 104 horas pelo MUR. Nesta situação o híbrido BM 812 PRO2 através do processo MT secou em 114 horas e utilizando o MUR 96 horas.

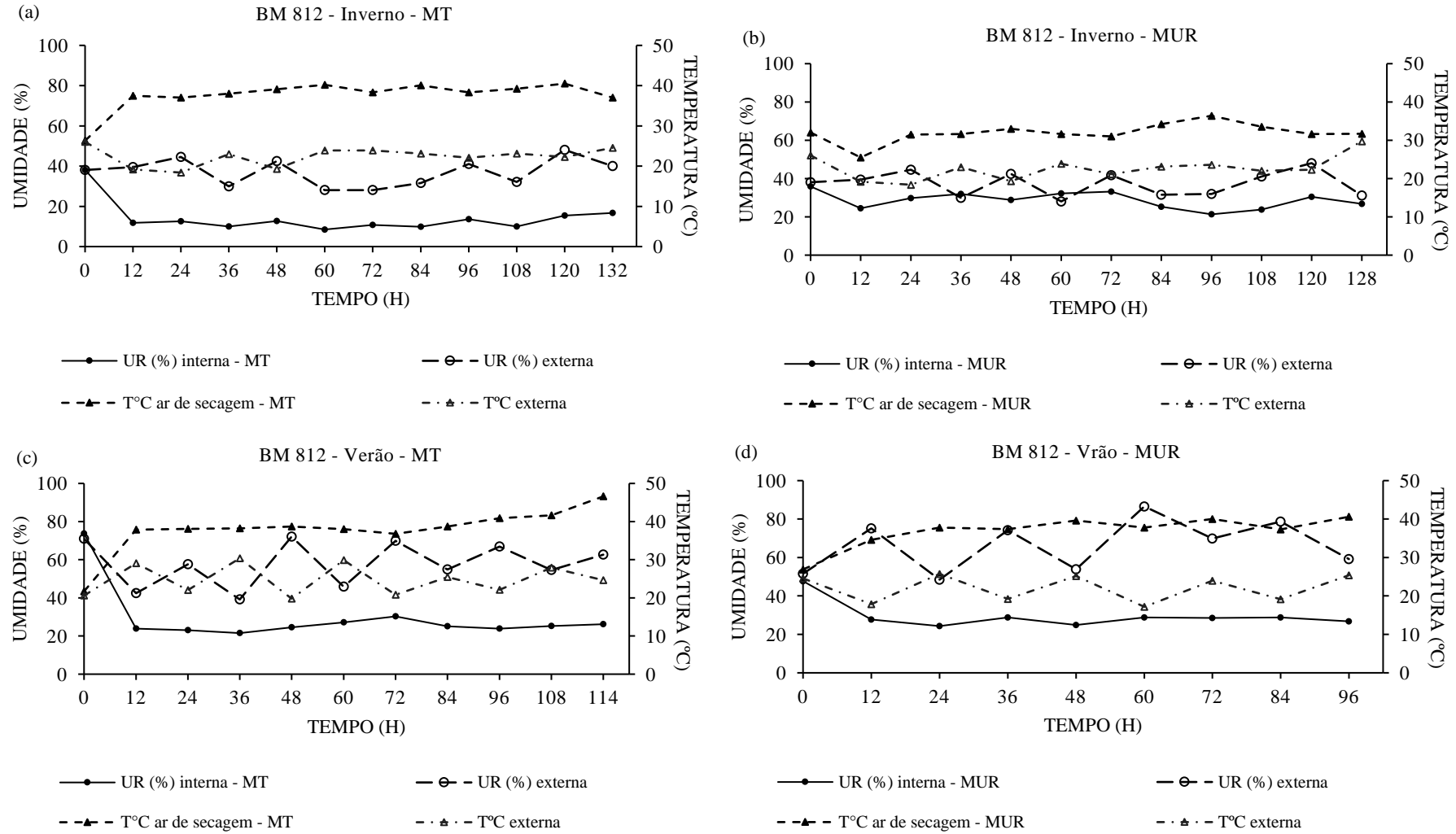
Na safra de inverno, durante o processo de secagem, a UR do ambiente foi entre 28,3% e 66,26%. Já na safra de verão a UR do ambiente oscilou entre 39,17% e 92,83%, com período de chuva durante os processos de secagem (Figuras 1 e 2).

Figura 1 Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), internas e externas durante a secagem de sementes de milho híbrido BM709 PRO2 em espiga.



Fonte: Da autora (2021)

Figura 2 - Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), internas e externas durante a secagem de sementes de milho híbrido BM812 em espiga.



Fonte: Da autora (2021)

### Safra de inverno:

Com base na análise de variância dos dados do híbrido BM709 PRO 2 na safra de inverno, para a interação tripla: secagem x ambiente de armazenamento x época de armazenamento houve efeito significativo apenas para os resultados do teste de frio. Para a interação ambiente de armazenamento x época de armazenamento houve efeito significativo para os resultados do teste de condutividade elétrica. Para o efeito isolado época de armazenamento os resultados do teste de emergência de plântulas apresentaram valores médios significativos.

Na Tabela 1 observa-se que no método de secagem em que a umidade relativa foi controlada (MUR), as sementes apresentaram médias superiores de vigor pelo teste de frio aos 12 e aos 16 meses em ambiente de armazenamento de 10°C, e aos 4 e 16 meses em ambiente de 25°C. Indicando a importância do controle não só da temperatura de secagem, mas também da umidade relativa. O teste de frio foi sensível detectar diferenças nesta interação. Este resultado corrobora com resultados de outros trabalhos com sementes de milho no qual o teste de frio é único o que aponta diferenças de vigor de sementes em detrimento aos outros testes estabelecidos em literatura para estudo de vigor, o que reforça a importância de sua utilização (HARTER et al., 2018, PORTO et al., 2020).

Tabela 1 – Porcentagem de vigor por meio do teste de frio para sementes de milho híbrido BM709 PRO 2, secadas por diferentes métodos, MT: controle apenas de temperatura e MUR: controle de umidade relativa do ar e temperatura, e armazenadas em diferentes condições de ambiente por 16 meses.

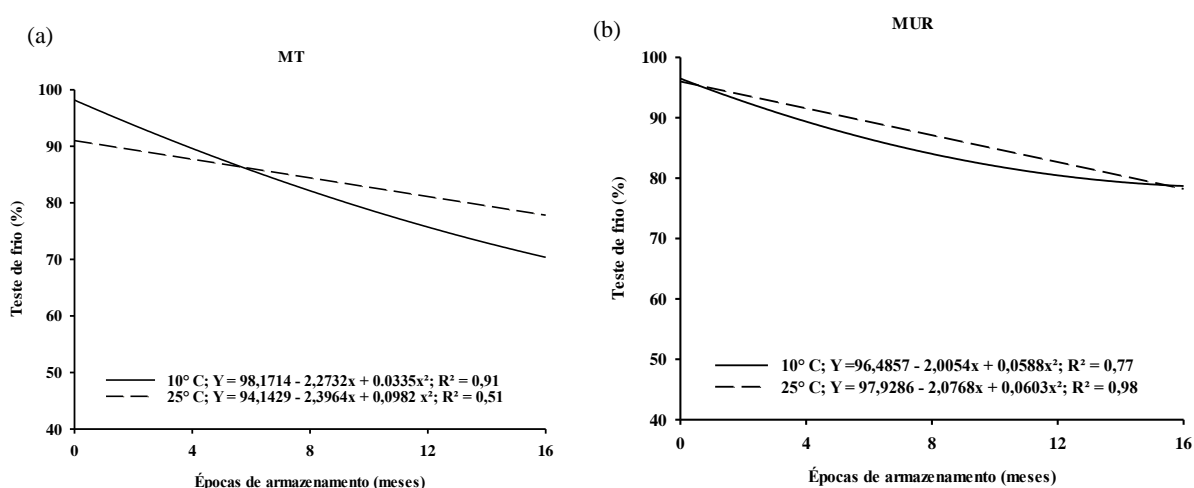
| Secagem | Ambiente 10°C                   |      |      |      |      | Ambiente 25°C                   |      |      |      |      |
|---------|---------------------------------|------|------|------|------|---------------------------------|------|------|------|------|
|         | Épocas de armazenamento (meses) |      |      |      |      | Épocas de armazenamento (meses) |      |      |      |      |
|         | 0                               | 4    | 8    | 12   | 16   | 0                               | 4    | 8    | 12   | 16   |
| MT      | 98 a                            | 88 a | 86 a | 71 b | 72 b | 98 a                            | 78 b | 82 a | 86 a | 77 b |
| MUR     | 98 a                            | 84 a | 89 a | 78 a | 79 a | 98 a                            | 90 a | 86 a | 80 a | 80 a |

Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste F, com 95% de confiança.

Alto vigor, obtido no teste de frio, é importante, pois híbridos com alto desempenho em condições de baixas temperaturas tendem a demonstrar melhores resultados no campo por suportarem maiores adversidades no ambiente (CARVALHO et al., 2015). Segundo a *International Seed Testing Association - ISTA* (1981) e a *Association of Official Seed Analyst - AOSA* (1983) é considerado o teste mais importante para determinar o vigor das sementes de milho.

Ao analisar os resultados da Figura 3, também para teste de frio, observa-se que ao longo das épocas de armazenamento sementes secadas com o método de secagem MUR (Figura 3b) apresentaram menor redução do vigor, independente das condições de armazenagem, em relação às submetidas ao método MT (Figura 3a), com valores em patamares superiores ao longo de todo o armazenamento (Figura 3). O processo de secagem MUR propiciou melhor qualidade fisiológica das sementes durante o armazenamento. Tais resultados estão de acordo com o relatado por Eichol e Peres (2008), que afirmam ocorrer aumento na danificação das sementes de milho quando a umidade relativa do ar de secagem for inferior a 40%.

Figura 3 – Porcentagem de vigor por meio do Teste de frio de sementes de milho híbrido BM709 PRO 2, na safra de inverno, submetidas a dois métodos de secagem, (a) MT: controle apenas de temperatura e (b) MUR: controle de umidade relativa do ar e temperatura máxima, e armazenadas em diferentes condições de ambiente por 16 meses.



Fonte: Da autora (2021).

Aos 16 meses no ambiente de armazenamento a 25°C houve maior lixiviação dos solutos no teste de condutividade elétrica em relação ao armazenamento a 10°C (Tabela 2). O avanço do período de armazenamento e temperatura mais elevada, favoreceram uma maior degradação das sementes, e devido a desestruturação das membranas e consequentemente maiores perdas de solutos celulares. O teste de condutividade elétrica é eficiente na avaliação de danos às membranas celulares (MARCOS FILHO, 2015), sementes degradadas tem maior lixiviação dos solutos, uma vez que as membranas celulares não desempenham de forma eficiente sua função de barreira seletiva nas primeiras etapas do processo de embebição. Isso acaba aumentando os valores de condutividade da solução (MENEZES et al., 2012).



Tabela 2 – Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) para sementes de milho híbrido BM709, armazenadas em diferentes condições de ambiente por 16 meses.

| Ambiente | Épocas de armazenamento (meses) |         |         |         |         |
|----------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|          | 0                               | 4       | 8       | 12      | 16      |
| 10 °C    | 17,85 a                         | 18,65 a | 19,04 a | 18,41 a | 17,90 a |
| 25 °C    | 18,89 a                         | 19,38 a | 18,87 a | 17,79 a | 19,57 b |

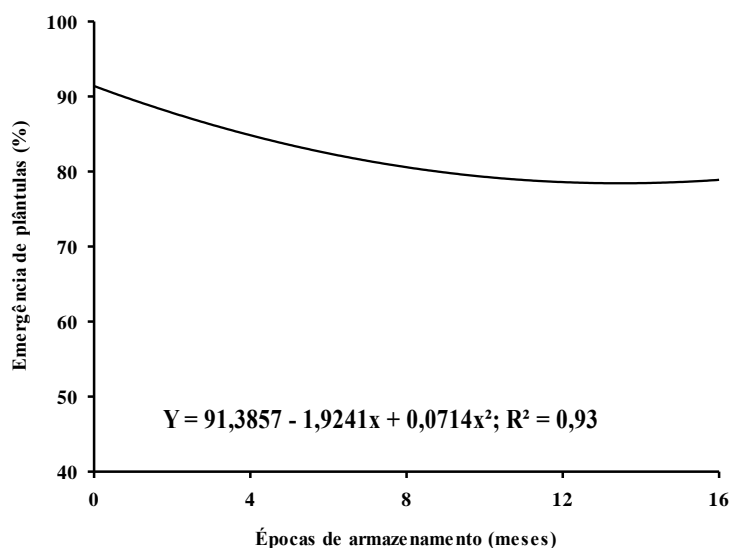
Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, com 95% de confiança ( $p < 0,05$ ).

O ambiente de armazenamento adequado é essencial para a manutenção do vigor das sementes (TIMÓTEO; MARCOS FILHO, 2013; CARVALHO et al., 2014). Temperaturas mais elevadas aumentam as taxas metabólicas das sementes, ocasionando perdas no poder germinativo e no vigor, que é um dos principais problemas enfrentados por produtores, principalmente nas regiões tropicais (HEBERLE et al., 2019). A utilização de temperaturas de armazenamento acima de 15°C, por mais de seis meses, provoca aumentos dos processos metabólicos das sementes de milho reduzindo o percentual de germinação e aumentando a condutividade elétrica em especial na temperatura de secagem de 35°C (PARAGINSKI, 2015).

A emergência de plantas apresentou decréscimos, independente dos métodos de secagem, até 13,47 meses, onde o valor foi mínimo, após esse período os valores se mantiveram em patamares próximos (Figura 4). Resultados semelhantes foram obtidos em lotes de sementes de milho por Pereira et al., (2019), em que o teste de emergência em campo foi eficiente em demonstrar a perda de vigor ao longo do tempo de armazenamento.

O teste de emergência é considerado um bom indicador para inferir sobre o vigor das sementes, pois sua execução simula as condições em que as sementes podem ser expostas após a semeadura no campo, fato que não ocorre no teste de germinação (GUEDES et al., 2011; MARCOS-FILHO, 2015).

Figura 4 – Porcentagem de emergência de plântulas de sementes de milho híbrido BM709 PRO 2 armazenadas por 16 meses.



Fonte: Da autora (2021).

Pelos resultados da análise de variância do híbrido BM812, para a interação dupla ambiente de armazenamento x época de armazenamento houve efeito significativo para os resultados do teste de envelhecimento acelerado e índice de velocidade de emergência. As mesmas variáveis também apresentaram resultados significativos para a interação secagem x ambiente de armazenamento. O fator isolado época de armazenamento demonstrou valores médios significativos para o teste de primeira contagem de germinação, germinação, teste frio e emergência de plântulas.

Sementes do híbrido BM812 quando submetidas ao método de secagem que empregava apenas o controle da temperatura (MT), na condição de armazenamento de 10°C apresentou média superior que a de 25°C para os teste de envelhecimento acelerado, e de forma análoga o índice de velocidade de emergência. Contudo, quando na secagem utilizou-se o método com controle de temperatura e umidade relativa do ar (MUR) não houve diferença de vigor entre as condições de armazenagem (Tabela 3).

Vale salientar que na secagem com o método MT, para esse híbrido nessa época, a UR interna após 12 horas de secagem, até o final do período, esteve em valores abaixo de 20% (Figura 1). Fato que não ocorreu na secagem MUR, devido ao controle de UR entre 25 e 30%.

Os baixos valores de UR na secagem no método MT, abaixo de 20%, pode ter influenciado no processo de secagem e na qualidade das sementes armazenadas.

Tabela 3 – Porcentagem de plântulas normais após o teste de envelhecimento acelerado e índice de velocidade de emergência para sementes de milho do híbrido BM812, secadas por diferentes métodos, MT: controle apenas de temperatura e MUR: controle de umidade relativa do ar e temperatura máxima, e armazenadas em diferentes condições de ambiente.

| Teste de envelhecimento acelerado |         |          |
|-----------------------------------|---------|----------|
| Ambiente                          | Secagem |          |
|                                   | MT      | MUR      |
| 10                                | 75,3 aA | 72,70 aA |
| 25                                | 67,9 aB | 71,40 aA |

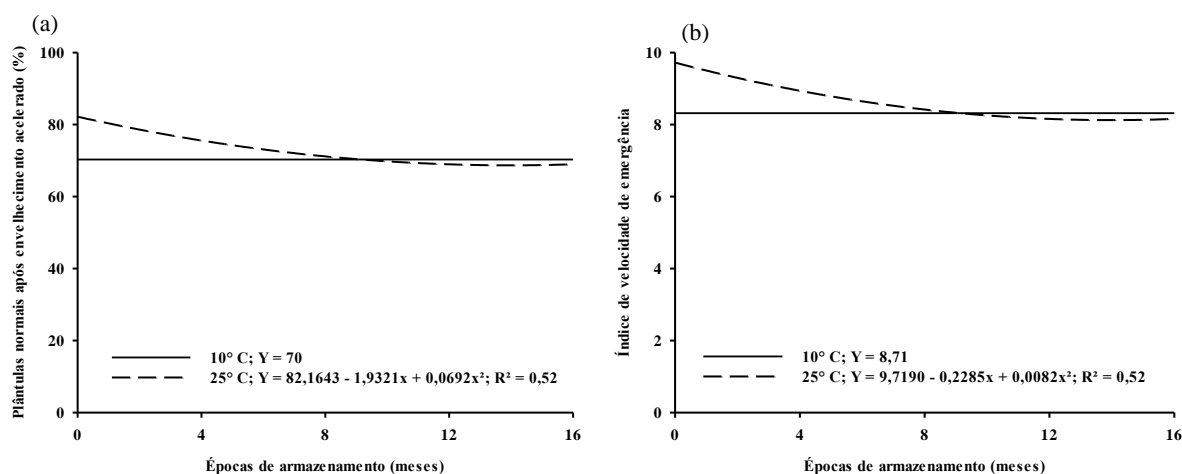
| Índice de velocidade de emergência |         |         |
|------------------------------------|---------|---------|
| Ambiente                           | Secagem |         |
|                                    | MT      | MUR     |
| 10                                 | 8,91 aA | 8,60 aA |
| 25                                 | 8,03 aB | 8,45 aA |

Letras minúsculas iguais nas linhas e letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, com 95% de confiança.

Embora os resultados obtidos por Menezes et al. (2012) referem-se à cultura do arroz, espécie pertencente à mesma família botânica, mas com diferentes estruturas físicas e químicas do milho, corroboram os resultados deste estudo. Os autores relataram que a suscetibilidade das sementes a condições ambientais adversas, como altas umidades relativas, é maior em sementes submetidas a altas temperaturas de secagem e sem controle da umidade relativa do ar. Esse fato é explicado pelos autores como resultado do aumento do número de trincas encontradas nas sementes secadas em altas temperaturas.

O vigor por meio dos testes de envelhecimento acelerado e índice de velocidade de emergência ao longo do período de armazenamento estão apresentados na Figura 5. Mesmo após 16 meses de armazenamento, não houve alteração significativa no vigor das sementes armazenadas a 10°C e 50% UR. Já com o armazenamento a 25 °C houve queda no vigor, apresentando um vigor mínimo pelo teste de envelhecimento acelerado em 13,96 meses e de 13,93 meses no teste de índice de velocidade de emergência.

Figura 5 – Porcentagem de plântulas normais após o teste de envelhecimento acelerado (a) e índice de velocidade de emergência (b) de sementes de milho híbrido BM812, armazenadas por 16 meses.

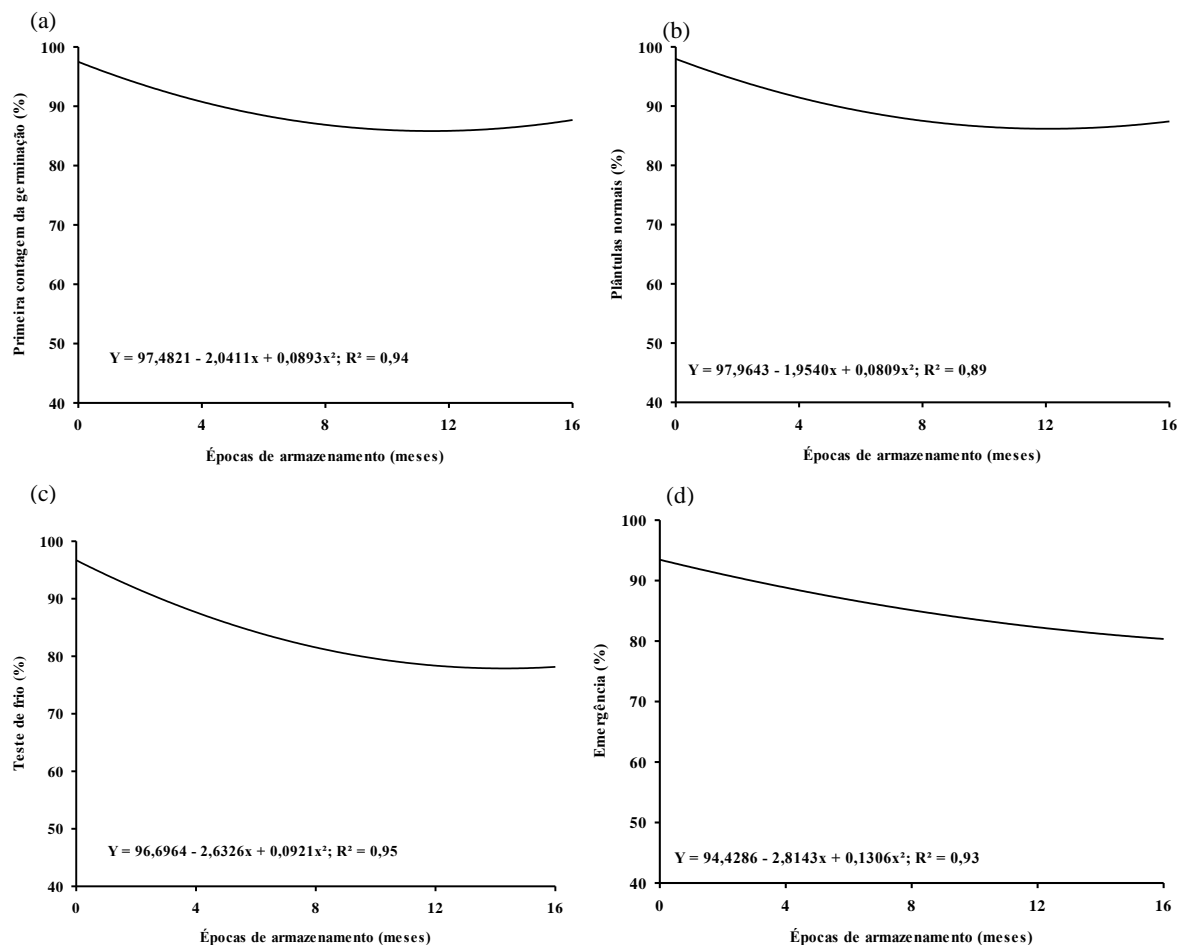


Fonte: Da autora (2021).

A redução da temperatura é uma técnica economicamente viável para preservar a qualidade de sementes armazenadas (DEMITO; AFONSO, 2009). Sementes de milho quando armazenadas em condições controladas, câmara seca e fria, não tem perdas significativas de qualidade ao longo de 12 meses (MAIA et al. 2020).

A diminuição do vigor e germinação ao longo do armazenamento ficou evidente pelos resultados apresentados na Figura 6, para primeira contagem de germinação, germinação, teste de frio e emergência. O comportamento foi semelhante para as variáveis estudadas, com diminuição acentuada na metade inicial do período de armazenamento e então deterioração mais branda ou estabilização.

Figura 6 – Resultados dos testes de Primeira contagem de germinação (a), germinação (b), teste de frio (c) e emergência (d) de sementes de milho híbrido BM812 armazenados por 16 meses.



Fonte: Da autora (2021).

## Safra de verão

Para sementes do híbrido BM709 PRO 2 houve interação significativa para ambiente de armazenamento x época de armazenamento para os resultados do teste de primeira contagem de germinação e germinação. Para ocorrência de *Penicillium* spp. a interação método de secagem x época de armazenamento e efeito isolado para metodologia de secagem nos resultados do teste de frio foram significativos.

As sementes armazenadas em ambiente a 25 °C apresentaram desempenho inferior aos 12 meses de armazenamento para germinação (Tabela 4). Com base nestes resultados em que a velocidade e a germinação foram reduzidas durante o período de armazenamento, isso é

indicativo de degradação do vigor das sementes e do respectivo potencial de armazenamento ao longo do tempo (TILLMANN e MENEZES;2012).

Tabela 4 – Resultados de Primeira contagem de germinação (%) e Germinação (%) para sementes de milho do híbrido BM709 PRO 2, armazenadas por 12 meses em diferentes condições de ambiente.

| Primeira contagem de germinação |                        |         |         |         |
|---------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| Ambiente                        | Época de armazenamento |         |         |         |
|                                 | 0                      | 4       | 8       | 12      |
| 10 °C                           | 93,00 a                | 86,25 a | 84,75 a | 85,75 a |
| 25 °C                           | 90,75 b                | 86,00 a | 84,00 a | 83,50 b |
| Germinação                      |                        |         |         |         |
| Ambiente                        | Época de armazenamento |         |         |         |
|                                 | 0                      | 4       | 8       | 12      |
| 10 °C                           | 94,00 a                | 87,75 a | 85,25 a | 86,25 a |
| 25 °C                           | 90,75 b                | 86,25 a | 84,75 a | 83,75 a |

Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F com 95% de confiança.

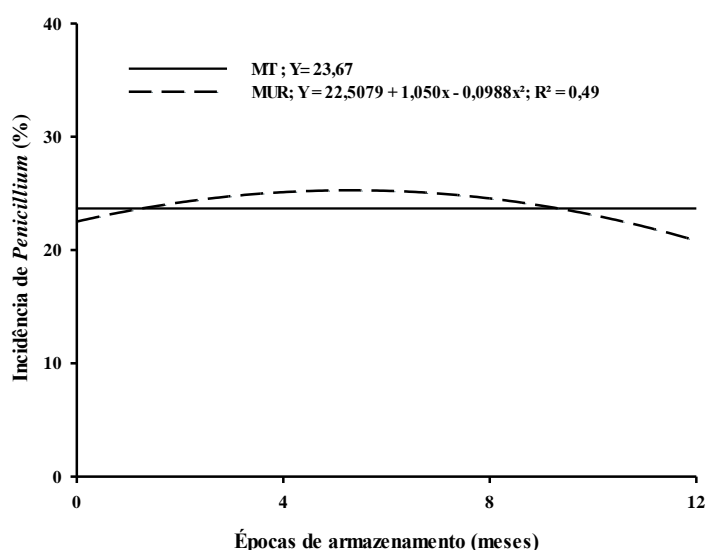
Observando-se os resultados da Tabela 4 e o padrão mínimo de germinação, 85%, preconizado para comercialização de sementes de milho no Brasil pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2013) na Instrução Normativa N° 45 (2013), até os 8 meses houve eficiência de manutenção de qualidade fisiológica em ambas as condições de armazenamento. Aos 12 meses, somente as armazenadas a 10°C atenderiam o padrão mínimo, reiterando a importância da condição de armazenamento, principalmente em períodos mais longos. Comparando os resultados do vigor e da germinação, verifica-se que o vigor apresentou decréscimos mais rápidos, mostrando-se mais sensível à deterioração e reforçando a teoria de que a perda do vigor antecede a germinação (DELOUCHE, 2002).

Lorenzetti (2017) concluiu que o armazenamento de sementes de milho em condições de temperatura controlada (8°C), proporcionam melhor conservação da qualidade fisiológica das mesmas, pelos seis meses de estudo. O benefício da baixa temperatura sobre a manutenção da germinação em sementes de milho também foi averiguado por Carvalho et al. (2010), que verificaram germinação de 96% após cinco meses de armazenamento em câmara fria.

Para incidência de *Penicillium* spp. observa-se que em sementes submetidas a secagem com o método MUR, com o controle de umidade relativa e temperatura máxima, houve uma diminuição da incidência de *Penicillium* spp. nas sementes, na metade final do período de

armazenamento (Figura 7). Wilson et al., (2017), ao utilizar a secagem para se obter um conteúdo de água de armazenamento seguro, com energia de alta intensidade intermitentemente reduziu moderadamente a contaminação por fungos, sem afetar a qualidade das sementes de milho. Postula-se que durante o armazenamento e crescimento microbiano, os fungos utilizam reservas de carboidratos e óleo, levando à perda desses componentes e afetando adversamente a capacidade de germinação (MOHAPATRA et al., 2017).

Figura 7 – Incidência de *Penicillium* spp. (%) em sementes de milho híbrido BM709 PRO2 secadas por diferentes métodos, MT: controle apenas de temperatura e MUR: controle de umidade relativa do ar e temperatura máxima, e armazenadas.



Fonte: Da autora (2021).

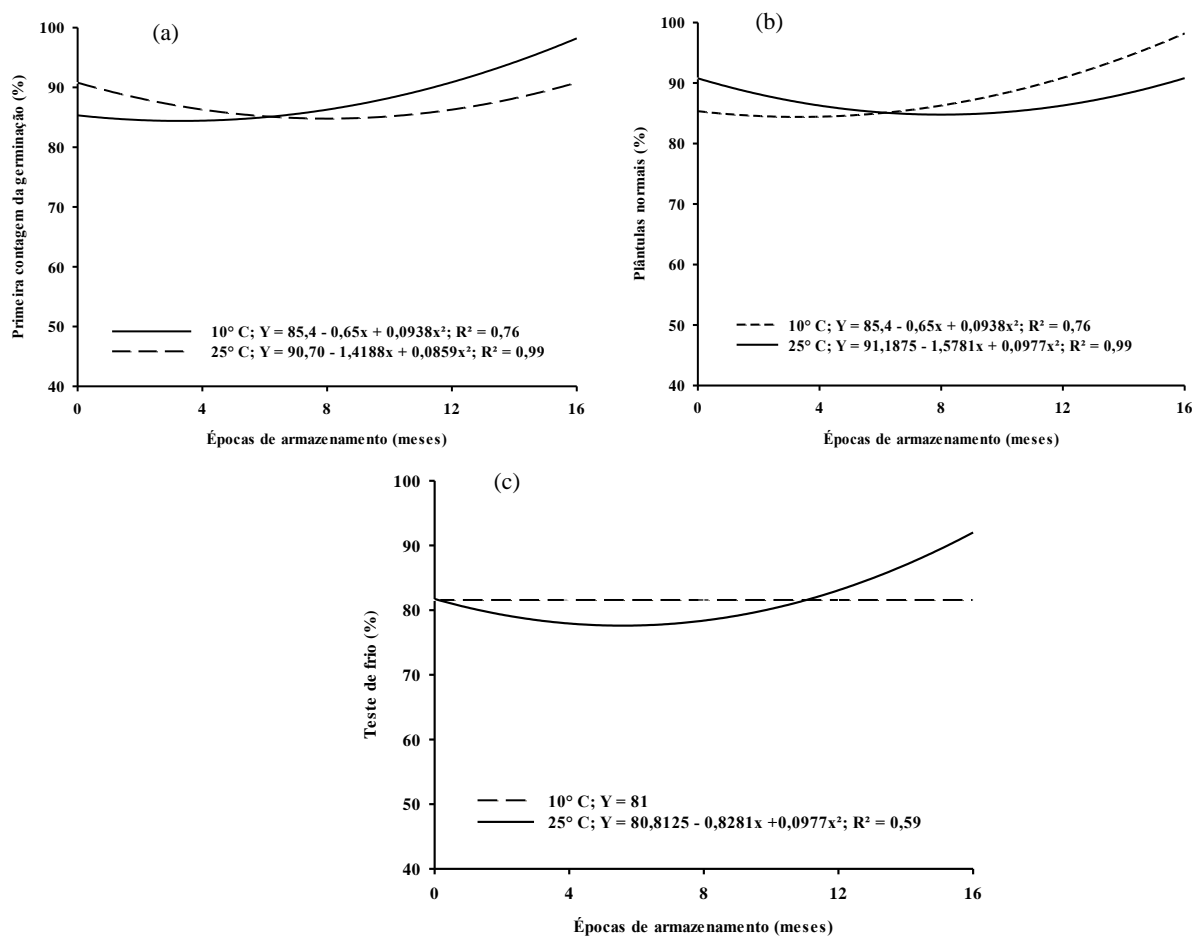
Os melhores resultados para o teste de frio foram obtidos quando se usou o controle da temperatura e umidade relativa do ar de secagem (MUR) do que o com controle apenas da temperatura (MT), com valores distintos de 81,2 % e 78,40 %, respectivamente. Reforçando a relação qualidade de sementes e controle de umidade durante a secagem. Danos causados pela alta temperatura e baixa umidade relativa, ocorridas na secagem MT, explicam a diferença de vigor, devido a possíveis efeitos na embebição em baixa temperatura que ocorre no teste. O teste de frio foi sensível para identificar danos por secagem em estudos com características físicas do pericarpo de sementes de milho associadas com a tolerância à alta temperatura de secagem (JOSÉ et al., 2005).

Ao se estudar sementes de milho híbrido BM812, pelos resultados da análise de variância houve interação significativa para ambiente de armazenamento x épocas de armazenamento nos

resultados dos testes de primeira contagem de germinação, germinação e teste de frio. Para a variável qualidade sanitária, o fator isolado método de secagem apresentou valores significativos para a incidência de *Fusarium spp.* e *Aspergillus spp.*

Os valores obtidos nos testes de primeira contagem de germinação, germinação e teste frio sem solo para avaliação do vigor das sementes estão plotados na Figura 9, observa-se semelhança entre os resultados dos testes ao longo do armazenamento, com valores próximos até 8 meses entre as temperaturas, porém com diferenciação maior na segunda metade do período de armazenamento em que sementes armazenadas a 10°C apresentaram maior qualidade. Ao final do armazenamento, 16 meses, sementes armazenadas a 10°C apresentaram 98,1%, 98,1% e 93,6% para primeira contagem de germinação, germinação e teste frio, ao passo que a 25°C, os valores foram 89,9%, 90,9% e 81%, respectivamente.

Figura 9 – Porcentagens de plântulas normais nos testes de primeira contagem de germinação (a), Germinação (b) e Teste Frio (c) de sementes de milho híbrido BM812 armazenadas em diferentes condições de ambiente.



Fonte: Da autora (2021).

Resultados que reiteram a importância da temperatura de armazenamento, independente dos métodos de secagem, principalmente para períodos mais longos, situação corriqueira no



mercado de sementes de milho. Dentre os fatores que apresentam maior influência na conservação de sementes está a umidade e a temperatura, assim, o controle destes aumenta a longevidade das sementes. Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), umidade relativa do ar tem relação direta com o teor de umidade das sementes, além de controlar a ocorrência dos diferentes processos metabólicos que ela pode sofrer, principalmente a degradação das reservas com o aumento da atividade respiratória.

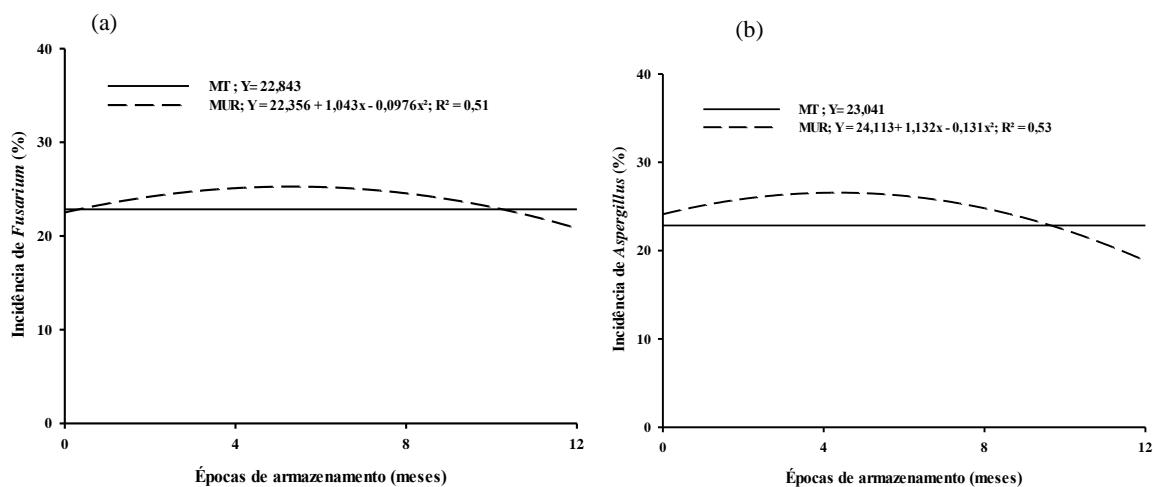
Para a qualidade sanitária, quanto à incidência de *Fusarium* spp. (Figura 10a) e *Aspergillus* spp. (Figura 10b), de modo geral, até 4 meses de armazenamento os valores se mantiveram próximos entre os métodos de secagem, com diferenciação maior a partir de 8 meses, em que sementes secadas com o método MUR, com controle de UR mínima, apresentou valores mais baixos. Ao final dos 16 meses, *Fusarium* spp. e *Aspergillus* spp. eram de 14,05% e 8,69% para MUR e de 22,84% e 23,04% para MT.

A menor incidência de alguns fungos no método de secagem MUR pode estar relacionada à menor ocorrência de injúrias às sementes, como trincas e microfissuras sobretudo no pericarpo e endosperma, com o controle de umidade relativa mínima. Porém mais esclarecimentos são necessários. Umidade relativa do ar muito baixa, pode proporcionar uma retirada de água muito rápida e comprometer a qualidade da secagem. A secagem estacionária de milho em espiga, utilizando ar com umidade relativa entre 40 e 70%, não ocasiona fissuras às sementes de milho (NEVES et al., 2005).

No caso de *Fusarium* spp., durante o armazenamento, houve redução na ocorrência desse patógeno, por se tratar de um fungo de campo e, portanto, perde sua patogenicidade durante o armazenamento, o que também foi observado por Ferreira et al. (2013).

Entretanto, de acordo com os resultados dos testes de germinação e vigor obtidos nesse trabalho, mesmo com uma alta incidência do fungo, as sementes apresentaram bom desempenho demonstrando que não ocorreram prejuízos à qualidade em decorrência da ação fúngica. Um fator que deve ser considerado, é que o armazenamento de sementes em condições adequadas pode contribuir significativamente para a redução na quantidade de fungos, o que pode ser atribuído principalmente à perda da viabilidade do inóculo presente como contaminante superficial na forma de esporos (HENNING et al., 2011).

Figura 10 – Incidência de *Fusarium* spp. (a) e *Aspergillus* spp. (b) em sementes de milho híbrido BM812 secadas por diferentes métodos, MT: controle apenas de temperatura e MUR: controle de umidade relativa do ar e temperatura máxima e armazenadas.



Fonte: Da autora (2021).

#### 4 CONCLUSÕES

O controle de umidade relativa do ar mínima, entre 25 e 30%, além do controle da temperatura máxima 40°C, durante a secagem de sementes de milho colhidas em espiga é favorável a qualidade fisiológica e sanitária das sementes ao longo do armazenamento,

O armazenamento em condições controladas de câmara fria (10°C e 50% UR) promovem melhor manutenção da qualidade fisiológica das sementes de milho em relação ao ambiente climatizado (25°C), após 8 meses de armazenamento.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento à pesquisa e concessão de bolsa de estudos e a empresa Sementes Biomatrix pela parceria.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS (AOSA). **Seed vigour testing handbook**. East Lansing, 1983. 88p. (AOSA. Contribution, 32).
- AVELAR, S. A. G. et al. Armazenamento de sementes de soja tratadas com fungicida, inseticida e micronutriente e recobertas com polímeros líquido e em pó. **Ciência Rural**, v. 41, n. 10, p. 1719-1725, 2011.
- BARBOSA, K. F. et al. Desorption isotherms and isosteric heat of 'cajuzinho-do-cerrado' achenes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 481-486, 2016.
- BOLIGON, S. et al. Avaliação das condições de operação de um trocador de calor para secagem de grãos. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 12, n. 1, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. **Padrões para a produção e a comercialização de sementes**. Brasília (DF): Diário Oficial da União, 20 set. 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análises de sementes**. Brasília: MAPA/SDA/ACS, 399p, 2009.
- CARVALHO, E. R. et al. Alterações isoenzimáticas em sementes de cultivares de soja em diferentes condições de armazenamento. **Pesq. agropec. bras.**, v. 49, n. 12, p.967-976, 2014.
- CARVALHO, E.V. Qualidade fisiológica de sementes de milho sob diferentes condições de armazenamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, vol. 9, n. 3, p. 58-65, 2010.
- CARVALHO, E. R. et al. Temperatures and periods of drying delay and quality of corn seeds harvested on the ears. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 41, n. 3, p. 336-343, 2019.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5.ed. FUNEP: Jaboticabal, 590 p., 2012.
- CARVALHO, I. R. et al. Efeitos fisiológicos atribuídos ao teste de frio e adição de reguladores vegetais em híbridos de milho. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 11, n. 3, p. 1-9, 2015.
- CASTRO, M. B. et al. Physiological quality of maize seeds harvest with different moisture content and submitted to drying delay. **J. of Agric. Food and Development**, v. 1, 2015.
- CONAB. **Quinto levantamento de acompanhamento da safra brasileira de grãos**. 2021.
- CORADI, P. C., LEMES, Â. F. C. Experimental prototype of silo-dryer-aerator of grains using Computational Fluid Dynamics (CFD) system. **Acta Scientiarum Technology**, 41, 2019.

DELOUCHE, J. C. Germinação, deterioração e vigor da semente. *Seed News*, v. 6, n. 6, p. 24-31, 2002.

DEMITO, A; AFONSO, A. D. L. et al. Quality of artificially cooled soybeans seeds. *Engenharia na Agricultura*, v. 17, n. 1, p. 7-14, 2009.

DOYMAZ, İ. Hot-Air Drying and Rehydration Characteristics of Red Kidney Bean Seeds. *Chemical Engineering Communications*, v. 203, n. 5, p. 599–608, 2016.

EICHOL, E. D.; PERES, W. B. Monitoramento da qualidade física de secagem de sementes de milho em secadores estacionários. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 30, n. 2, p. 57-64, 2008.

FERREIRA, V. F. et al. Qualidade de sementes de milho colhidas e despalhadas com altos teores de água. *Journal of Seed Science*, v. 35, n. 3, p. 276-283, 2013.

GUEDES, R. S. et al. Estresse salino e temperaturas na germinação e vigor de sementes de *Chorisia glaziovii* O. Kuntze. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n. 2, p. 279-288, 2011.

HARTER, L. et al. Influência do tratamento em sementes de milho com tiametoxam no teste de condutividade elétrica. *Enciclopédia Biosfera*, v. 15, n. 28, 2018.

HARTMANN FILHO, C. P. H. et al. Physiological quality of second crop soybean seeds after drying and storage. *African Journal of Agricultural Research*, 11(35), 3273-3280, 2016.

HEBERLE, E. et al. Qualidade fisiológica e atividade enzimática de sementes de milho durante o armazenamento. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 3, p. 657-665, 2019.

HENNING, F. A. et al. Qualidade sanitária de sementes de milho em diferentes estádios de maturação. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n. 2, p. 316-321, 2011.

INTERNACIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). **Handbook of vigour test methods**. Zurich, Switzerland, 1981. 72p.

JOSÉ, S. C. B. R. et al. Características físicas do pericarpo de sementes de milho associadas com a tolerância à alta temperatura de secagem. *Rev. bras. sementes*, Pelotas, v. 27, n. 1, p. 125-131, 2005.

KRZYZANOWSKI, F.C.; WEST, S.H.; FRANCA NETO, J.B. Drying soybean seed using air ambient temperature at low relative humidity. *Revista Brasileira de Sementes*, v.28, n.2, p.77-83, 2006.

KÖPPEN, W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la terra*. México. **Fondo Cult. Econ.** 479p.

LORENZETTI, E. et al. Comportamento de sementes de milho submetidas a diferentes condições e período de armazenamento. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v.6, n.1, p.19-29, 2017.

MACHADO, J.C. **Patologia de sementes fundamentos e aplicações**. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE, 106p., 1988.

MAIA, G. S. et al. Qualidade física e fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.) após armazenamento. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 2, p. 276-286, 2020.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v.72, n.4, p.363- 374, 2015.

MENEZES, N. L. de et al. Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 430-436, 2012.

MOHAPATRA, H. et al. Mechanically controlled radical polymerization initiated by ultrasound. **Nature Chemistry**, v. 9, n. 2, p. 135-139, 2017.

MORENO, L. A. et al. Crescimento do milho em resposta a *Azospirillum brasilense* e nitrogênio. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 5, p. 287-294, 2019.

NEVES, E. et al. Secagem de sementes de milho em espiga, em função da altura da camada e fluxo de ar. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 117-124, 2005.

PARAGINSKI, R. T. et al. Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 358-363, 2015.

PEREIRA, L. C. et al. Tratamento industrial e pré-inoculação do milho com *Azospirillum* spp.: potencial fisiológico das sementes e produtividade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.18, n.2, p. 245-256, 2019

PORTO, A. H. et al. Desempenho fisiológico de sementes de *Zea mays* matricionadas em diferentes temperaturas. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n.3, Mai-Jun, 2020, p. 60-71

TILLMANN, M. A. A., MENEZES, N.L. Análise de sementes. In *Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos* (eds. Peske ST, Villela FA, Meneghello GE). Editora Universitária da UFPel, Pelotas. 3.Ed. pp.161-272, 2012.

R Core Team (2018). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

SigmaPlot versão 14.0, da Systat Software, Inc., San Jose, Califórnia, EUA.

TIMÓTEO, T. S.; MARCOS-FILHO, J. Seed performance of different corn genotypes during storage. **Journal of Seed Science**, v.35, n.2, p.207-215, 2013

USDA –UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Production, Supply and Distribution. 2021.

VERGARA, R. O. et al. Períodos de intermitência no processo de secagem de sementes de milho. **J. Seed Sci.**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 193-198, 2018.

VILLELA, F.A.; PERES, W.B. Coleta, secagem e beneficiamento de sementes. In. FERREIRA, A.G.; BORGUETTI, R. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre, ARTMED, p. 265-281, 2004.

WILSON, S.A., et al. Radiant heat treatments for corn drying and decontamination. **J.Food Process Preserv**, v. 41, n. 5, 2017.

XIE, Y., et al. Radio frequency treatment accelerates drying rates and improves vigor of corn seeds. **Food Chemistry**, v. 319, art. no. 126597, 2020.