



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JÉSSICA DE LUCENA MARINHO

**ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA DO TESTE DE
DETERIORAÇÃO CONTROLADA PARA AVALIAÇÃO DO
POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE MILHO
DOCE**

Londrina
2018

JÉSSICA DE LUCENA MARINHO

**ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA DO TESTE DE
DETERIORAÇÃO CONTROLADA PARA AVALIAÇÃO DO
POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE MILHO
DOCE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina como requisito à obtenção do título de mestre em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Inês Cristina de
Batista Fonseca

Coorientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli.

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Marinho, Jéssica de Lucena.

Adequação da metodologia do teste de deterioração controlada para avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho doce / Jéssica de Lucena Marinho. - Londrina, 2018.
83 f. : il.

Orientador: Inês Cristina de Batista Fonseca.

Coorientador: Claudemir Zucareli.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Milho-doce - Semente - Tese. 2. Sementes - Deterioração - Tese. 3. Sementes - Fisiologia - Tese. 4. Germinação - Tese. I. Fonseca, Inês Cristina de Batista. II. Zucareli, Claudemir. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

JÉSSICA DE LUCENA MARINHO

**ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA DO TESTE DE DETERIORAÇÃO
CONTROLADA PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO
DE SEMENTES DE MILHO DOCE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina como requisito à obtenção do título de mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof. Dra. Inês Cristina de Batista
Fonseca
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Coordenador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dra. Carolina Maria Gaspar de Oliveira
Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR

Prof. Dr. Denis Santiago da Costa
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – IFMS

Londrina, 20 de fevereiro de 2018.

Dedico este trabalho

Primeiramente à Deus, que me concedeu a vida e todas as oportunidades;

Aos meus pais, Eliane e Wagner, pelo amor e pela confiança que depositaram em mim;

Ao meu esposo, Henrique, por todo amor e incentivo;

Aos meus orientadores e amigos, pela paciência e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar os momentos difíceis;

À Universidade Estadual de Londrina, seu corpo docente, funcionários em geral, direção e administração que oportunizaram a conquista de um sonho;

À minha orientadora Prof. Dra. Inês Cristina de Batista Fonseca pelos ensinamentos, atenção, paciência e dedicação;

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Claudemir Zucareli pela grande ajuda, pelo acompanhamento durante o desenvolvimento do trabalho, pela compreensão nos momentos difíceis, pelas correções e incentivos;

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos durante os dois anos desta pesquisa;

À empresa Seminis e ao Dr. Paulo Henrique Nardon Felici, pelas sementes fornecidas;

À minha família, e especialmente aos meus pais, Wagner e Eliane, pelos esforços dedicados, pelo amor, pelo incentivo, pelo apoio incondicional e, sobretudo, pelos seus exemplos de caráter e persistência;

Ao meu esposo Henrique, por me acompanhar em cada passo, pela compreensão nos momentos de ausência e por me incentivar em todas as difíceis escolhas ao longo desta caminhada;

Agradeço aos meus amigos da pós-graduação pelo apoio, companheirismo, amizade, convivência e contribuições;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão dessa etapa, o meu muito obrigado!

MARINHO, Jéssica de Lucena. **Adequação da metodologia do teste de deterioração controlada para avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho doce**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

O maior teor de açúcar e a menor quantidade de amido nas sementes de milho doce (*Zea mays* convar. *Saccharata*) as diferenciam das sementes de milho comum e as tornam mais suscetíveis à deterioração, ao ataque de pragas e às doenças. Por isso, a determinação do vigor das sementes, como informação complementar à germinação, é imprescindível, pois permite estimar o potencial de armazenamento e o desempenho inicial no campo. Nesse contexto, a definição de uma metodologia de análise de vigor adequada e padronizada para cada espécie é importante na distinção e seleção de lotes de melhor qualidade. Com base nisso, o trabalho tem por objetivo definir métodos para uniformização do teor de água da semente e adequar a metodologia do teste de deterioração controlada, por meio de combinações de tempo e temperatura, para avaliação do vigor de sementes de milho doce. O trabalho foi conduzido em duas etapas, sendo que a primeira compreendeu o estudo de metodologias para ajuste do teor de água inicial das sementes de milho doce para 20% e a segunda referiu-se à padronização do teste de deterioração controlada para avaliação do vigor dessas sementes. Na primeira etapa, utilizando apenas um lote de sementes, foram conduzidos dois experimentos, ambos sob delineamento inteiramente casualizado. No primeiro, foram avaliadas diferentes quantidades de água no papel (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 vezes a massa do papel) para hidratação das sementes através do método do substrato úmido, com quatro repetições. No segundo experimento, foram avaliados quatro métodos de umedecimento, sendo eles: substrato úmido (SU), atmosfera úmida (AU), imersão em água (IA) e adição da quantidade de água requerida (AR), com seis repetições de 100 sementes. Os dois experimentos da primeira etapa foram conduzidos sob temperatura constante de 25°C e, ao final de cada fase, foi determinado o teor de água e o potencial fisiológico das sementes pelos testes de primeira contagem, teste de germinação (plântulas normais, anormais e sementes mortas), condutividade elétrica, comprimento e massa seca de plântulas. Na segunda etapa, referente a padronização do teste de deterioração controlada, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 8x6, sendo 8 combinações de tempo e temperatura e seis lotes de sementes de milho doce, com quatro repetições. Inicialmente foi determinada a qualidade inicial de seis lotes classificando-os quanto ao teor de água e nível de vigor e germinação iniciais. Após a deterioração, determinou-se a porcentagem de germinação das sementes, aos quatro e aos sete dias depois da semeadura. Computou-se também a porcentagem de sementes mortas na última contagem. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. A caracterização inicial e a germinação após a deterioração, foram submetidas a estudo de correlação linear simples a 5%, com os testes da caracterização inicial. Dentre as quantidades de água testadas no substrato, a proporção de 2,5 vezes a massa do papel, mostra-se adequada para hidratação de sementes de milho doce. Quanto aos métodos de umedecimento, a atmosfera úmida reduz o potencial fisiológico das sementes e o substrato úmido não altera o potencial fisiológico das

mesmas, sendo indicado para a hidratação de sementes desta espécie. O teste de deterioração controlada, avaliado por meio da porcentagem de plântulas normais na primeira contagem e da germinação, é apropriado para estimar o potencial fisiológico de sementes de milho doce. As combinações 8h–40°C e 8h–45°C, são eficientes na distinção do vigor de lotes de sementes de milho doce para as duas variáveis, primeira contagem e germinação, avaliadas após a deterioração. O menor período de exposição (8 horas) e a primeira contagem da germinação, após a deterioração, são mais indicados para a avaliação do vigor de sementes de milho doce por meio da deterioração controlada, pois reduzem o tempo de realização do teste.

Palavras-chave: *Zea mays*. Germinação. Vigor. Tempo. Temperatura. Umedecimento de sementes.

MARINHO, Jéssica de Lucena. **Adequacy of the methodology of controlled deterioration test to evaluate the physiological potential of sweet corn seeds.** 2018. 83 p. Dissertation (Master Degree in Agronomy) – Londrina State University, Londrina, 2018.

ABSTRACT

The higher sugar content and the lower amount of starch in sweet corn seeds (*Zea mays* convar. *Saccharata*) differentiate them from common corn seeds and make them more susceptible to deterioration, pest and disease attack. That is why, the determination of seed vigor, as a complementary information to germination, is indispensable and allows to estimate the storage potential and the initial performance in the field. In this context, the definition of an adequate and standardized vigor analysis methodology for each species is important for the distinction and selection of better quality lots. Based on this, the present work aims to define methods to standardize the moisture content and to adapt the methodology of the controlled deterioration test, comparing combinations time and temperature, to evaluate the vigor of sweet corn seeds. The work was carried out in two stages, the first one included the determination of the methodology for adjusting the initial moisture content of sweet corn seeds to 20%, and the second referred to the standardization of the controlled deterioration test for vigor evaluation of these seeds. In the first stage, using only one lot of seeds, two experiments were conducted, both under a completely randomized design. In the first one, different moistures (1,5, 2,0, 2,5, 3,0 and 3,5 times the paper mass) were evaluated for the hydration of the seeds through the humid substrate method, with four replications. In the second experiment, four moistening methods were evaluated: wet substrate (SU), humid atmosphere (AU), immersion in water (AI) and addition of required amount of water (RA), with six replications of 100 seeds. The two experiments of the first stage were conducted under a constant temperature of 25°C and, at the end of each phase, the moisture content and physiological potential of the seeds were determined by the tests: first count, germination test (normal seedlings, abnormal seedlings and dead seeds), electrical conductivity, length and dry mass seedlings. In the second stage, concerning the standardization of the controlled deterioration test, the experiment was conducted in a completely randomized design in an 8×6 factorial scheme, with 8 combinations of time and temperature and six lots of sweet corn seeds, with four replications. Initially, the six lots were classified according to the moisture content, germination and vigor level. After deterioration, seed germination percentage was determined after four and seven days of sowing. The percentage of dead seeds at the last count was also calculated. The data were submitted to analysis of variance, and the means were compared by the Tukey test at 5%. The initial characterization and germination after deterioration were submitted to a simple linear correlation study at 5%, with the initial characterization tests. Among the amounts of water tested on the substrate, the proportion of 2.5 times paper mass is adequate for sweet corn seed hydration. As for wetting methods, the humid atmosphere reduces the physiological potential of the seeds, and the humid substrate does not alter the physiological potential of the seeds, being indicated for the hydration of the seeds of this specie. The controlled deterioration test, evaluated by the percentage of normal seedlings in the first count and the germination, is suitable for estimating the

physiological potential of sweet corn seeds. The 8h-40 ° C and 8h - 45 ° C combinations are efficient in distinguishing the vigor of sweet corn seed lots for the two variables, first counting and germination, evaluated after deterioration. The shortest exposure period (8 hours) and the first germination count, after deterioration, are best indicated for evaluating the vigor of sweet corn seeds by means of controlled deterioration, since they reduce the time of the test.

Key words: *Zea mays*. Germination. Vigor. Time. Temperature. Moistening of seeds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

REVISÃO DE LITERATURA

- Figura 1** – Centro de origem do milho doce, com destaque para a região do México.....15
- Figura 2** – Aspecto vítreo e enrugado da semente de milho doce16
- Figura 3** – Mecanismos fisiológicos, decorrentes da ação dos genes recessivos, responsáveis pelas características intrínsecas das sementes de milho doce20
- Figura 4** – Padrão trifásico de embebição de água pelas sementes durante a germinação21

LISTA DE TABELAS

ARTIGO A

- Tabela 1** – Caracterização de umidade e do potencial fisiológico inicial (germinação e vigor) do lote de sementes de milho doce utilizado no experimento..... 50
- Tabela 2** – Grau de umidade e características fisiológicas de sementes de milho doce embebidas por diferentes teores de água no papel, através do método do substrato úmido 51
- Tabela 3** – Grau de umidade e características fisiológicas das sementes de milho doce embebidas por diferentes métodos de umedecimento..... 55

ARTIGO B

- Tabela 1** – Grau de umidade e características fisiológicas de seis lotes de sementes de milho doce 70
- Tabela 2** – Primeira contagem de germinação de lotes de sementes de milho doce, com teor de água de 20%, após o teste de deterioração controlada com diferentes combinações de tempo e temperatura 71
- Tabela 3** – Germinação de lotes de sementes de milho doce, com teor de água de 20%, após o teste de deterioração controlada com diferentes combinações de tempo e temperatura..... 71
- Tabela 4** – Sementes mortas, no teste de germinação, de lotes de sementes de milho doce, com teor de água de 20%, após o teste de deterioração controlada com diferentes combinações de tempo e temperatura 74
- Tabela 5** – Coeficientes de correlação linear simples entre a porcentagem de plântulas normais na primeira contagem da germinação após deterioração controlada sob diferentes combinações de tempo/temperatura e demais testes de vigor, em sementes de milho doce..... 75
- Tabela 6** – Coeficientes de correlação linear simples entre a germinação após deterioração controlada sob diferentes combinações de tempo/temperatura e demais testes de vigor, em sementes de milho doce..... 76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
USDA	United States Department of Agriculture
ISTA	Internacional Seed Testing Association
AOSA	Association of Official Seed Analysts
BOD	Biochemical Oxygen Demand
su1	Sugary-1
bt2	Brittle
sh2	Shruken

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Aspectos Gerais da Cultura.....	15
2.1.1	Características do Milho Doce.....	15
2.1.2	Importância do Milho Doce.....	17
2.2	Características da Semente de Milho Doce	18
2.3	Absorção de Água pela Semente.....	20
2.4.	Vigor das Sementes	23
2.4.1	Deterioração e Vigor.....	23
2.4.2	Avaliação do Vigor de Sementes	26
2.4.3	Deterioração Controlada	30
	REFERÊNCIAS	34
3	ARTIGO A - MÉTODOS DE HIDRATAÇÃO E POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE MILHO DOCE	42
3.1	RESUMO	42
3.2	ABSTRACT.....	43
3.3	INTRODUÇÃO	44
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	45
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.5.1	Experimento 1: diferentes teores de água no substrato úmido.....	50
3.5.2	Experimento 2: Métodos de umedecimento de sementes de milho doce	54
3.6	CONCLUSÕES	58
3.7	REFERÊNCIAS	61
4	ARTIGO B -TESTE DE DETERIORAÇÃO CONTROLADA NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE MILHO DOCE	64
4.1	RESUMO	62
4.2	ABSTRACT.....	63
4.3	INTRODUÇÃO	64
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	66
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.6	CONCLUSÕES	78
4.7	REFERÊNCIAS	81
	CONCLUSÕES GERAIS	83

1 INTRODUÇÃO

O milho doce (*Zea mays* convar. *Saccharata*), classificado como especial, destina-se basicamente ao consumo humano. Devido a sua forma de cultivo e utilização, principalmente como milho verde, é considerado uma hortaliça, com emprego diversificado, sendo encontrado em diferentes formas, *in natura*, processado e como enlatados em conserva.

O maior teor de açúcar e a menor quantidade de amido caracterizam as sementes de milho doce e as diferenciam das de milho comum. Essa característica deve-se, exclusivamente, a ação de genes recessivos individuais ou associados, que modificam a composição química do endosperma pelo aumento do teor de açúcar e redução do teor de carboidratos, o que afeta diretamente a aparência e a qualidade das mesmas. Essas características químicas e genéticas das sementes de milho doce as definem como problemáticas, já que a espessura reduzida do pericarpo e a alta quantidade de açúcares favorecem a ocorrência de danos mecânicos, a infestação por pragas e patógenos e a deterioração. Por isso, essas sementes apresentam menor potencial de armazenamento e baixo vigor, o que afeta o estabelecimento e a uniformidade do estande no campo.

Nesse sentido, a classificação de sementes de milho doce, através do potencial germinativo e de testes de vigor, é fundamental para assegurar a qualidade e auxiliar empresas produtoras de sementes quanto ao armazenamento e comercialização. Assim, a definição de uma metodologia de análise adequada, que possibilite a distinção de lotes, mesmo nos estádios iniciais de deterioração, é essencial, pois a partir desta classificação é possível descartar lotes com qualidade abaixo do padrão estabelecido, ou até mesmo tomar medidas que retardem a progressão da deterioração, minimizando riscos e prejuízos à empresa ou ao produtor.

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas buscando aperfeiçoar e padronizar testes para a avaliação do vigor das sementes das espécies cultivadas, sendo poucos os que demonstram precisão e reprodutibilidade. Testes que promovem o envelhecimento artificial das sementes e utilizam o poder germinativo delas, após o estresse como indicativo de vigor, se mostram promissores.

A deterioração controlada é um desses testes que, assim como o envelhecimento acelerado, expõe a sementes a condições de alta umidade e

temperatura. Entretanto, na deterioração controlada as sementes são hidratadas antes do estresse e o teor de água permanece constante durante todo período do teste, o que o torna mais eficiente na distinção de diferentes potenciais fisiológicos que o envelhecimento acelerado.

O método de umedecimento utilizado é um dos fatores que afetam a velocidade de absorção de água pela semente e deve ser definido de modo a evitar a penetração acelerada e demasiada da água, o que pode provocar desorganização da membrana celular ou rupturas em seus tecidos, o que causaria danos irreversíveis e intensificaria a deterioração, tornando uma semente, anteriormente viável, como não viável.

Além disso, o tempo e a temperatura de exposição das sementes à deterioração controlada também devem ser definidos de forma a não causar danos adicionais e sim evidenciar os danos pré-existentes nas mesmas.

Condições de alta umidade e temperatura desencadeiam o processo de deterioração das sementes, sendo que sementes danificadas apresentam deterioração mais acelerada e acentuada, e sementes vigorosas resistem mais ao estresse, o que contribui para a discriminação dos lotes. Contudo, períodos de exposição muito curtos ou muito longos podem ser ineficientes na determinação do vigor, seja pela ineficiência em promover a deterioração ou por acarretar a degradação em demasia, o que pode mascarar o resultado obtido. O ajuste da temperatura mais adequada para a condução do teste também é de extrema importância, uma vez que diferentes espécies apresentam diferentes graus de tolerância a determinadas temperaturas.

Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo definir o método para elevação e uniformização do teor de água das sementes e adequar a metodologia do teste de deterioração controlada, por meio de combinações de tempo e temperatura, para avaliação do vigor de sementes de milho doce.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos Gerais da Cultura

2.1.1 Características do Milho Doce

O milho doce (*Zea mays* convar. *Saccharata*) é uma planta pertencente à família das Poáceas, tribo *Maydeae* e gênero *Zea*, e tem como centro de origem e domesticação a América Central e do Sul, abrangendo, principalmente, a região onde se situa o México (Figura 1) (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007). Teorias sustentadas por provas arqueológicas e genéticas sugerem que o surgimento do milho doce tenha ocorrido através de mutação, sendo a domesticação promovida pelas civilizações existentes, processo que consolidou a existência e importância da cultura como fonte de carboidrato (SOUSA; PAES; TEIXEIRA, 2012).

Figura 1 – Centro de origem do milho doce, com destaque para a região do México.



Fonte: elaborada pela autora.

As características botânicas e reprodutivas do milho doce são similares a do milho comum (ARAGÃO, 2002). O ciclo da cultura é anual e a propagação é feita por sementes, sendo a semeadura realizada diretamente no campo. A altura da planta pode variar de 1,30 a 2,50 m, sendo o caule ereto,

cilíndrico, fibroso, recoberto pela bainha da folha. As folhas são flexíveis, de tamanho médio a grande e, possuem uma nervura central bem visível (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007).

A principal diferença entre o milho comum e o doce está na semente, que depois da maturação fisiológica perde água lentamente e, quando atinge a umidade ideal para o armazenamento, em torno de 13%, apresenta aspecto vítreo e enrugado (Figura 2). Essa conformação deve-se a cristalização dos açúcares, que estão em maior concentração nas sementes de milho doce, e pela menor quantidade de amido no endosperma, se comparada à do milho comum (STORCK; LOVATO, 1991).

Figura 2 – Aspecto vítreo e enrugado da semente de milho doce.



Fonte: elaborada pela autora.

O milho doce apresenta como principal característica um maior teor de açúcares (9 a 25%) e menor teor de amido (30 a 35%), em relação ao milho comum (que apresenta cerca de 3% de açúcar e 60 a 70% de amido) (ARAGÃO, 2002; SOUZA et al., 2013).

Essas alterações na composição química ocorrem devido a ação de genes recessivos, que se manifestam individualmente ou associados em

combinações duplas ou triplas, e bloqueiam a conversão de açúcares em amido. Os principais genes responsáveis por esta característica são o sugary-1 (su1), brittle (bt2) e shruken (sh2), sendo o gene su1 detectado em cultivares de milho do grupo doce cristal, que apresentam como característica um curto período de colheita, já que os grãos permanecem pouco tempo no ponto ideal, o que resulta em perda do sabor adocicado. Cultivares de milho do grupo super doce possuem o gene bt2 ou sh2 na forma homozigota recessiva, o que confere um incremento de, aproximadamente, 25% no teor de sacarose do endosperma dos grãos imaturos, sendo o teor de amido reduzido de 30 a 35%, quantidade presente em cultivares portadoras do gene su1, para 15 a 25% (ARAÚJO et al., 2006; OLIVEIRA JR et al., 2006; LUZ et al., 2014).

2.1.2 Importância do Milho Doce

A cultura do milho é uma das mais cultivadas em todo o mundo, sendo amplamente utilizada na alimentação animal, humana e na indústria, devido principalmente às reservas energéticas presentes nos grãos (CONAB, 2015). No Brasil o milho é o principal cereal produzido, e desempenha papel fundamental na cadeia social, econômica e alimentar do país, sendo a exploração da cultura realizada durante o ano, com destaque para a segunda safra do cereal que tem contribuído para a expansão da área cultivada e para o aumento do volume de grãos produzidos (CONAB, 2016).

O milho doce, por sua vez, tem maior popularidade nos Estados Unidos e Canadá, e sua utilização como hortaliça tem crescido cada vez mais na região leste da Ásia e no continente Europeu (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007).

A produção mundial dessa cultura em 2013 foi de, aproximadamente, 9 milhões de toneladas de espigas, em uma área de 1,04 milhões de hectares, sendo o centro dos Estados Unidos e o sul do Canadá, as regiões que se destacaram como as maiores produtoras de milho doce (SOUZA et al., 2013).

Estes valores podem parecer insignificantes quando comparados à produção de grãos, mas são significativos para produção de hortaliças. Dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos indicam que, em 2014, a produção de milho doce no país gerou cerca de US\$ 1,02 bilhão, o que comprova o grande volume de produção e a relevância da cultura (USDA, 2017).

No Brasil, os principais estados produtores são o Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal e Pernambuco, sendo que a principal forma de comercialização da cultura é como milho verde enlatado, já que não se tem o hábito de consumir essa cultura *in natura* no país (PEREIRA FILHO; TEIXEIRA, 2016).

Apesar dos dados estatísticos referentes à produção de milho doce serem pouco precisos, já que são apresentados juntamente com a produção de milho verde que pode incluir outros grupos de milho, estimou-se que no Brasil, o cultivo desse grupo de milho ocupa uma área de, aproximadamente, 36 mil hectares, sendo no estado de Goiás onde se concentra 90% das lavouras, pois nessa região há possibilidade de cultivo durante o ano todo (LUZ et al., 2014; PEREIRA FILHO; TEIXEIRA, 2016).

O Brasil possui grande potencial e aptidão climática para a produção de milho doce, já que é grande produtor de milho comum (BRITO et al., 2013). Contudo, a quantidade reduzida de genótipos adaptados para condições tropicais, bem como o baixo número de cultivares comerciais disponíveis são fatores limitantes à expansão do cultivo e ao aumento do consumo da cultura no país (OLIVEIRA, 2016).

A planta é conduzida como espécie hortícola, e apresenta potencial para se tornar uma importante fonte de renda para pequenos agricultores e para o Brasil, pois possui maior valor agregado, principalmente se comercializado na forma *mini processada* (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007).

O milho doce destinado ao consumo humano (*in natura*), destaca-se pela maior palatabilidade, decorrente da maior proporção de açúcar em relação ao teor de amido nos grãos. Contudo, essa maior quantidade de açúcar impede o preparo de alguns pratos tradicionais, como o cural e a pamonha, que requerem matéria prima com maior teor de amido (PEREIRA FILHO; TEIXEIRA, 2016).

2.2 Características da Semente de Milho Doce

Durante a maturação, o milho doce, portador de genes mutantes que impedem a conversão de açúcares em amido, acumula o açúcar solúvel assimilado, formando internamente uma solução açucarada com um potencial osmótico cada vez mais negativo à medida que a solução se concentra. Isso diminui o gradiente de

potencial de água entre a atmosfera e a semente, reduzindo a taxa de secagem desta. Por isso as sementes de milho doce, principalmente as que possuem o gene *shrunken-2* (de caráter super doce), requerem um período maior para atingir o grau de umidade adequado para colheita em comparação ao milho comum e, portanto, geralmente são produzidas em regiões áridas (WILSON JUNIOR; MOHAN, 1998).

Para milho comum, o estágio em que as sementes alcançam o acúmulo máximo de matéria seca, ocorre em torno de 50 a 60 dias após a polinização, quando o grau de umidade está em torno de 30 a 38% (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). O milho doce também atinge o máximo de matéria seca aos 60 dias após a polinização, contudo nesse período apresenta cerca de 55% de umidade, em torno de 15 a 20% a mais do que o milho comum (NETTO et al., 2007).

Isso comprova que, embora a taxa de perda de umidade seja diferente, o período de acúmulo de matéria seca do milho doce é semelhante ao de milho comum, ainda que o peso máximo do primeiro seja menos da metade do segundo (WILSON JUNIOR; MOHAN, 1998).

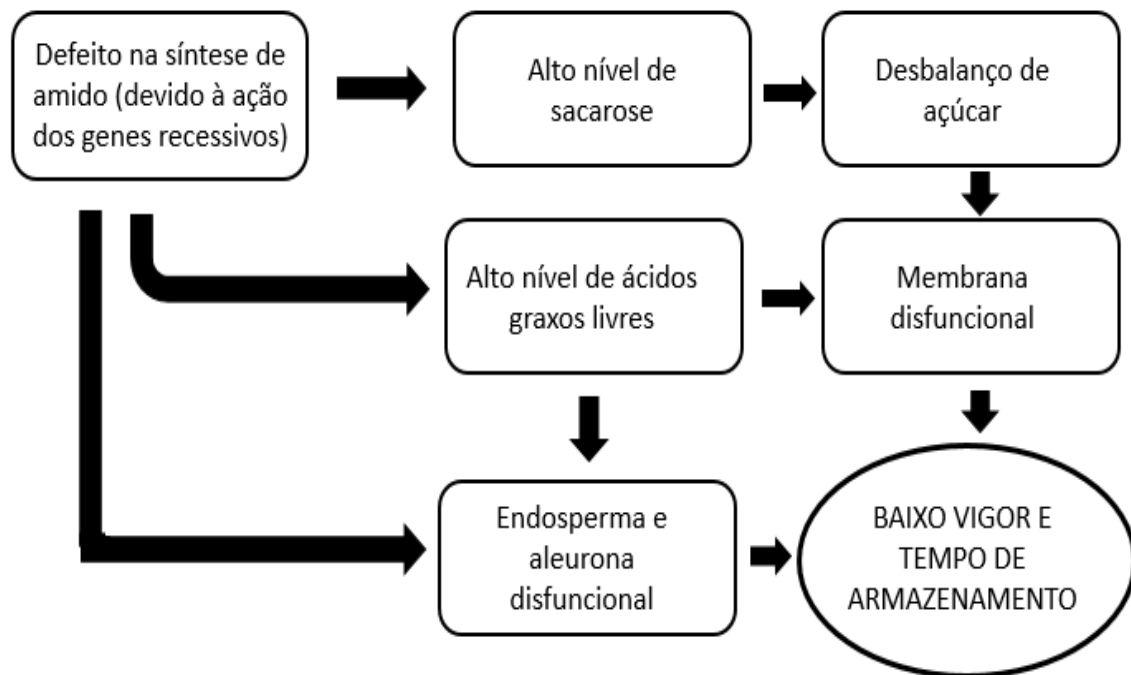
É importante ressaltar que para milho doce, geralmente, o ponto de acúmulo máximo de matéria seca não coincide com o ponto de máxima qualidade fisiológica (ARAUJO et al., 2006). Cavariani, Silva e Nakagawa (1998) constataram que a máxima qualidade fisiológica para milho doce, expressa por 97% de germinação, 70% de vigor e 96% de emergência em campo, foi atingida aos 70 dias após a polinização, cerca de 10 após o estágio de máximo acúmulo de matéria seca.

No endosperma do milho comum, o processo de degradação do amiloplasto segue uma progressão ordenada e o resíduo lipídico, ácido fosfatídico e os ácidos graxos livres, ficam retidos no grânulo de amido. Já no endosperma do milho doce, como tem pouco amido, os produtos da degradação lipídica ficam móveis e extraíveis. A intolerância à dessecação da aleurona, causada pelo alto nível de sacarose, contribui para a lipólise. Os ácidos graxos livres, acumulados no endosperma, são agentes tensoativos que elevam a permeabilidade da membrana e a instabilidade oxidativa (WILSON JUNIOR; MOHAN, 1998). Isso contribui para tornar as membranas frágeis e suscetíveis a rupturas, diminuindo o vigor das sementes.

Além disso, de acordo com Styer e Cantliffe (1984), as sementes de milho doce apresentam disfunção no escutelo, em relação ao metabolismo e ao uso de carboidratos. Wilson Junior e Mohan (1998) destacam que o nível alto de açúcar

torna o endosperma das sementes de milho doce altamente disfuncional, podendo a sacarose invadir o embrião e causar um desequilíbrio com a rafinose, o que resulta em uma semente com baixo vigor e fraco potencial de armazenamento (Figura 3).

Figura 3 – Mecanismos fisiológicos, decorrentes da ação dos genes recessivos, responsáveis pelas características intrínsecas das sementes de milho doce.



Fonte: Wilson Junior e Mohan (1998).

2.3 Absorção de Água pela Semente

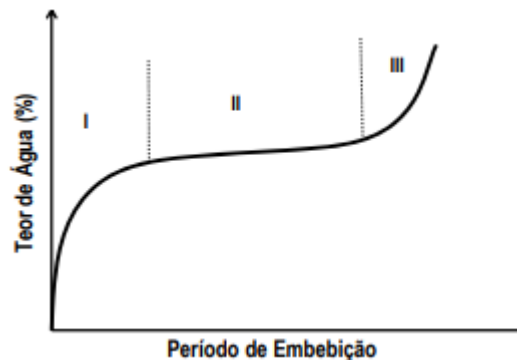
A absorção de água pela semente ou hidratação é um processo físico que reidrata seus tecidos e intensifica a respiração, ativando assim, todas as outras atividades metabólicas, que resultam no desdobramento de moléculas que gera a energia e os nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento do eixo embrionário (MARCOS FILHO, 2015).

Segundo Bewley et al. (2013), o processo de absorção de água pela semente obedece um padrão trifásico (Figura 4). A primeira fase, denominada embebição, é caracterizada pela rápida absorção de água por sementes vivas ou mortas e, por isso, envolve apenas um processo físico de difusão, sendo o teor de

água atingido ao final dessa fase próximo a 35-40% dependendo do tipo de tecido de reserva.

Na segunda fase, a velocidade de absorção sofre uma redução, tornando-se quase que constante. Ainda que sementes mortas ou dormentes (exceto àquelas com tegumento impermeável) possam atingir a fase II de absorção, somente àquelas capazes de germinar completam a terceira fase, caracterizada pela elevação da taxa de absorção e da atividade respiratória, o que coincide com o processo de divisão celular identificado pela protusão do eixo embrionário, seguido pela expansão das estruturas da planta (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). A duração de cada fase de absorção está diretamente relacionada às características das sementes, conforme a espécie, e às condições ambientais (BEWLEY et al., 2013).

Figura 4 – Padrão trifásico de embebição de água pelas sementes durante a germinação.



Fonte: Bewley e Black (1978).

A absorção de água é diferente para cada tecido da semente e, por isso Carvalho e Nakagawa (2012) estabeleceram uma sequência crescente de absorção de água composta pelo tegumento, tecido de reserva e tecidos meristemáticos, que absorvem a maior quantidade. Diferentes potenciais de água críticos, específicos para cada tipo de semente, controlam a embebição, a expansão e a divisão celular (MARCOS FILHO, 2015).

Diversos fatores interferem na fase inicial de embebição das sementes como a espécie, a disponibilidade de água, a área de contato entre a semente e o substrato, a temperatura, a composição do material de reserva, a

permeabilidade do tegumento, a pressão osmótica da água, o tempo de exposição ao ambiente úmido, o teor de água inicial e a qualidade fisiológica (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015). Nesta fase, a absorção de água aumenta o volume da semente e causa a ruptura do envoltório da mesma, permitindo assim a protusão do eixo embrionário e o desenvolvimento da plântula (BORTOLOTTO et al., 2008).

O processo de entrada e penetração da água nas sementes é regulado pelo potencial hídrico celular, e ocorre por difusão ou capilaridade, sempre do maior para o menor potencial. Por isso, a embebição (fase I) é visualizada como um processo físico altamente dependente da permeabilidade do tegumento e dos colóides que constituem a semente (BEWLEY et al., 2013; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Segundo Mertz et al. (2009) a permeabilidade do tegumento a água aumenta quanto maior for o grau de deterioração da semente, o que foi comprovado por Huth (2015) em sementes de soja.

De acordo com Cavariani et al. (2009) a taxa de absorção de água pela semente pode ser um indicativo de qualidade fisiológica. Galindo (2006) trabalhando com mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) constatou que sementes de menor qualidade fisiológica apresentaram maiores taxas de absorção de água nas primeiras horas de embebição, o que pode estar relacionado com a integridade do tegumento, já que sementes de baixa qualidade geralmente apresentam rachaduras no envoltório.

Por outro lado, Rego et al. (2014) observaram que a absorção de água por lotes de sementes de soja, com diferentes níveis de vigor, não obteve correlação com as avaliações iniciais dos lotes, sendo assim, concluíram que o teste de embebição em água, nas condições testadas, não foi eficiente na avaliação do vigor das sementes de soja.

A extensão da fase I é um processo físico dependente da temperatura, sendo mais rápido em condição de alta temperatura (CARVALHO et al., 2009), no entanto, a quantidade final de água absorvida será a mesma, independente da temperatura (ZUCARELI et al., 2008).

Em condições de excesso de água e potencial hídrico muito reduzido, a embebição acelerada pode causar rupturas de tecidos e a desorganização de membranas o que favorece, além da falta de oxigênio, a

respiração anaeróbia, acarretando assim prejuízos irreversíveis (ROSSETTO et al., 1997; ZUCARELI et al., 2008). Silva e Carvalho (2008), observaram que o excesso de água na embebição reduz a germinação de plântulas de feveira (*Clitoria fairchildiana*), o que pode estar relacionado com o aumento da respiração anaeróbia que provoca a morte de tecidos, através produção de substâncias tóxicas.

2.4 Vigor das Sementes

2.4.1 Deterioração e Vigor

O vigor das sementes está diretamente relacionado à deterioração, sendo ambos inversamente proporcionais. Segundo Delouche e Baskin (1973), a deterioração de sementes pode ser definida como toda transformação degenerativa irreversível que ocorre após a maturidade das sementes, o que inclui alterações químicas e fisiológicas que resultam na perda da capacidade germinativa. Esse processo de perda de vigor apresenta progressão variável entre e dentro da mesma espécie, de acordo com o lote.

As alterações degenerativas se iniciam logo após a maturidade fisiológica das sementes, sendo a manutenção ou o decréscimo do potencial fisiológico dependente das condições ambientais que antecedem a colheita, dos cuidados antes e após a colheita, como secagem, beneficiamento e das condições de armazenamento. Nesse sentido, é preciso estabelecer um manejo adequado para as sementes visando reduzir o processo de deterioração e, para tanto, é necessário a compreensão dos mecanismos complexos que constituem esse processo (MARCOS FILHO, 2015).

A oxidação de ácidos graxos insaturados é a primeira reação do processo de envelhecimento das sementes, e resulta na produção de radicais livres, que podem ser definidos como um átomo, ou grupos de átomos, com um elétron não pareado que pode doar ou remover um elétron de uma molécula próxima (VASCONCELOS et al., 2014). Estas substâncias de alta reatividade, atuam sobre proteínas, ácidos nucléicos e lipídeos, como os constituintes químicos das membranas, provocando a desestabilização dessas, e afetando principalmente a capacidade da célula de regular o fluxo e selecionar os solutos que entram ou saem de seu interior (HARRINGTON, 1973).

Por ser rica em ácidos graxos insaturados, a degradação de membranas é a primeira alteração degenerativa causada pelo envelhecimento das sementes, pois apesar de existirem regiões mais propensas à deterioração, as membranas representam os principais alvos devido à instabilidade físico-química dos lipídeos que a constituem, reduzindo a proteção e favorecendo a ação de radicais livres sobre a célula (BRILHANTE et al., 2013).

Dentre as principais características de um lote de sementes em processo de deterioração, destacam-se o potencial de armazenamento e a velocidade e a uniformidade de emergência das plântulas, sendo o grau e a progressão da deterioração dependente da sua causa. Se o processo deteriorativo for causado por dano mecânico ou por inseto, o início da deterioração será na região da semente onde o dano ocorreu. Outras causas como atraso na colheita, ou condução inadequada dos procedimentos pós colheita, não geram danos pontuais, sendo assim, é possível que a deterioração se inicie das extremidades para o meio do eixo embrionário (MARCOS FILHO, 2015).

Como o vigor das sementes está relacionado com o processo de deterioração, todo evento que anteceda a perda da germinação pode embasar o desenvolvimento de testes que caracterizem lotes de sementes de acordo com o potencial fisiológico que apresentam. Os resultados do teste de germinação não são eficientes para identificar diferentes graus de deterioração, indicando somente as sementes que estão no estágio final do processo, que são aquelas que perdem a capacidade germinativa. Com base nisso, infere-se que lotes com germinação semelhante podem exibir diferentes comportamentos durante o armazenamento e no estabelecimento da cultura no campo. Nesse sentido, os testes de vigor se destacam como uma alternativa viável e essencial para revelar as diferenças nos graus de deterioração dos lotes, o que é importante para o monitoramento e armazenamento, já que a perda de vigor antecede a perda da viabilidade (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015).

A falta de um conceito universal para vigor de sementes deve-se à complexidade dessa propriedade que não é simples e mensurável, como a germinação (KRZYZANOWSKI; FRANÇA NETO, 2001). A International Seed Testing Association (ISTA) e a Association of Official Seed Analysts (AOSA), principais associações de tecnologistas de sementes, adotam definições próprias.

Para a ISTA (2014), vigor de sementes pode ser definido como “conjunto de propriedades que determinam a atividade e o desempenho de lotes de sementes, com germinação aceitável, sob ampla variação de condições de ambiente”. Já para a AOSA (2009) “vigor de sementes compreende aquelas propriedades que determinam o potencial para uma emergência rápida e uniforme e para o desenvolvimento de plântulas normais, sob uma ampla faixa de condições ambientais”.

Estudando essa propriedade alguns autores definiram que o vigor sofre influência do manejo e das condições ambientais durante a pré e a pós colheita, sendo sua manifestação em campo, dependente do ambiente (ANTONELLO et al., 2009; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; STEFANELLO, 2014; MARCOS FILHO, 2015).

O nível de vigor de uma semente é determinado em função da sua constituição genética, das condições ambientais as quais ela foi submetida, da nutrição da planta mãe, do seu estágio de maturação durante a colheita, do seu tamanho, da presença ou ausência de patógenos e do seu grau de deterioração (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

De acordo com Simoni et al. (2011), o nível de vigor das sementes influenciará os processos e reações químicas que ocorrem durante o processo germinativo, a taxa e a uniformidade de germinação e o crescimento da plântula e a sua capacidade emergir sob condições desfavoráveis. Sendo assim, definir o nível de vigor das sementes é uma medida importante para o planejamento e para tomadas de decisão tanto pelas sementeiras quanto pelo produtor (SBRUSSI; ZUCARELI, 2014).

Isso porque, sementes não vigorosas, normalmente, apresentam menor velocidade e índice de emergência, principalmente quando são submetidas a situações estressantes. Isto pode reduzir a uniformidade e a emergência total do lote e provocar falhas no estabelecimento das plantas, e assim afetar o rendimento, principalmente para cultura do milho que é uma das espécies com menor capacidade de ajuste ao estande inadequado devido à baixa plasticidade das plantas (SCHEEREN et al., 2010; MONDO et al., 2012).

A menor velocidade de emergência de sementes de baixo vigor deve-se ao fato de que essas sementes necessitam de mais tempo, antes de iniciar

o crescimento do eixo embrionário, para reestruturação de organelas e tecidos danificados (VILLIERS, 1973; SENA; ALVES; MEDEIROS, 2015).

Mondo et al. (2012) estudando o desempenho de sementes provenientes de lotes homogêneos (constituído somente por sementes de alto ou de baixo vigor) e heterogêneos (constituído por sementes de alto e baixo vigor), observaram que plantas de milho originadas de sementes provenientes de lotes menos vigorosos foram inferiores às plântulas originadas de sementes provenientes de lotes mais vigorosos. Entretanto, os efeitos do maior ou menor vigor inicial não persistiram até o final do ciclo da cultura, quando utilizados lotes de sementes homogêneos. Já a utilização lotes heterogêneos resultou em maior competição intra-específica proporcionando menor capacidade competitiva às plantas originadas de sementes de baixo vigor, sendo estas dominadas pelas originadas de sementes de alto vigor, refletindo negativamente em produção por planta.

Sbrussi e Zucareli (2014) também constataram melhor desempenho germinativo de lotes de sementes vigorosas de milho em relação as de menor vigor, em uma ampla faixa de temperatura. Nesse sentido, Marcos Filho e Kikuti (2006) ressaltam que a utilização de sementes vigorosas é importante para garantir o estabelecimento adequado do estande, mesmo que este não seja um fator determinante da produtividade final.

2.4.2 Avaliação do Vigor de Sementes

De acordo com Bewley et al. (2013) o teste de germinação é eficiente para avaliação do potencial fisiológico de lotes homogêneos, mas ineficaz para a distinção e definição da qualidade de lotes heterogêneos. Por ser conduzido em condições ótimas e controladas, esse teste, geralmente, não estima o comportamento dos lotes em condições de campo, que comumente não são favoráveis. Diante disso, foram desenvolvidos testes de vigor que objetivam identificar diferenças fisiológicas de sementes comercializáveis, distinguindo lotes heterogêneos quanto o nível de vigor que apresentam (MENDONÇA et al., 2008).

A utilização rotineira desses testes em laboratórios de pesquisa ou de análise de sementes, depende da padronização dos mesmos para as diferentes espécies, para que os resultados obtidos possam ser comparados e reproduzidos (BENTO et al., 2010).

De acordo com Marcos Filho (2015), a eficácia do teste de vigor depende, especialmente, do princípio da metodologia, sendo as outras características como sensibilidade, simplicidade, rapidez, baixo custo, objetividade e correlação com emergência de plântulas em campo, de igual importância para a definição de sua eficiência.

É importante ressaltar que, apesar de os testes de vigor serem de grande utilidade prática para o monitoramento do estado fisiológico das sementes a partir da maturidade, eles não devem substituir o teste de germinação, e sim complementá-lo, pois fornecem informações diferentes (KIKUTI; MARCOS FILHO, 2012).

Segundo Marcos Filho (2015) os testes de vigor objetivam: avaliar e identificar diferenças significativas no potencial fisiológico de lotes de sementes com germinação semelhante, distinguindo e classificando os lotes de acordo com o nível de vigor que apresentam e a correlação deste com a emergência de plântulas, resistência ao transporte e potencial de armazenamento. Dessa forma, o resultado do teste, ou de um conjunto de testes, apontaria os lotes com maior ou menor probabilidade de apresentar bom desempenho em campo, mesmo em condições adversas.

Os testes de vigor também podem auxiliar a adoção de medidas que visem reduzir os efeitos da deterioração, estendendo por mais tempo a vida útil das sementes. Nesse sentido, os testes baseados na integridade de membranas da semente se destacam e devem ser estudados, pois possibilitam identificar o processo de deterioração em sua fase inicial, e assim reduzir ao máximo a progressão desse processo (GUEDES et al., 2009).

Segundo Marcos Filho, Kikuti e Lima (2009), a falta de padronização dos testes de vigor reduz a utilização desses por empresas produtoras de sementes, devido, principalmente, a ausência de reprodutibilidade e confiabilidade dos resultados em estimar a emergência de plântulas em campo. Por isso, as pesquisas sobre testes de vigor devem buscar o aperfeiçoamento e padronização dos testes já existentes e o desenvolvimento de novos.

A estimativa do potencial fisiológico das sementes é fundamental para embasar os processos de produção, distribuição, armazenamento e comercialização dos lotes de sementes (PERES, 2010). Assim, as empresas produtoras e laboratórios de análise de sementes, buscam testes simples e práticos

que ofereçam resultados reproduzíveis, confiáveis e que indiquem, com segurança, o potencial fisiológico de um lote de sementes (FRIGERI, 2007).

A grande maioria dos testes de vigor são classificados de acordo com seu princípio e metodologia, sendo alguns baseados no estresse e outros baseados no desempenho das sementes em condições favoráveis. A primeira contagem da germinação, por exemplo, baseia-se no comportamento das sementes em condições favoráveis e pode ser considerado como um teste de vigor prático e simples, já que é conduzido conjuntamente com o teste de germinação. Esse teste, considerado promissor, é padronizado e indicado para muitas espécies, pois avalia a velocidade da germinação, que é uma das primeiras características afetadas pela deterioração (VIEIRA; CARVALHO, 1994).

Por outro lado, o teste de frio, no qual as sementes são submetidas a baixas temperaturas por um determinado período, é mais indicado para a avaliação de sementes de milho. Isto porque, sua metodologia busca simular as condições desfavoráveis que ocorrem com frequência na região em que foi desenvolvido (Cinturão do milho, nos Estados Unidos da América) durante a época de semeadura, como o excesso de água no solo e as temperaturas baixas. Neste teste, lotes que apresentam maior germinação, mesmo sob essas condições desfavoráveis, são considerados como mais vigorosos e, por isso, é classificado como um teste de estresse (CÍCERO; VIEIRA, 1994).

Outro teste de vigor baseado no estresse e indicado para a avaliação de sementes de várias espécies pela International Seed Testing Association (ISTA) é o envelhecimento acelerado (MARCOS FILHO, 1999). Esse teste fundamenta-se no fato de que a taxa de deterioração das sementes aumenta consideravelmente quando estas são expostas a níveis elevados de temperatura e umidade relativa, considerados os fatores ambientais mais relacionados à intensidade e velocidade de deterioração (DELOUCHE; BASKIN, 1973). Sementes mais vigorosas são menos afetadas em sua capacidade de produzir plântulas normais e apresentam germinação mais elevada, após serem submetidas a este envelhecimento (PERES, 2010).

O teste de condutividade elétrica é considerado outra importante ferramenta para a avaliação fisiológica de sementes (MATTHEWS; POWELL, 1981). Esse teste parte do princípio de que, quanto maior a taxa de deterioração, mais rápido será a perda da integridade dos sistemas de membranas celulares e,

consequentemente, maior a quantidade de eletrólitos liberada pelas sementes durante a embebição (HEPBURN; POWELL; MATTHEWS, 1984). Sendo assim, sementes não vigorosas apresentam altos valores de condutividade elétrica (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

As informações obtidas pelo teste de envelhecimento acelerado têm sido utilizadas em conjunto com as do teste de frio por empresas produtoras de sementes de milho (TEKRONY, 1996), isto porque, as condições adversas impostas pelos dois testes possibilitariam estimar o desempenho de lotes de sementes sob faixa mais ampla de condições ambientais, fornecendo, assim, diagnóstico mais seguro quanto à seleção dos melhores lotes para comercialização (BITTENCOURT; VIEIRA, 2006).

Entretanto, o teste de envelhecimento acelerado também apresenta limitações, como a embebição descontrolada das sementes, que pode influenciar o resultado obtido. Nesse sentido, alguns métodos alternativos para o envelhecimento acelerado têm sido estudados para espécies cujas sementes embebem e deterioram-se rapidamente, de modo similar às sementes de milho doce (COIMBRA et al., 2009). A deterioração controlada mostra-se uma alternativa viável, pois é considerado um teste de vigor semelhante ao de envelhecimento acelerado, porém com controle mais preciso da temperatura e umidade durante o período de envelhecimento (HAMPTON; TEKRONY, 1995). Neste contexto, a padronização das metodologias do teste de deterioração controlada para sementes de milho doce é fundamental, visto que a deterioração ocorre em função das características físicas e bioquímicas das sementes, a qual é diferente entre as espécies.

A baixa eficiência dos testes de vigor na avaliação do potencial fisiológico das sementes de milho doce pode estar relacionada a falta de metodologias padronizadas para a cultura, uma vez que, em geral, aplicam-se, para milho doce, as mesmas metodologias definidas para o milho comum. Contudo as diferenças físicas e bioquímicas entre o milho doce e o milho comum interferem também na suscetibilidade aos estresses impostos nos testes de vigor (ARAUJO et al., 2006).

Coimbra et al. (2009), avaliando a eficiência de diferentes testes de vigor utilizados na avaliação do potencial fisiológico de lotes de sementes de milho doce (*sh2*), constataram que dentre os testes avaliados (primeira contagem, precocidade de emissão de raiz primária, teste de frio, condutividade elétrica e

envelhecimento acelerado), a condutividade elétrica (6, 8 e 24 horas) foi o único eficiente na diferenciação do vigor de lotes de sementes de milho-doce (*sh2*).

2.4.3 Deterioração Controlada

O teste de deterioração controlada foi desenvolvido, inicialmente, para avaliar a qualidade de sementes pequenas, principalmente olerícolas, como beterraba (SILVA; VIEIRA, 2010), rúcula, (ALVES et al., 2011), quiabo (TORRES et al., 2013) e repolho (BERNARDES et al., 2015). Contudo, passou a ser utilizado também para outras espécies, como algodão (DUTRA; MEDEIROS FILHO, 2008), amendoim (SILVEIRA, 2006) e milho (ZUCARELI et al., 2011a) objetivando definir o vigor e o potencial de armazenamento e de estabelecimento de diferentes lotes de sementes (MARCOS FILHO, 2015).

Por ser baseado no comportamento da germinação após um envelhecimento artificial, o teste de deterioração controlada é considerado simples, de fácil utilização, já que não exige investimentos significativos, é reproduzível e, passível de padronização para utilização rotineira em laboratórios de análise de sementes, o que o torna muito promissor (HAMPTON; TEKRONY, 1995).

O teste de deterioração controlada se destaca como uma fonte de informação complementar ao teste de germinação, pois fornece resultados de alta relevância que, além de apresentarem alta correlação com a emergência de plântulas no campo, também permitem estimar o potencial de armazenamento de lotes de sementes (DUTRA; MEDEIROS FILHO, 2008; MARCOS FILHO, 2015).

Neste teste, as sementes são expostas a condições similares as de deterioração, o que o torna mais preciso e eficiente na distinção do potencial fisiológico de lotes de sementes. Assim como no teste de envelhecimento acelerado, as sementes são submetidas a alta umidade e alta temperatura, por um determinado período, o que promove o envelhecimento artificial das mesmas. Entretanto, na deterioração controlada, o teor de água inicial das sementes é elevado e uniformizado, por meio de embebição controlada (HAMPTON; TEKRONY, 1995), e permanece constante durante todo período de deterioração, diferentemente do teste de envelhecimento acelerado (SILVEIRA, 2006).

A obtenção de resultados confiáveis na avaliação do vigor de lotes de sementes pelo teste de deterioração controlada, exige que a diferença no teor de

água das sementes das amostras, após o período de deterioração, não difira em mais de 2% em relação ao teor desejado. Para desvios entre 1-2%, a interpretação dos resultados deve ser feita de forma cautelosa, já para desvios superiores a 2% recomenda-se a repetição do teste (HAMPTON; TEKRONY, 1995).

O ajuste e uniformização do teor de água permite que as sementes atinjam, antecipadamente, o ponto de equilíbrio, sendo submetidas a um estresse mais rigoroso que no teste de envelhecimento, no qual o teor de água das sementes aumenta descontroladamente, durante a condução do teste, até atingirem o equilíbrio, tornando o estresse menos drástico (KRZYZANOWSKI; WEST; FRANÇA NETO, 2001).

Além disso, variações acentuadas na velocidade de umedecimento das sementes durante o envelhecimento acelerado, têm sido relatadas em virtude da metodologia de condução do teste (FORTI; CICERO; PINTO, 2009; DUCATTI; SILVA; COIMBRA, 2016). Diferentemente da deterioração controlada, que inclui a exposição das sementes protegidas (em sacos de alumínio selados) a água quente (banho maria) após a elevação e uniformização do teor de água, no envelhecimento acelerado, as sementes apresentam diferentes teores de água iniciais, e são expostas à atmosfera úmida em câmara de envelhecimento a alta temperatura (SANTOS et al., 2011).

As variações decorrentes da umidade inicial não padronizada das sementes no envelhecimento acelerado, podem acarretar diferenças no teor de água das mesmas e, comprometer a uniformidade da deterioração (TORRES, 2005), uma vez que, sementes mais úmidas sofrem maior efeito da alta temperatura e, conseqüentemente, taxa diferenciada de deterioração em relação as menos úmidas (KRZYZANOWSKI; VIEIRA, 1999).

Powell (1995) relatou em seu trabalho que a utilização do teste de envelhecimento acelerado em sementes pequenas, como as de hortaliças, proporcionou resultados menos consistentes devido à variação acentuada no grau de umidade ao final do período de envelhecimento.

Rossetto e Marcos Filho (1995), comparando o teste de deterioração controlada com o teste de envelhecimento acelerado na avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja, constataram que no envelhecimento acelerado as sementes atingiram maior teor de água em relação ao teste de deterioração

controlada, no qual as sementes mantiveram o mesmo grau de umidade durante todo o processo.

Como a deterioração ocorre em função da umidade, da temperatura e de um determinado período, o estudo para identificação da melhor combinação desses fatores é importante para a adequação da metodologia do teste (ZUCARELI et al., 2011a).

É importante também que o estado inicial da semente, antes da exposição à alta umidade e temperatura, não seja alterado para não comprometer os resultados e, por isso, a metodologia de embebição deve ser cuidadosamente definida de forma a não causar danos à semente (ZUCARELI et al., 2008).

Métodos de umedecimento que promovem a hidratação de maneira rápida, podem ocasionar a desorganização das membranas celulares ou rupturas de tecidos, o que favorece a respiração anaeróbia (LUCCA; REIS, 1995; ROSSETTO et al., 1997), e causa prejuízos irreversíveis decorrentes da falta de oxigênio (PESKE; DELOUCHE, 1985). Segundo Powell e Matthews (1978), o aumento de anormalidades e redução no vigor das plântulas são reflexos das injúrias causadas pela embebição acelerada.

Por outro lado, métodos que prolongam o período de embebição das sementes podem aumentar a taxa de deterioração e comprometer o vigor das mesmas, já que as submetem às condições desfavoráveis (alta umidade e temperatura) por mais tempo (VILLELA; MARCOS FILHO; NOVEMBRE, 2003).

Com base nisso, Hampton e Tekrony (1995) recomendam três métodos alternativos para aumentar o teor de água das sementes: atmosfera úmida, adição da quantidade de água requerida ou substrato úmido, sendo a escolha deles altamente dependente das características intrínsecas da semente.

Zucareli et al. (2011b) estudando o potencial fisiológico de sementes de milho após serem submetidas à hidratação pelos métodos da atmosfera úmida, substrato úmido, imersão em água e adição da quantidade de água requerida, sob duas temperaturas, 20 e 30°C, constataram que o método da atmosfera úmida proporcionou redução do potencial fisiológico das sementes de milho, e que o método da imersão direta em água, à 30°C, não alterou o nível de vigor das sementes, sendo o mais adequado para esse procedimento.

De acordo com a literatura pertinente, o teste de deterioração controlada tem sido amplamente empregado, para diferentes espécies de sementes,

com teor de água em torno de 20%, a uma temperatura de 45°C, durante 24 horas (PANOBIANCO; MARCOS FILHO, 2001; SILVA; VIEIRA, 2010; TORRES et al., 2012; TORRES et al., 2013).

Padilha et al. (2001), avaliando o potencial fisiológico de sementes de milho por meio do teste de deterioração controlada com três diferentes níveis de umidade (15, 20 e 25%), dois períodos (24 e 48 horas) e temperatura constante de 40°C, concluíram que as combinações de 15 e 20% de umidade, por 24 horas a 40°C ou 15% de umidade, por 48 horas a 40°C, são as mais adequadas para discriminar lotes de sementes de milho.

Zucareli et al. (2011a), estudando combinações de tempo e temperatura na adequação do teste de deterioração controlada para avaliação e classificação do vigor de sementes de milho com diferentes teores de água, constataram que as combinações 24h-45 °C, 48h-45 °C e 16h-45 °C para sementes com teor de água ajustado para 15, 20 e 25%, respectivamente, foram eficientes para distinção entre lotes quanto ao vigor, sendo que os resultados mostraram correlação positiva e significativa com a velocidade e o total de emergência de plântulas no campo.

Rossetto e Marcos Filho (1995) avaliando o vigor de sementes de soja por meio do teste de deterioração controlada, observaram diferenças no potencial fisiológico das sementes, mesmo utilizando um número restrito de lotes.

Sharma (1994) estudando uma modificação na metodologia do teste de deterioração controlada em arroz, constatou que a exposição das sementes a 45°C por 24 horas, seguida pela incubação a 25°C por 12 horas, retornando a 45°C por mais 24 horas, mostrou-se como melhor teste de vigor para a avaliação do potencial fisiológico de sementes dessa espécie.

Para a avaliação do vigor de sementes de milho doce através do teste de deterioração controlada é necessário um controle mais cuidadoso do teor de água inicial, devido, principalmente, à alta sensibilidade dessas sementes aos danos por embebição, ao pericarpo bastante fino e à fragilidade das membranas. No entanto, não foram encontrados trabalhos a respeito do teste de deterioração controlada na avaliação do potencial fisiológico inicial das sementes de milho doce, sendo que as diferenças em relação ao milho comum impossibilitam a utilização das metodologias descritas para este em sementes de milho doce.

REFERÊNCIAS

- ALVES, C.Z.; GODOY, A.R.; CANDIDO, A.C.S.; SÁ, M.E. Qualidade fisiológica de sementes de *Eruca sativa* L. pelo teste de deterioração controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.12, p.2090-2095, 2011.
- ANTONELLO, L.M.; MUNIZ, M.F.B.; BRAND, S.C.; RODRIGUÊS, J.; MENEZES, N.L.; KULCZYNSKI, S.M. Influência do tipo de embalagem na qualidade fisiológica de sementes de milho crioulo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.31, n.4, p.75-86, 2009.
- AOSA - ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed Vigor Testing Handbook**. Lincoln, 2009. 105 p.
- ARAGÃO, C.A. **Avaliação de híbridos simples braquíticos de milho super doce (*Zea mays* L.) portadores do gene shrunken-2 (sh2sh2) utilizando o esquema dialélico parcial**. 2002. 101 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2002.
- ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; SOFIATTI, V.; SILVA, R.F. Maturação de sementes de milho-doce – grupo super doce. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.28, n.2, p.69-76, 2006.
- BENTO, S.R.S.O.; SANTOS, A.E.O.; MELO, D.R.M.; TORRES, S.B. Eficiência dos testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mulungu (*Erythrina velutina* WILLD). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.32, n.4, p.111-117, 2010.
- BERNARDES, P.M.; LOPES, J.C.; ZANOTTI, R.F.; MOTTA, L.B.; MENGARDA, L.H.G.; SPADETO, C. Testes de deterioração controlada e de envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de repolho. **Nucleus**, Ituverava, v.12, n.1, p.51-58, 2015.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination**. New York, Springer-Verlag, v. 1. 1978. 306 p.
- BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**, 3rd edition. Nova York: Springer, 2013. 392 p.
- BITTENCOURT, S.R.M.; VIEIRA, R.D. Temperatura e período de exposição de sementes de milho no teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.3, p. 61-168, 2006.
- BORTOLOTTI, R.P.; MENEZES, N.L.; GARCIA, D.C.; MATTIONI, N.M. Comportamento de hidratação e qualidade fisiológica das sementes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.991-996, 2008.

BRILHANTE, J.C.A.; OLIVEIRA, A.B.; SILVA, J.W.L.; ENÉAS FILHO, J. Ação do ácido ascórbico exógeno na qualidade fisiológica de sementes de feijão de corda envelhecidas artificialmente. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 985-994, 2013.

BRITO, M.E.B.; ARAÚJO FILHO, G.D.; WANDERLEY, J.A.C.; MELO, A.S.; COSTA, F.B.; FERREIRA, M.G.P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.5, p.1244-1254, 2013.

CARVALHO, L.F.; SEDIYAMA, C.S.; REIS, M.S.; DIAS, D.C.F.S.; MOREIRA, M.A. Influência da temperatura de embebição da semente de soja no teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.31, n.1, p.009-017, 2009.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.

CAVARIANI, C.; SILVA, N.; NAKAGAWA, J. Maturação de sementes de milho doce genótipo "Shrunken-2". **Informativo ABRATES**, Londrina, v.8, n.1/2/3, p.26-32, 1998.

CAVARIANI, C.; TOLEDO, M.Z.; RODELLA, R.A.; FRANÇA NETO, J.B.; NAKAGAWA, J. Velocidade de hidratação em função de características do tegumento de sementes de soja de diferentes cultivares e localidades. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.31, n.1, p.031-039, 2009.

CÍCERO, S.M.; VIEIRA, R.D. Teste de frio. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de Vigor em Sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994. p.151-164.

COIMBRA, R.A.; MARTINS, C.C.; TOMAZ, C.A.; NAKAGAWA, J. Testes de vigor utilizados na avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes de milho-doce (sh2). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.9, 2009.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2015. **Perspectivas para a agropecuária – Safra 2015/2016 - produtos de verão**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, v.3, set 2015.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. **Projeções do agronegócio – Brasil 2015/2016 a 2025/2026**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, julho 2016.

DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.1, n.2, p.427-452, 1973.

DUCATTI, K.R.; SILVA, J.; COIMBRA, R.A. Metodologias de ajuste do teor de água em sementes de milho doce para o teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 15, n. 1, p. 145-156, 2016.

DUTRA, A.S.; MEDEIROS FILHO, S. Teste de deterioração controlada na determinação do vigor em sementes de algodão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.30, n.1, p. 19-23, 2008.

FORTI, V.A.; CICERO, S.M.; PINTO, T.L.F. Efeitos de potenciais hídricos do substrato e teores de água das sementes na germinação de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 63-70, 2009.

FRIGERI, T. **Interferência de patógenos nos resultados dos testes de vigor em sementes de feijoeiro**. 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2007.

GALINDO, C.A.M. **Absorção de água, germinação e dormência de sementes de mucuna preta**. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2006.

GUEDES, R.S.; ALVES, E.U.; GONÇALVES, E.P.; SANTOS, S.R.N.; LIMA, C.R. Testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae – Papilionoideae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.5, p. 1360-1365, 2009.

HAMPTON, J.G.; TEKRONY, D.M. Controlled deterioration test. In: HAMPTON, J.G., TEKRONY, D.M. **Handbook of Vigour Test Methods**. Zurich: International Seed Testing Association, p.70-78. 1995.

HARRINGTON, J.F. Problems of seed storage. In: HEYDECKER, W.H. **Seed Ecology**. Pennsylvania, The Pennsylvania State University Press, 1973. p.251-65

HEPBURN, H.A.; POWELL, A.A.; MATTHEWS, S. Problems associated with the routine application off electrical conductivity measurements of individual seeds in the germination testing of peas and soybeans. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 12, p.403-13, 1984.

HUTH, C. **Lignina no tegumento de semente de soja: deterioração por umidade e dano mecânico e tamanho de amostra para o teste de tetrazólio**. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria. 2015.

ISTA - INTERNACIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. Seed vigour testing. **International Rules for Seed Testing**. Zurich: ISTA, 2014.

KIKUTI, A.L.P.; MARCOS FILHO, J. Testes de vigor em sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.30, n.1, p. 44-50, 2012.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B. Vigor de sementes. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.11, n.3, p.81-84, 2001.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D. Deterioração controlada. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.6.1-6.8

KRZYZANOWSKI, F.C.; WEST, S.H.; FRANÇA NETO, J.B. O teste de deterioração controlada para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Informativo ABRATES**, v.11, n.2, p.185, 2001 (Resumo 277).

KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E. Características do milho doce (*Zea mays*) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v.1, n.2, p. 93-103, 2007.

LUCCA, A.; REIS, M.S. Considerações sobre a influência do potencial hídrico e do condicionamento osmótico na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Informativo ABRATES**, Pelotas, v.5, n.1, p.42-50, 1995.

LUZ, J.M.Q.; CAMILO, J.S.; BARBIERI, V.H.B.; RANGEL, R.M.; OLIVEIRA, R.C. Produtividade de genótipos de milho doce e milho verde em função de intervalos de colheita. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.32, n.2, p. 163-167, 2014.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.1-24.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2. ed. Londrina, PR: ABRATES, 2015. 660p.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A.L.P. Vigor de sementes de rabanete e o desempenho de plantas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.28, n. 3, p.44-51, 2006.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A.L.P.; LIMA, L.B. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.31, n.1, p.102-112, 2009.

MATTHEWS, S.; POWELL, A.A. Electrical conductivity test. In: PERRY, D.A., ed. **Handbook of Vigor Test Methods**. Zürich: ISTA, 1981. p.37-42.

MENDONÇA, E.A.F.; AZEVEDO, S.C.; GUIMARÃES, S.C.; ALBUQUERQUE, M.C.F. Testes de vigor em sementes de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.30, n.3, p.001-009, 2008.

MERTZ, L.M.; HENNING, F.A.; CRUZ, H.L.; MENEGHELLO, G.E.; FERRARI, C.S.; ZIMMER, P.D. Diferenças estruturais entre tegumentos de sementes de soja com permeabilidade contrastante. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.31, n.1, p.23-29, 2009.

MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; DOURADO NETO, D.; PUPIM, T.L.; DIAS, M.A.N. Vigor de sementes e desempenho de plantas de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.34, n.1, p.143-155, 2012.

NETTO, D.A.M.; ANDRADE, R.V.; PADILHA, L.; OLIVEIRA, A.C.; GAMA, E.E.G.; TEIXEIRA, F.F. **Maturação fisiológica de milho doce e sua relação com a qualidade das sementes**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 24 p.

- OLIVEIRA, B.M. **Testadores para a seleção de linhagens de milho-doce**. 2016. 90 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”), Piracicaba. 2016.
- OLIVEIRA JR, L.F.G.; DELIZA, R.; BRESSAN-SMITH, R.; PEREIRA, M.G.; CHIQUIERE, T.B. Seleção de genótipos de milho mais promissores para o consumo in natura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.1, p. 159-165, 2006.
- PADILHA, L.; VIEIRA, M.G.G.C.; VON PINHO, E.V.R.; CARVALHO, M.L.M. Relação entre o teste de deterioração controlada e o desempenho de sementes de milho em diferentes condições de estresse. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.23, n.1, p.198-204, 2001.
- PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.525-531, 2001.
- PEREIRA FILHO, I.A.; TEIXEIRA, F.F. **O Cultivo do Milho-Doce**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 298 p.
- PERES, W.L.R. **Testes de vigor em sementes de milho**. 2010. 61 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2010.
- PESKE, S.T.; DELOUCHE, J.C. Semeadura de soja em condições de baixa umidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.1, p.69-85, 1985.
- POWELL, A.A. The controlled deterioration test. In: VAN VENTER, H.A. **Seed Vigour Testing Seminar**. Copenhagen: International Seed Testing Association, 1995. p.73-87.
- POWELL, A.A.; MATTHEWS, S. The damaging effect of water on dry pea embryos during imbibition. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.29, p.1215-1229, 1978.
- REGO, C.H.Q.; OLIVEIRA, N.C.; LOURENÇO, F.M.S.; SILVA, J.B.; ALVES, C.Z. Teste de embebição em água para sementes de soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n.2, p.178-185, 2014.
- ROSSETTO, C.A.V.; MARCOS FILHO, J. Comparação entre os métodos de envelhecimento acelerado e deterioração controlada para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.1, p.99-105, 1995.
- ROSSETTO, C.A.V.; NOVEMBRE, A.D.L.C.; MARCOS FILHO, J.; SILVA, W.R.; NAKAGAWA, J. Comportamento das sementes de soja durante a fase inicial do processo de germinação. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, n.1/2, p.106- 115, 1997.

SANTOS, F.; TRANI, P.E.; MEDINA, P.F.; PARISI, J.J.D. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação da qualidade de sementes de alface e almeirão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 322-323, 2011.

SBRUSSI, C.A.G.; ZUCARELI, C. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.35, n.1, p. 215-226, 2014.

SCHEEREN, B.R.; PESKE, S.T.; SCHUCH, L.O.B.; BARROS, A.C.A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.32, n.3 p. 035-041, 2010.

SENA, D.V.A.; ALVES, E.U.; MEDEIROS, D.S. Vigor de sementes de milho cv. 'Sertanejo' por testes baseados no desempenho de plântulas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.11, p.1910-1916, 2015.

SHARMA, R.N. Modified controlled deterioration test for seed vigour in rice (*Oryza sativa* L.). **Seed Research**, New Delhi, v.22, n.1, p.71-3, 1994.

SILVA, B.M.S.; CARVALHO, N.M. Efeitos do estresse hídrico sobre o desempenho germinativo da semente de faveira (*Clitoria fairchildiana* R.A. Howard. – FABACEAE) de diferentes tamanhos. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.30, n.1, p.55-65, 2008.

SILVA, J.B.; VIEIRA, R.D. Deterioração controlada em sementes de beterraba. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.32, n.1, p.69-76, 2010.

SILVEIRA, C.M. **Teste de deterioração controlada em sementes de amendoim**. 2006. 26 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal. 2006.

SIMONI, F.; COSTA, R.S.; FOGAÇA, C.A.; GEROLINETO, E. Sementes de *Sorghum bicolor* L. – Gramineae, submetidas ao estresse hídrico simulado com PEG (6000). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, v.11, n.1, p. 188-192, 2011.

SOUSA, S.M.; PAES, M.C.D.; TEIXEIRA, F.F. **Milho Doce**: origem de mutações naturais. Documentos 144/ Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2012. 41 p.

SOUZA, R.S.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; MARQUES, O.J.; QUEIROZ, D.C.; OKUMURA, R.S.; RECHE, D.L.; CORTINOVE, R.S. Produtividade e qualidade do milho doce em diferentes populações de plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.3, p. 995-1010, 2013.

STEFANELLO, R. **Composição química e qualidade de sementes de variedades crioulas de milho no armazenamento**. 2014. 118 f. Tese (doutorado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2014.

STORK, L.; LOVATO, C. Milho doce. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.21, n.2, p.283-292, 1991.

STYER, R.C.; CANTLIFFE, D.J. Dependence of seed vigor during germination on carbohydrate source in endosperm mutants of maize. **Plant Physiology**, Rockville, v. 76, n. 1, p. 196-200. 1984.

TEKRONY, D.M. Accelerated aging test conditions for hybrid corn seed. **Iowa State University**, Ames, v.16, p.3-4, 1996.

TORRES, S.B. Envelhecimento acelerado em sementes de pepino com e sem solução salina saturada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 303-306, 2005.

TORRES, S.B.; DANTAS, A.H.; PEREIRA, M.F.S.; BENEDITO, C.P.; SILVA, F.H.A. Deterioração controlada em sementes de coentro. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.34, n.2, p.319-326, 2012.

TORRES, S.B.; GOMES, M.D.A.; SILVA, F.G.; BENEDITO, C.P.; PEREIRA, F.E.C.B. Controlled deterioration to evaluate okra seed vigor. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.31, n.2, 2013.

USDA – **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos**. World Agricultural Production. Circular series. August, 2017. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 24 aug. 2017.

VASCONCELOS, T.B.; CARDOSO, A.R.N.R.; JOSINO, J.B.; MACENA, R.H.M.; BASTOS, V.P.D. Radicais livres e antioxidantes: proteção ou perigo? **UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v.16, n.3, p. 213-219, 2014.

VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Eds.) **Testes de Vigor em Sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164p.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇANETO, J.B. (Ed). **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. 1999.Cap.4. p.1-26.

VILLELA, F.A.; MARCOSFILHO, J.; NOVENBRE, A.D.L.C. Estado energético da água na semente de milho no processo de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 01, p.95-100, 2003.

VILLIERS, T.A. Ageing and longevity of seeds in field conditions. In: HEYDECKER, W. (Ed.). **Seed Ecology**. London: The Pennsylvania State University Press, 1973. p.265-288.

WILSON JR, D.O.; MOHAN, S.K. Unique Seed Quality Problems of sh2 Sweet Corn. **Seed Technology**, Lexington, v. 20, n. 2, p. 176–186, 1998.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, C.; PORTUGAL, G.; NAKAGAWA, J. Potencial fisiológico de sementes de milho hidratadas pelo método do substrato de papel toalha. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.30, n.3, p. 122-129, 2008.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, C.; SBRUSSI, C.A.G.; NAKAGAWA, J.; Teste de deterioração controlada na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.33, n. 4, p. 732-742, 2011a.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, C.; OLIVEIRA, E.A.P; NAKAGAWA, J. Métodos e temperaturas de hidratação na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v.42, n.3, p. 684-692, 2011b.

3 ARTIGO A

MÉTODOS DE HIDRATAÇÃO E POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE MILHO DOCE

3.1 Resumo

A espessura reduzida do pericarpo da semente de milho doce a torna mais suscetível a danos durante os procedimentos dos testes de germinação ou vigor, o que dificulta a avaliação da qualidade das mesmas. Estes danos, principalmente de ordem fisiológica, como o dano por embebição, subestimam os resultados obtidos nos testes de controle de qualidade. Nesse contexto, o trabalho teve por objetivo avaliar o potencial fisiológico de sementes de milho doce após hidratação sob diferentes métodos de umedecimento, tendo em vista a elevação do teor de água para 20%. Primeiramente, o lote de sementes foi caracterizado quanto ao seu teor de água e potencial fisiológico inicial, através dos seguintes testes: germinação, primeira contagem, teste de frio, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, comprimento de plântulas normais, massa seca de plântulas normais, emergência de plântulas em areia e índice de velocidade de emergência. Posteriormente, foram conduzidos dois experimentos, ambos sob delineamento inteiramente casualizado. No primeiro, foram avaliadas diferentes quantidades de água no papel (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 vezes a massa do papel) para hidratação das sementes pelo método do substrato úmido, com quatro repetições. No segundo experimento, foram avaliados quatro métodos de umedecimento: substrato úmido (SU), atmosfera úmida (AU), imersão em água (IA) e adição da quantidade de água requerida (AR), com seis repetições de 100 sementes. Em ambos experimentos foi utilizada temperatura constante de 25°C e, posteriormente, foram determinados a umidade e o potencial fisiológico das sementes pelos testes de: primeira contagem, teste de germinação (plântulas normais, anormais e sementes mortas), condutividade elétrica, comprimento e massa seca de plântulas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade e homogeneidade e, posteriormente, a análise de variância com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância. A proporção de 2,5 vezes a massa do papel em água, no método do substrato úmido, mostrou-se adequada para hidratação de sementes de milho doce, por permitir a obtenção do grau de umidade desejado sem alterar o potencial fisiológico das sementes. O método da atmosfera úmida reduz o potencial fisiológico das sementes de milho doce, sendo inadequado para a hidratação de sementes desta espécie. O método do substrato úmido não altera o potencial fisiológico do lote de sementes, sendo o mais indicado para a elevação do teor de água de sementes de milho doce para 20%.

Palavras-chave: Germinação. Teor de água. Vigor. *Zea mays* convar. *Saccharata*.

METHODS OF HYDRATION AND PHYSIOLOGICAL POTENTIAL OF SWEET CORN SEEDS

3.2. Abstract

The reduced thickness of the sweet corn seeds pericarp makes it more susceptible to damage during germination or vigor testing procedures, which makes it difficult to evaluate their quality. These damages, mainly of physiological order, such as imbibition damage, underestimate the results obtained. In this context, the objective of this work is to evaluate the physiological potential of sweet corn seeds after hydration under different moistening methods, in order to raise the moisture content to 20%. First, the pre-determined seed lot for the experiments was characterized in terms of moisture content and initial physiological potential, through the tests: germination, first count, cold test, accelerated aging, electrical conductivity, normal seedling length, dry mass of normal seedlings, emergence of seedlings in sand and emergency speed index. Subsequently, two experiments were conducted, both under a completely randomized design. In the first one, different amounts of water in the paper of germination (1,5, 2,0, 2,5, 3,0 and 3,5 times the paper mass) were evaluated for the hydration of the seeds through the humid substrate method, with four repetitions. In the second experiment, four moistening methods were evaluated: wet substrate (WS), humid atmosphere (HA), water immersion (WI) and addition of required amount of water (WR), with six replicates of 100 seeds. In both experiments, a constant temperature of 25°C was used, after, the moisture content and physiological potential of seeds were determined by the following tests: first count, germination test (normal, abnormal and dead seedlings), electrical conductivity, seedling length and dry mass of normal seedlings. The obtained data were submitted to the analysis of normality and homogeneity and, later, the analysis of variance with means comparison by Tukey test at 5% of significance. The proportion of 2.5 times the paper mass in water in the humid substrate method proved to be adequate for sweet corn seed hydration, since it allows obtaining the desired degree of moisture without altering the physiological potential of the seeds. The humid atmosphere method reduces the physiological potential of sweet corn seeds, so it is unsuitable for the hydration of seeds of this species. The humid substrate method does not alter the physiological potential of the seed lot, being the most suitable for raising the water content of sweet corn seeds to 20%.

Key words: Germination. Moisture content. Vigor. *Zea mays* convar. *Saccharata*.

3.3. INTRODUÇÃO

Sementes de milho doce e milho comum possuem, botanicamente, similaridades entre si quanto ao ciclo reprodutivo, porém, são unidades que se distinguem drasticamente quanto a composição química do endosperma. Isto ocorre porque, sementes de milho doce possuem menor quantidade de amido em seu endosperma devido a ação de alelos mutantes, que impedem a conversão de monossacarídeos (açúcares) em polissacarídeos (amido), conferindo a elas o caráter doce (ARAÚJO et al., 2006).

Por possuir endosperma diferenciado quanto a quantidade de açúcar em relação ao milho comum, as sementes de milho doce possuem espessura do pericarpo mais fino e conformação enrugada, com arestas que as tornam suscetíveis a danos mecânicos. Isto dificulta a produção de sementes de alto potencial fisiológico e, portanto, a avaliação da qualidade das mesmas é imprescindível, mas, mesmo durante os procedimentos dos testes de germinação ou vigor, essas sementes estão predispostas à danos devido à sua estrutura, como o dano por embebição, o que pode subestimar os resultados obtidos.

A absorção de água pela semente é considerada um processo físico, pois ocorre até mesmo em sementes mortas, e tem por objetivo a ativação das atividades metabólicas, que resultam no desdobramento de moléculas, liberando energia e os nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento do eixo embrionário. Contudo, a embebição acelerada, provocada pelo excesso de água no substrato ou por danos no tegumento das sementes, pode ocasionar a desorganização de membranas e a rupturas de tecidos, o que favorece a respiração anaeróbia, acarretando prejuízos irreversíveis (ROSSETTO et al., 1997).

O potencial hídrico das sementes influencia diretamente a velocidade de embebição e, é definido em função da umidade inicial das mesmas. Geralmente, o potencial hídrico das sementes secas é inferior ao do substrato utilizado no teste de germinação ou vigor e, por isso, há movimentação das moléculas de água do substrato para a semente (ZUCARELI et al., 2008). Logo, devido as particularidades dessa espécie, a escolha do substrato adequado, que não contenha excesso de umidade, é fundamental, uma vez que, já foi constatado para sementes de outras espécies, como feijão, que o substrato interfere na

disponibilidade de água e, conseqüentemente, na velocidade e porcentagem de germinação das sementes (SHIOGA; SILVA, 1998).

Testes de vigor que incluem na metodologia a hidratação de sementes, como o teste de deterioração controlada, que requer a padronização do teor de água dessas antes da deterioração, devem ser cuidadosamente estudados de forma que o processo de umedecimento não afete a qualidade das mesmas e não subestime o resultado obtido. Nesse sentido, a definição de uma metodologia adequada para a hidratação, principalmente para sementes que apresentam maior suscetibilidade à danos, é fundamental (ZUCARELI et al., 2008).

Com base nisso, Hampton e TeKrony (1995) recomendaram três métodos alternativos, objetivando evitar danos às sementes durante a uniformização do teor de água: atmosfera úmida, adição da quantidade de água requerida ou substrato úmido, sendo a escolha deles altamente dependente das características intrínsecas da semente.

Zucareli et al. (2011) estudando o potencial fisiológico de sementes de milho comum após serem submetidas à hidratação pelos métodos da atmosfera úmida, substrato úmido, imersão em água e adição da quantidade de água requerida, sob duas temperaturas, 20 e 30 °C, constataram que o método da atmosfera úmida proporcionou redução da qualidade fisiológica das sementes de milho, e que o método da imersão direta em água, à 30 °C, não alterou a qualidade fisiológica das sementes, sendo o mais adequado para esse procedimento. Entretanto, em virtude das particularidades na composição química do endosperma e morfoanatômica do pericarpo as metodologias desenvolvidas para milho comum não podem ser extrapoladas para sementes de milho doce, demandando estudos específicos para este fim.

Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo avaliar o potencial fisiológico de sementes de milho doce após hidratação sob diferentes métodos de umedecimento, tendo em vista à elevação do teor de água para 20%.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado um lote de sementes híbridas do milho super doce PERFORMANCE SERIES™ SINGLE PRO SC™ da Seminis (SV9298SN®), portador do gene shruken (sh2) (SEMINIS, 2018).

Primeiramente, o lote foi homogeneizado e, posteriormente, amostrado para a realização das seguintes análises preliminares, que indicaram a qualidade inicial das sementes:

Grau de umidade: determinado em base úmida utilizando quatro repetições de 15 sementes inteiras, submetidas ao método da estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Germinação: conduzido com quatro repetições de 100 sementes, que foram semeadas em papel de germinação umedecido com água destilada, utilizando-se a quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos de papel, acondicionados em sacos plásticos, foram mantidos em germinador tipo câmara, na posição vertical, previamente regulado a 25°C . Foram realizadas avaliações do número de plântulas normais, anormais e sementes mortas aos sete dias, conforme as prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem.

Primeira contagem: realizado em conjunto com o teste de germinação, utilizando-se a mesma metodologia, computando-se a porcentagem de plântulas normais obtidas no quarto dia após a semeadura.

Teste de frio: realizado utilizando a metodologia do rolo de papel, com quatro repetições de 100 sementes. As sementes foram semeadas em papel de germinação umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes sua massa e, posteriormente, foram confeccionados rolos que, acondicionados em sacos plásticos, foram mantidos em câmara regulada a 10°C , por sete dias no escuro (CÍCERO; VIEIRA, 1994). Posteriormente, os rolos foram transferidos para outra câmara, regulada a 25°C , por mais quatro dias, também no escuro, para contagem das plântulas normais; sendo os resultados expressos em porcentagem.

Envelhecimento acelerado: realizado adotando a metodologia recomendada pela AOSA (2009), utilizando-se caixas de plástico com tampa (11 cm x 11 cm x 3,5 cm) como compartimentos individuais, contendo 40 mL de água destilada no seu interior e, sobre esse volume de água, foi fixada uma bandeja de tela metálica, para acondicionar as sementes. Foram envelhecidas quatro repetições de 120 sementes a 42°C por 72 horas. Após este período, quatro repetições de 15 sementes foram utilizadas para determinação do teor de água e, quatro repetições de 100 sementes foram colocadas para germinar conforme metodologia descrita

para o teste de germinação (BRASIL, 2009). Após quatro dias foi computada a porcentagem de plântulas normais de cada amostra.

Condutividade elétrica: Quatro repetições de 50 sementes tiveram as massas determinadas e, posteriormente, foram acondicionadas, em recipientes plásticos, contendo 25 mL de água destilada, por um período de 24 horas a 25°C (PARERA et al., 1995). Após este período, foram realizadas leituras em condutímetro de eletrodo constante igual a 1,0, sendo os resultados expressos em $\mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Comprimento de plântulas normais: realizado a partir da semeadura de quatro repetições de 10 sementes por tratamento, no terço superior do papel de germinação, umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram acondicionados em germinador por quatro dias no escuro a 25°C. Posteriormente, foi efetuada a medida das plântulas normais, separadas em parte aérea e radicular, com auxílio de uma régua graduada, sendo os resultados expressos em centímetros por plântula normal (NAKAGAWA, 1999).

Massa seca de plântulas normais: avaliada utilizando as plântulas normais obtidas no teste de comprimento, sendo estas separadas em parte aéreas e radiculares e acondicionadas em sacos de papel, para em seguida, serem levadas à estufa com circulação de ar forçada, regulada a $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ até atingirem massa constante. Após este período, cada repetição teve a massa avaliada em balança com precisão de 0,001g, e os resultados médios expressos em miligramas (mg) por plântula.

Emergência de plântulas em areia: realizado utilizando quatro repetições de 50 sementes, que foram semeadas, em caixas de areia, a 5 cm de profundidade. Após 14 dias da semeadura, foi contabilizado o número de plântulas emersas, isto é, com desenvolvimento normal de parte aérea, sendo o resultado expresso em porcentagem.

Índice de velocidade de emergência: conduzido em conjunto com o teste de emergência de plântulas em areia, sendo as contagens de plântulas emergidas (com desenvolvimento normal de parte aérea) realizadas diariamente, sem o descarte das mesmas, obtendo-se assim, um valor cumulativo. Desse modo, com o número de plântulas emergidas referentes a cada leitura, foram calculados os índices de velocidade de emergência (IVE) (MAGUIRE, 1962).

Posteriormente, foram conduzidos dois experimentos para a determinação do melhor método de umedecimento de sementes de milho doce. O delineamento experimental utilizado, em ambos, foi inteiramente casualizado. No primeiro experimento, foram avaliados cinco teores de água no substrato úmido, com quatro repetições, para elevar a umidade das sementes à 20%, sendo eles: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 vezes a massa do papel. Durante o umedecimento, os rolos contendo as sementes foram mantidos em câmara de germinação à 25 °C.

No segundo experimento foram avaliados quatro métodos de umedecimento, sendo eles: substrato úmido (SU), atmosfera úmida (AU), imersão em água (IA) e adição da quantidade de água requerida (AR), para elevação da umidade das sementes à 20%, sob a temperatura constante de 25°C, com 6 repetições.

A massa a ser atingida pelas sementes para a obtenção de um teor de água de 20%, nos dois experimentos, foi determinada tendo como base a massa e a umidade inicial das mesmas, e foi monitorada constantemente através de pesagens em balança analítica (HAMPTON; TEKRONY, 1995).

No método do substrato úmido foram utilizadas três folhas de papel de germinação umedecidas com uma quantidade de água correspondente a 2,5 vezes a sua massa, sendo, posteriormente, confeccionados rolos, que foram mantidos em câmara tipo BOD (biochemical oxygen demand), à 25°C, até as sementes atingirem a massa previamente determinada.

Para o método de atmosfera úmida, cada repetição foi distribuída sobre a tela metálica de caixas plásticas com tampa (11 cm x 11 cm x 3,5 cm), contendo 40mL de água destilada. As caixas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas em câmaras tipo BOD na temperatura de 25 °C até as sementes atingirem a massa previamente determinada para o teor de água de 20%.

No método de imersão em água, as sementes foram alocadas em recipientes plásticos e, imersas em 100 mL de água destilada, sendo os recipientes mantidos em BOD à 25 °C; a água utilizada para imersão das sementes estava na temperatura de condução do ensaio (25 °C). Antes da pesagem, para monitoramento da massa atingida, as sementes foram secadas superficialmente com papel toalha.

Para o método da adição da quantidade de água requerida, o volume de água necessário para elevação do teor de água das sementes para 20%

foi previamente calculado, considerando-se a massa e o teor de água inicial de cada repetição. As sementes foram acondicionadas em frascos plásticos com tampa (com capacidade para 250 mL, aproximadamente), nos quais também foram adicionados os volumes de água destilada calculados, sendo os frascos mantidos em câmaras reguladas à 25°C, por 12 horas.

Quando alcançada a massa previamente calculada, foi determinado o teor de água de dez sementes de cada amostrados dois experimentos, sendo o restante acondicionado em frascos plásticos vedados, que foram mantidos em câmaras reguladas à 10°C, por cinco dias, para uniformização do grau de umidade (ZUCARELI et al., 2008).

Posteriormente, foi determinada a umidade e as propriedades fisiológicas das sementes, dos dois experimentos, por meio dos testes de primeira contagem da germinação, teste de germinação (plântulas normais, anormais e sementes mortas), condutividade elétrica, comprimento de plântulas (separadas em parte aérea e radicular) e massa seca de plântulas (separadas em porção aérea e radicular), conforme metodologias anteriormente descritas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade e homogeneidade de variâncias pelos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk (BARBIN, 2003) e, quando necessário, foram transformados em raiz quadrada \sqrt{x} . Posteriormente, foram submetidos a análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lote de sementes de milho doce utilizado apresentou altos valores de geminação e vigor, sendo adequado para avaliação dos métodos de umedecimento (Tabela 1), já que lotes de sementes com baixo potencial fisiológico, principalmente àqueles com porcentagens de germinação inferior ao valor mínimo estabelecido para comercialização, não são indicados para estudos de métodos de hidratação (ZUCARELI et al., 2008).

Tabela 1 – Caracterização de umidade e do potencial fisiológico inicial (germinação e vigor) do lote de sementes de milho doce utilizado no experimento

VARIÁVEIS	VALORES OBSERVADOS
Umidade	7,99%
Germinação	91%
Primeira Contagem	79%
Plântulas Anormais	6%
Sementes Mortas	3%
Teste de Frio	56%
Envelhecimento Acelerado	78%
Condutividade Elétrica	156,49 ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$)
Comprimento da parte aérea	3,30 cm/planta
Comprimento da raiz	8,01 cm/planta
Massa seca da parte aérea	9,20 mg/planta
Massa seca da raiz	6,99 mg/planta
Emergência em areia	91%
Índice de Velocidade de Emergência	4,32

Fonte: elaborada pela autora.

3.5.1. Experimento 1: teores de água no substrato úmido

Dentre as variáveis avaliadas após o umedecimento das sementes em substrato úmido com diferentes teores de água, observou-se efeito significativo somente para primeira contagem da germinação, germinação (plântulas normais) e condutividade elétrica. Para as demais características não foi observada diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 2).

Para o ajuste da umidade das sementes à 20%, o método do substrato úmido com diferentes teores de água no papel mostrou-se eficiente (Tabela 2), tendo em vista que a diferença no grau de umidade após a hidratação (1,63%) foi inferior a diferença máxima permitida, de 2 a 3%, garantindo que a interpretação dos resultados seja considerada segura (TOMES; TEKRONY; EGLI, 1988).

Para a germinação após o umedecimento, observou-se diferenças significativas entre os teores de água (Tabela 2). Apesar de todos os tratamentos apresentarem germinação superior a 70%, padrão mínimo estabelecido para a cultura pela Instrução Normativa Nº. 45 (BRASIL, 2013), o tratamento referente a 2,0 vezes a massa do papel em água, exibiu porcentagem de germinação superior aos demais e próxima a porcentagem de germinação inicial, assim como o teor de água

de 2,5 vezes a massa do papel, que apresentou o mesmo valor da germinação inicial. Isso indica que esses dois teores de água no substrato foram adequados para a ativação dos mecanismos de reparo de membranas e ativação enzimática (ZUCARELI et al., 2008), o que acelerou a degradação de reservas e favoreceu a formação de plântulas normais. A maior velocidade de germinação, representada pelos valores da primeira contagem, confirma a superioridade dos tratamentos referentes aos teores de água de 2,0 e 2,5 em relação aos demais.

Tabela 2 – Grau de umidade e características fisiológicas de sementes de milho doce embebidas por diferentes teores de água no papel, através do método do substrato úmido

TRAT.	U (%)	G (%)	PC (%)	AN (%)	M (%)	CE ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$)	CPA (cm/planta)	CRAIZ (cm/planta)	MSPA (mg/planta)	MSRAIZ (mg/planta)
1,5	19,68	88 ab	70 ab	5	8	113,71 a	4,10	7,38	8,50	5,50
2,0	20,33	93 a	75 a	2	5	110,42 ab	3,53	7,25	6,82	4,75
2,5	20,46	92 ab	73 a	2	7	104,29 b	3,13	7,38	7,40	4,52
3,0	21,31	89 ab	67 ab	5	6	104,96 b	3,63	7,85	7,95	5,07
3,5	20,54	87 b	62 b	5	8	116,71 a	3,10	7,40	6,25	4,97
P-valor	-	0,04	0,01	0,53	0,17	0,00	0,08	0,94	0,51	0,92
CV (%)	2,62	3,01	6,46	42,16	27,11	3,56	14,71	13,91	26,36	31,13

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Legenda: tratamentos (TRAT.); coeficiente de variação (CV); grau de umidade (U); Germinação de plântulas normais (G); primeira contagem da germinação (PC); plântulas anormais (AN); sementes mortas (M); condutividade elétrica (CE); comprimento de parte aérea (CPA); comprimento de raiz (CRAIZ); massa seca de parte aérea (MSPA); massa seca de raiz (MSRAIZ).

Fonte: elaborada pela autora

Por outro lado, o tratamento correspondente a 3,5 vezes a massa do papel em água, apresentou porcentagem de germinação inferior aos demais tratamentos e à germinação inicial. O excesso de água no substrato aliado ao potencial hídrico reduzido da semente pode ter provocado a embebição acelerada, que causa rupturas de tecidos e desorganização de membranas (ROSSETTO et al., 1997; ZUCARELI et al., 2008), acarretando redução na porcentagem final de germinação.

Além disso, o excesso de água no substrato pode ter provocado deficiência no suprimento de oxigênio, que é essencial para a germinação. Durante a embebição, a atividade respiratória do embrião é intensificada para suprir o fornecimento da energia aos processos metabólicos responsáveis pelo

desenvolvimento do eixo embrionário, sendo o oxigênio imprescindível para essas reações. O excesso de água limita a entrada desse gás, reduzindo a respiração, acarretando atraso da germinação (TANAKA; MARIANO; LEÃO, 1991), o que pode ser confirmado pela menor velocidade de germinação, representada pela primeira contagem, do tratamento de 3,5 vezes a massa do papel em água (Tabela 2).

Quanto a redução da germinação devido aos altos teores de água, como observado nesse estudo, Silva e Carvalho (2008), estudando a qualidade de sementes de faveira (*Clitoria fairchildiana*) de diferentes tamanhos, sob quatro condições de umedecimento do substrato de areia (25%, 50%, 75% e 100% da capacidade de retenção) observaram que o excesso de água na embebição reduziu a germinação das plântulas, o que pode estar relacionado com o aumento da respiração anaeróbia que provoca a morte de tecidos, pela produção de substâncias tóxicas.

Os resultados observados neste trabalho também são similares aos obtidos por Azeredo et al. (2010), que verificaram efeitos negativos nas umidades superiores a 3,0 vezes a massa do substrato, na germinação de sementes repolho, bem como aos de Gentil e Torres (2001), com sementes de maxixe.

Jacinto, Benett e Benett (2014), estudando os efeitos de dois substratos (papel germitest e papel mata borrão) e seis teores de água (1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0 vezes a massa do papel seco) sobre a germinação de sementes de soja, constataram que para a germinação total, conduzida no papel germitest, houve redução linear na porcentagem de plântulas com o incremento dos teores de água utilizados para o umedecimento do substrato, sendo que para o teor de água de 3,5 vezes a massa do papel, foi encontrado um dos menores percentuais de germinação, corroborando com os resultados obtidos. Entretanto, para a germinação conduzida no substrato entre papel borrão, foi observado o contrário, sendo os dados ajustados a uma regressão linear positiva conforme aumentou-se os teores de água, o que evidencia a influência do substrato na disponibilidade de água para as sementes e a necessidade de estudos referentes a outros substratos ou métodos de hidratação que possam ser mais adequados e causar menos danos às sementes em estudo.

Os valores de condutividade elétrica observados após o umedecimento (de todos os tratamentos) (Tabela 2) foram inferiores à condutividade elétrica inicial do lote (Tabela 1). Segundo Zucareli et al. (2008), isso pode estar

associado à perda de lixiviados para o substrato durante o período de ajuste do teor de água, diminuindo a liberação destes para a solução de embebição. Ainda, pode estar relacionado à influência do teor de água das sementes nos resultados desse teste, uma vez que, quanto menor esse teor de água, maior a desorganização das membranas e, conseqüentemente, maior será a liberação de solutos, o que aumenta o valor da condutividade elétrica. Além disso, após a embebição, as membranas já estão reorganizadas, o que minimiza a liberação de exsudatos (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

Apesar disso, as quantidades de água de 2,5 e 3,0 vezes a massa do papel mostraram-se superiores às demais, pois apresentaram valores inferiores de condutividade elétrica, o que indica melhor organização e qualidade das membranas e, conseqüentemente, maior vigor. Já os tratamentos referentes aos teores de água de 1,5 e 3,5 vezes a massa do papel, apresentaram os maiores valores para essa característica, indicando serem inadequados para a hidratação de sementes de milho doce, já que promovem prejuízos a qualidade das mesmas.

O maior valor de condutividade elétrica observado para o tratamento que continha a maior quantidade de água no substrato (3,5 vezes a massa do papel) pode estar relacionado a danos ou rupturas nas membranas, causados pela embebição acelerada provocada pelo maior teor de água no papel, o que evidencia o menor vigor das sementes submetidas a hidratação por este método (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015).

Já o tratamento que testou a menor quantidade de água no papel (1,5 vezes a massa do substrato), prolongou o período necessário para que as sementes atingissem o teor de água esperado e, durante este tempo, essas sementes ficaram expostas a condições desfavoráveis que podem ter acelerado o processo de envelhecimento, afetando negativamente a qualidade fisiológica das mesmas, como foi comprovado pelo maior valor de condutividade elétrica observado para este tratamento (VILLELA; MARCOS FILHO; NOVEMBRE, 2003).

Estes resultados, alto vigor para sementes com baixa condutividade elétrica e baixo vigor para sementes com alta condutividade, têm sido validados por diversas pesquisas (MCDONALD; WILSON, 1979; POWELL, 1986; VIEIRA et al., 2002; VIEIRA et al., 2004), que têm demonstrado que a redução da germinação e do vigor relaciona-se diretamente com a elevação da concentração de eletrólitos liberados pelas sementes durante a embebição (BORGES, 2016).

De forma geral constatou-se que, para o método do substrato úmido (em papel de germinação), a proporção de 2,0 e 2,5 vezes a massa do papel em água foram as mais adequadas à hidratação de sementes de milho doce, pois permitem a absorção e a elevação da umidade sem causar prejuízos que possam alterar o potencial fisiológico das mesmas, o que corrobora com os resultados obtidos por Zucareli et al. (2008) para milho comum. Entretanto, como a proporção de 2,5 vezes a massa do papel tem sido amplamente empregada e utilizada como referência para diversas espécies, e por ter apresentado resultados ligeiramente superiores, pode ser mais indicada para hidratação de sementes desta cultura.

Contudo, é importante ressaltar que outros métodos de umedecimento devem ser avaliados a fim de comprovar a eficiência do método do substrato úmido umedecido com 2,5 vezes a massa do papel.

3.5.2. Experimento 2: Métodos de umedecimento de sementes de milho doce

Segundo a análise de variância das características fisiológicas das sementes após a hidratação por diferentes métodos (Tabela 3), houve efeito significativo dos tratamentos para a maioria das variáveis avaliadas, exceto pelo comprimento de raiz, que não sofreu alteração significativa em virtude dos métodos de umedecimento.

De acordo com os resultados, os métodos avaliados foram eficientes para elevação do grau de umidade das sementes para 20%, sendo a variação máxima observada de 0,91 pontos percentuais, o que assegura a uniformidade e minimiza a influência da umidade nas comparações dos efeitos dos métodos empregados.

Quanto a germinação, todos os métodos testados apresentaram porcentagem superior à 70%, padrão mínimo estabelecido pela Instrução Normativa Nº. 45 (BRASIL, 2013). Entretanto, os métodos do substrato úmido (S.U) e da imersão direta em água (I.A) se destacaram novamente por apresentar valores de germinação semelhantes ao das sementes antes da embebição (Tabela 1). Isso também aconteceu para porcentagem de plântulas anormais e sementes mortas. Esses dois métodos exibiram os menores valores para essas duas variáveis, o que indica a melhor qualidade das sementes que passaram pela hidratação por meio destes processos.

Tabela 3 – Grau de umidade e características fisiológicas das sementes de milho doce embebidas por diferentes métodos de umedecimento

TRAT.	U (%)	G (%)	PC (%)	AN (%)	M (%)	CE ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$)	CPA (cm/planta)	CRAIZ (cm/planta)	MSPA (mg/planta)	MSRAIZ (mg/planta)
A.U	21,1	76 b	48 c	14 a	10 a	166,61 a	4,08 a	8,24	11,12 a	8,18 b
S.U	20,8	88 a	75 a	8 b	4 bc	116,02 b	4,02 a	9,17	11,34 a	8,81 ab
I.A	20,8	92 a	61 b	6 b	3 c	142,32 ab	3,05 b	8,43	8,77 b	10,98 a
A.R	20,2	74 b	53 bc	18 a	8 ab	172,35 a	3,44 ab	8,66	8,93 b	10,06 ab
P-valor	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,43	0,00	0,01
CV (%)	2,82	2,81	5,13	16,37	43,05	19,86	11,47	11,63	11,69	14,81

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Legenda: Tratamentos (TRAT.); atmosfera úmida (A.U); substrato úmido (S.U); imersão direta em água (I.A); adição da quantidade de água requerida (A.R); coeficiente de variação (CV); grau de umidade (U); germinação de plântulas normais (G); primeira contagem da germinação (PC); plântulas anormais (AN); sementes mortas (M); condutividade elétrica (CE); comprimento de parte aérea (CPA); comprimento de raiz (CRAIZ); massa seca de parte aérea (MSPA); massa seca de raiz (MSRAIZ).

Fonte: elaborada pela autora

Por outro lado, os métodos da adição da quantidade de água requerida (A.R) e, novamente, da atmosfera úmida (A.U) apresentaram os menores percentuais de germinação em virtude do maior número de plântulas anormais e sementes mortas, sendo a quantidade de plântulas anormais superior à quantidade de sementes mortas. Esses dois métodos reduziram o potencial fisiológico das sementes, seja por promover danos por embebição nas membranas, como no caso da adição da quantidade de água requerida (A.R) (HAMPTON; TEKRONY, 1995), ou por acelerar o processo de envelhecimento devido ao longo período de embebição, como na atmosfera úmida (A.U) (VILLELA; MARCOS FILHO; NOVEMBRE, 2003). Diferentemente da adição da quantidade de requerida (A.R), no método de imersão direta em água (I.A), a exposição das sementes a grande quantidade de água é rápida, o que diminui os riscos de danos por embebição, não comprometendo o potencial fisiológico.

Segundo Villela, Novembre e Marcos Filho (2007), a degradação de proteínas e carboidratos insolúveis, em sementes com potencial fisiológico reduzido, é prejudicial ao vigor e à germinação, já que esses compostos são responsáveis pela absorção de água. Assim, o aumento da umidade das sementes por métodos inadequados que aceleram os processos deteriorativos, como a atmosfera úmida

(A.U) e adição da quantidade de água requerida (A.R), reduzem não apenas o vigor, mas também a capacidade de germinação normal das sementes, uma vez que os danos causados por esses métodos levam a formação de plântulas anormais ou até mesmo a morte das sementes.

Zucareli et al. (2011) estudando o a germinação e o vigor de sementes de milho comum após o umedecimento por diferentes métodos para a elevação do teor de água das sementes para 25%, observaram menor percentual de germinação das sementes provenientes do método da atmosfera úmida, semelhantemente aos resultados obtidos.

Para a primeira contagem da germinação, o método do substrato úmido (S.U) apresentou o maior valor e mais semelhante ao do lote inicialmente (sem hidratação), comprovando ser adequado para o umedecimento das sementes, pois não afeta negativamente a velocidade de germinação. Os demais métodos apresentaram valores inferiores para essa variável, com destaque para a atmosfera úmida (A.U), que resultou em sementes com o pior desempenho.

A menor velocidade de germinação observada para sementes provenientes do método da atmosfera úmida pode estar relacionada ao longo período necessário para elevação do teor de água, em que as sementes ficam expostas a alta umidade, o que pode acelerar os processos de envelhecimento que acompanham o teor de água (VILLELA; MARCOS FILHO; NOVEMBRE, 2003).

Para a variável condutividade elétrica o método do substrato úmido (S.U) apresentou menores valores, seguido do método de imersão em água (I.A), que não diferiu estatisticamente dos demais. Em contrapartida, os métodos da adição da quantidade de água requerida (A.R) e atmosfera úmida (A.U) proporcionaram maiores valores de condutividade. Para essa característica, quanto menor o valor apresentado melhor a qualidade da semente e, quanto maior o valor, maior o grau de deterioração do lote, pois maior a quantidade de exsudados liberados pela membrana.

Segundo Silva e Rosseto (2012), o maior valor de condutividade obtido para sementes submetidas ao método da atmosfera úmida, pode estar relacionado a menor velocidade de embebição proporcionada por este procedimento, devido a menor disponibilidade de água no estado de vapor, o que aumenta o tempo de exposição das sementes a alta umidade e favorece a deterioração. Já a adição da quantidade de água requerida pode promover danos

por embebição nas membranas, o que, segundo Hampton e Tekrony (1995), constitui uma das limitações desse método. Isso caracteriza o início das alterações degenerativas nas sementes e culmina no menor vigor das mesmas (DELOUCHE, 2002), como foi constatado no teste de condutividade elétrica.

Zucareli et al. (2011) estudando métodos e temperaturas de hidratação no potencial fisiológico de sementes de milho comum, observaram maior valor de condutividade elétrica para sementes submetidas aos métodos da atmosfera úmida e adição da quantidade de água requerida, com o teor de água ajustado para 20%, o que corrobora aos resultados obtidos.

Para comprimento da parte aérea, os métodos do substrato úmido (S.U) e da atmosfera úmida (A.U) foram os que apresentaram os maiores valores, seguido do método de adição da quantidade de água requerida (A.R), que não diferiu estatisticamente dos anteriores e nem do método de imersão em água (I.A), sendo este último o que apresentou o menor valor. Já para o comprimento de raiz, não foi observada diferença significativa entre os métodos avaliados.

A variação máxima observada para comprimento da parte aérea e da raiz foi de 1,03 e 0,93 centímetros, respectivamente, o que do ponto de vista biológico, não é significativo e, por isso, não pode ser considerado uma variável eficiente para a avaliação dos métodos de umedecimento. Além disso, segundo Silva e Cicero (2014), o teste de comprimento de plântulas, quando analisado manualmente, apresenta limitações como a variação de resultados entre laboratórios, e, além disso, o consumo excessivo de tempo para a obtenção dos resultados pode prejudicar a eficiência do mesmo.

Para massa seca de parte aérea, os métodos do substrato úmido (S.U) e da atmosfera úmida (A.U) tiveram o melhor desempenho. Já para a massa seca da raiz, o método de imersão em água (I.A) apresentou maior valor; contudo, os métodos do substrato úmido (S.U) e da adição da quantidade de água requerida (A.R), não diferiram estatisticamente deste método, e nem do método atmosfera úmida (A.U), que exibiu o menor valor.

Zucareli et al. (2011) avaliando quatro métodos de hidratação (substrato úmido, atmosfera úmida, imersão em água e adição da quantidade de água requerida) para a elevação do teor de água de sementes de milho a 15%, 20% e 25%, sob duas temperaturas (20 e 30 °C), constataram que o método da atmosfera úmida reduziu o potencial fisiológico das sementes nos três teores de

água testados, corroborando aos resultados obtidos. Em contrapartida, os autores observaram que a temperatura de 30 °C e o método da imersão direta em água não alteraram a qualidade fisiológica das sementes de milho comum, mostrando-se adequados para a hidratação das mesmas visando à elevação do teor de água para 15; 20 e 25%, diferentemente dos resultados encontrados neste estudo.

Por outro lado, Silva e Rosseto (2012), avaliando a qualidade fisiológica de sementes de girassol após a hidratação pelos métodos da atmosfera úmida e substrato úmido em temperaturas de 10 e 20°C visando elevar o teor de água para 15, 20 e 25%, observaram que o método do substrato úmido a 10°C foi eficiente para elevar o grau de umidade a 15 e 20% em sementes de girassol com elevada qualidade, semelhantemente aos resultados obtidos aqui, exceto pela temperatura. Contudo, para girassol, houve redução do vigor das plântulas.

Dentre os procedimentos analisados, o método do substrato úmido apresentou resultados superiores ou estatisticamente semelhantes aos demais para todas as variáveis analisadas. Além disso, este método não alterou negativamente o potencial fisiológico das sementes e pode ser considerado rápido e simples quanto a execução, o que é imprescindível para a utilização em larga escala. Por outro lado, o método da atmosfera úmida, além de demorado, reduziu o potencial fisiológico das sementes, caracterizando-se como inadequado para a elevação do grau de umidade de sementes de milho doce.

3.6 CONCLUSÕES

A proporção de 2,5 vezes a massa do papel em água, no método do substrato úmido, mostrou-se adequada para hidratação de sementes de milho doce, por permitir a obtenção do grau de umidade desejado sem alterar o potencial fisiológico das sementes.

O método da atmosfera úmida reduz o potencial fisiológico das sementes de milho doce, sendo inadequado para a hidratação de sementes desta espécie.

O método do substrato úmido não altera o potencial fisiológico do lote de sementes, sendo o mais indicado para a elevação do teor de água de sementes de milho doce para 20%.

3.7 REFERÊNCIAS

AOA - ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed Vigor Testing Handbook**. Lincoln, 2009. 105 p.

ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; SOFIATTI, V.; SILVA, R.F. Maturação de sementes de milho-doce – grupo super doce. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.28, n.2, p.69-76, 2006.

AZEREDO, G.A.; SILVA, B.M.S.; SADER, R.; MATOS, V.P. Umedecimento e substratos para germinação de sementes de repolho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 77-82, 2010.

BARBIN, D. **Planejamento e Análise Estatística de Experimentos Agronômicos**. Arapongas: Midas, 2003. 208 p.

BORGES, I.O. **Teste de condutividade elétrica em sementes de milho doce**. 2016. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade de Brasília–Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária Campus Darcy Ribeiro, Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 45 de 2013**. Brasília, DF: MAPA/DAS/CSM, 2013, 38 p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.

CÍCERO, S.M.; VIEIRA, R.D. Teste de frio. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de Vigor em Sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, p.151-164. 1994.

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

GENTIL, D.F.O.; TORRES, S.B. Umedecimento do substrato e germinação de sementes de maxixe (*Cucumis anguria* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 23, n. 2, p.113-116, 2001.

HAMPTON, J.G.; TEKRONY, D.M. Controlled deterioration test. In: HAMPTON, J.G., TEKRONY, D.M. **Handbook of Vigour Test Methods**. Zurich: International Seed Testing Association, p.70-78. 1995.

JACINTO, J.T.D.; BENETT, K.S.S.; BENETT, C.G.S. Influência do substrato e do teor de água sobre a germinação de sementes de soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 1, n. 1, p. 97-102,2014.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2. Ed. Londrina, PR: ABRATES, 2015. 660p.

MCDONALD, M.B.; WILSON, D.O. An assessment of the standardization and ability of the asa-610 to rapidly predict potential soybean germination. **Journal of Seed Technology**, Lincoln, v. 4, n. 2, p. 1-11, 1979.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. Cap.2, p.1-24.

PARERA, C.A.; CANTLIFE, D.J.; STOFELLA, P.J.; SCULLY, B.T. Field emergence of *shrunk-2* corn predicted by single-and multiple-vigor laboratory tests. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Florida, v.120, n. 1, p.128-132, 1995.

POWELL, A.A. Cell membranes and seed leachate conductivity in relation to the quality of seed for sowing. **Journal of Seed Technology**, Lincoln, v. 10, n. 2, p. 81-100, 1986.

ROSSETTO, C.A.V.; NOVENBRE, A.D.L.C.; MARCOS FILHO, J.; SILVA, W.R.; NAKAGAWA, J. Comportamento das sementes de soja durante a fase inicial do processo de germinação. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, n.1/2, p.106-15, 1997.

SEMINIS. **Cultive Milho Doce Performance Series®**. Disponível em: <<http://www.seminis.com.br/produtos/performance-series-sweet-corn/>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

SHIOGA, P.S.; SILVA, W.R. Controle da hidratação das sementes e desenvolvimento inicial de plântulas do feijoeiro. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, n.1, p. 8-14, 1998.

SILVA, B.M.S.; CARVALHO, N.M. Efeitos do estresse hídrico sobre o desempenho germinativo da semente de faveira (*Clitoria fairchildiana* R.A. Howard. – FABACEAE) de diferentes tamanhos. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.30, n.1, p.55-65, 2008.

SILVA, V.N; CICERO, S.M. Análise de imagens de plântulas para avaliação do potencial fisiológico de sementes de berinjela. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 145-151, 2014.

SILVA, L.F.; ROSSETO, C.A.V. Potencial fisiológico de sementes de girassol influenciado pelo umedecimento artificial. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1161-1167, 2012.

TANAKA, M.A.S.; MARIANO, M.I.A.; LEÃO, N.V.M. Influência da quantidade de água no substrato sobre a germinação de sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 73-76, 1991.

TOMES, L.J.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. Factors influencing the tray accelerated aging test for soybean seed. **Journal of Seed Technology**, Lincoln, v. 12, n. 1, p. 24-36, 1988.

VIEIRA, R.D.; PENARIOL, A.L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, 2002.

VIEIRA, R.D.; SCAPPA NETO, A.; BITTENCOURT, S.R.M.; PANOBIANCO, M. Electrical conductivity of the seed soaking solution and soybean seedling emergence. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.2, p.164–168, 2004.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇANETO, J. B. (Ed). **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. 1999.Cap.4. p.1-26.

VILLELA, F.A.; MARCOSFILHO, J.; NOVENBRE, A.D.L.C. Estado energético da água na semente de milho no processo de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 01, p. 95-100, 2003.

VILLELA, F.A.; NOVENBRE, A.D.L.C.; MARCOS FILHO, J. Estado energético da água na germinação de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 01, p. 27-34, 2007.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, C.; PORTUGAL, G.; NAKAGAWA, J. Potencial fisiológico de sementes de milho hidratadas pelo método do substrato de papel toalha. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.30, n.3, p. 122-129, 2008.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, C.; OLIVEIRA, E.A.P.; NAKAGAWA, J. Métodos e temperaturas de hidratação na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v.42, n.3, p. 684-692, 2011.

4 ARTIGO B

TESTE DE DETERIORAÇÃO CONTROLADA NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE MILHO DOCE

4.1 Resumo

A avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho doce é fundamental no processo de produção, pois a germinação e o vigor refletem o potencial de armazenamento, comercialização e utilização dessas sementes. A escolha de testes de vigor com uma metodologia de análise adequada e eficiente é fundamental para a obtenção de resultados confiáveis. Nesse sentido, objetivou-se com esse trabalho, adequar a metodologia do teste de deterioração controlada, por meio de combinações de tempo e temperatura, para avaliação do vigor de sementes de milho doce. Foram utilizados seis lotes de sementes de milho doce, caracterizados quanto o grau de umidade e o potencial fisiológico inicial por meio dos seguintes testes: germinação, primeira contagem da germinação, teste de frio, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas em areia, índice de velocidade de emergência, comprimento e massa seca de plântulas normais. Posteriormente, esses lotes tiveram o teor de água inicial ajustado para 20%, pelo método do substrato úmido. Em seguida, sementes dos seis lotes foram submetidas ao teste de deterioração controlada sob duas temperaturas (40 e 45°C), por quatro períodos (8, 16, 24 e 48 horas), obtendo-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 8 x 6, sendo 8 combinações de tempo/temperatura e 6 lotes de sementes, com quatro repetições. Após a deterioração determinou-se a porcentagem de germinação das sementes, aos quatro e aos sete dias depois da semeadura e, também a porcentagem de sementes mortas na última contagem. Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade e homogeneidade, posteriormente, a análise de variância com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância e, por fim, os resultados dos testes de primeira contagem e germinação após a deterioração, foram submetidos a estudo de correlação linear simples, juntamente com os dados da caracterização inicial. O teste de deterioração controlada, avaliado por meio da porcentagem de plântulas normais na primeira contagem e da germinação, mostrou-se adequado em estimar o potencial fisiológico de sementes de milho doce. As combinações 8h-40°C e 8h-45°C, são eficientes na distinção do vigor de lotes de sementes de milho doce para as duas variáveis, primeira contagem e germinação, avaliadas após a deterioração. O menor período de exposição (8 horas) e a primeira contagem da germinação, após a deterioração, são mais indicados para a avaliação do vigor de sementes de milho doce por meio da deterioração controlada, pois reduzem o tempo de realização do teste.

Palavras-chave: Envelhecimento artificial. Germinação. Potencial fisiológico. *Zea mays* convar. *Saccharata*. Milhos especiais.

CONTROLLED DETERIORATION TEST IN THE EVALUATION OF PHYSIOLOGICAL POTENTIAL OF SWEET CORN SEEDS

4.2 Abstract

The evaluation of the physiological potential of sweet corn seeds is fundamental in the production process, because the germination and vigor reflect the potential for storage, commercialization and use of these seeds. The choice of vigor tests with an adequate and efficient analysis methodology is fundamental to obtaining reliable results. In this sense, the aim of this work was to adjust the methodology of the controlled deterioration test, by means of combinations of time and temperature, to evaluate the vigor of sweet corn seeds. Six seed lots of sweet corn were used, characterized as the moisture content and initial physiological potential by means of the following tests: germination test, first germination count, cold test, electrical conductivity, accelerated aging, seedling emergence in sand, speed index of emergence, length and dry mass of normal seedlings. Subsequently, these lots had the initial moisture content adjusted to 20% by the wet substrate method. Then, seeds of the six lots were submitted to the controlled deterioration test under two temperatures (40 and 45°C), for four periods (8, 16, 24 and 48 hours), obtaining a completely randomized design in factorial scheme 8×6, being 8 time / temperature combinations and 6 seed lots, with four replicates. After deterioration, seed germination percentage was determined at four and seven days after sowing and the percentage of dead seeds at the last count. The data were submitted to analysis of normality and homogeneity, afterwards, the analysis of variance with means comparison by Tukey test at 5% of significance and, finally, the results of first count test and germination test after deterioration were submitted to a simple linear correlation study, together with the data from the initial characterization. The controlled deterioration test, evaluated by the percentage of normal seedlings in the first count and the germination, was adequate to estimate the physiological potential of sweet corn seeds. The 8h-40 °C and 8h-45 °C combinations are efficient in distinguishing the vigor of sweet corn seed lots for the two variables, first counting and germination, evaluated after deterioration. The shortest exposure period (8 hours) and the first germination count, after deterioration, are best indicated for evaluating the vigor of sweet corn seeds by means of controlled deterioration, since they reduce the time of the test.

Key words: Artificial aging. Germination. Physiological potential. *Zea mays* convar. *Saccharata*. Special corns.

4.3 INTRODUÇÃO

O milho doce tem como principal característica um maior teor de açúcares (9 a 25%) e menor teor de amido (30 a 35%) em relação ao milho comum, que apresenta cerca de 3% de açúcar e 60 a 70% de amido (ARAGÃO, 2002; SOUZA et al., 2013). Isso ocorre devido a ação de genes recessivos, que se manifestam individualmente ou associados em combinações duplas ou triplas, (LUZ et al., 2014), e impedem a conversão de açúcares em amido no endosperma (ARAÚJO et al., 2006).

Essas especificidades na composição química conferem às sementes de milho doce um aspecto vítreo e enrugado quando atingem a umidade ideal para a colheita, após a maturação fisiológica (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007). Isso, aliado ao maior teor de açúcar e a menor espessura do pericarpo, eleva a taxa de deterioração dessas sementes, pois as tornam mais suscetíveis a danos mecânicos e fisiológicos e, conseqüentemente, ao ataque de pragas e doenças.

Por isso, a avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho doce é fundamental no processo de produção, já que a germinação e o vigor podem estimar o potencial de armazenamento, comercialização e utilização dessas sementes (SBRUSSI, 2016).

Nesse sentido, a escolha de testes de vigor com uma metodologia de análise adequada é fundamental para a obtenção de resultados confiáveis (BARBIERI et al., 2012). Isto porque, a utilização rotineira desses testes em laboratórios de pesquisa ou de análise de sementes, depende da padronização dos mesmos para as diferentes espécies, permitindo que os resultados obtidos possam ser comparados e reproduzidos (BENTO et al., 2010).

Para determinação do vigor, o teste de deterioração controlada, baseado no comportamento da germinação após um envelhecimento artificial, se destaca como uma alternativa viável, pois é considerado simples, de fácil utilização, não exige grandes investimentos, é reproduzível, passível de padronização para utilização rotineira em laboratórios de análise de sementes, e, além de apresentar alta correlação com a emergência de plântulas no campo, também permite estimar o potencial de armazenamento de lotes de sementes (DUTRA; MEDEIROS FILHO, 2008; MARCOS FILHO, 2015), o que o torna muito promissor.

Neste teste de vigor, as sementes são expostas a condições similares as de deterioração (alta umidade e alta temperatura por determinado período), o que o torna mais preciso e eficiente, em relação aos outros testes de estresse, na distinção do potencial fisiológico de lotes de sementes. Apesar de similar ao teste de envelhecimento acelerado, na deterioração controlada, a umidade inicial das sementes é elevada e uniformizada, por meio de embebição controlada (HAMPTON; TEKRONY, 1995), e permanece constante durante todo período de deterioração (SILVEIRA, 2006).

O ajuste do teor de água permite que as sementes atinjam, antecipadamente, o ponto de equilíbrio, sendo submetidas a um estresse mais rigoroso que no teste de envelhecimento, no qual o teor de água das sementes aumenta descontroladamente, durante o período de condução do teste, até atingirem o equilíbrio, tornando o estresse menos drástico (KRZYZANOWSKI; WEST; FRANÇA NETO, 2001), além de poder acarretar diferenças no teor de água das mesmas e, comprometer a uniformidade da deterioração (SANTOS et al., 2011)

Como a deterioração ocorre em função da alta umidade e temperatura por um determinado período, o estudo e a identificação da melhor combinação desses fatores é importante para a adequação da metodologia do teste (ZUCARELI et al., 2011).

Diversos autores relatam a utilização do teste de deterioração controlada, para sementes de diferentes espécies, com teor de água inicial em torno de 20% (PANOBIANCO; MARCOS FILHO, 2001; SILVA; VIEIRA, 2010; TORRES et al., 2012; TORRES et al., 2013). Zucareli et al. (2011), estudando combinações de tempo e temperatura na adequação do teste de deterioração controlada para avaliação e classificação do vigor de sementes de milho com diferentes teores de água, constataram que as combinações 24h-45 °C, 48h-45 °C e 16h-45 °C para sementes com teor de água ajustado para 15, 20 e 25%, respectivamente, são eficientes para distinção entre lotes quanto ao vigor, sendo que os resultados mostraram correlação positiva e significativa com a velocidade e o total de emergência de plântulas no campo.

No entanto, não foram encontrados trabalhos a respeito do teste de deterioração controlada na avaliação da qualidade inicial das sementes de milho doce, sendo que as diferenças em relação ao milho comum, como a alta sensibilidade a danos por embebição, fragilidade das membranas e pericarpo

bastante fino, impossibilitam que as metodologias descritas para sementes de milho comum, sejam extrapoladas para sementes de milho doce.

Nesse sentido, objetivou-se adequar a metodologia do teste de deterioração controlada, por meio de combinações de tempo e temperatura, para avaliação do vigor de sementes de milho doce, com teor de água inicial ajustado para 20%.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), localizada no município de Londrina-PR.

Foram utilizados seis lotes de sementes híbridas do milho doce PERFORMANCE SERIES™ SINGLE PRO SC™ da Seminis (SV9298SN®) portador do gene *shruken* (*sh2*) (SEMINIS, 2018), formados mediante envelhecimento artificial sob temperatura de 35°C, por diferentes períodos.

Para o envelhecimento, as sementes dos lotes A, B, C, D, E e F, foram alocadas em caixas plásticas com suportes telados, contendo ao fundo 40 mL de água destilada, que ficaram incubadas em BOD (biochemical demand oxygen) sob temperatura de 35°C, durante 0, 6, 12, 18, 24 e 30 horas, respectivamente, obtendo-se assim lotes com diferentes níveis de vigor, mas com germinação acima do padrão de comercialização para a espécie (BRASIL, 2013).

Os lotes obtidos mediante o envelhecimento artificial foram caracterizados quanto ao potencial fisiológico inicial, através dos seguintes testes:

Grau de umidade: quatro repetições de 4,5 gramas de sementes inteiras, foram submetidas ao método da estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 24 horas, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Teste de germinação: realizado com quatro repetições de 100 sementes, semeadas em papel de germinação, que foram umedecidos com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato seco. Foram confeccionados rolos, acondicionados em sacos plásticos e mantidos em germinador, regulado a 25°C. As porcentagens de plântulas normais, anormais e sementes mortas foram contabilizadas aos sete dias, conforme as prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL 2009).

Primeira contagem da germinação: realizado em conjunto com o teste de germinação, calculando-se a porcentagem de plântulas normais obtidas no quarto dia após a semeadura.

Teste de frio: realizado com quatro repetições de 100 sementes, que foram semeadas em papel germitest umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes sua massa. Os rolos confeccionados após a semeadura foram acondicionados em sacos plásticos e mantidos em câmara regulada a 10°C, por sete dias no escuro (CÍCERO; VIEIRA, 1994). Posteriormente, os rolos foram transferidos para outra câmara, regulada a 25°C, na qual permaneceram por mais quatro dias, sendo realizada, ao final deste período, a contagem das plântulas normais.

Condutividade elétrica: conduzido com quatro repetições de 50 sementes, que, primeiramente, tiveram as massas determinadas e, posteriormente, foram colocadas em recipientes plásticos, contendo 25 mL de água destilada, onde permaneceram durante 24 horas à 25°C (PARERA et al., 1995). Após este período, foram realizadas leituras em condutímetro, sendo os resultados expressos em $\mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Envelhecimento acelerado: realizado adotando a metodologia recomendada pela AOSA (2009), utilizando-se caixas de plástico com tampa (11 cm x 11 cm x 3,5 cm) como compartimentos individuais, contendo 40 mL de água destilada no seu interior e, sobre esse volume de água, foi fixada uma bandeja de tela metálica, para acondicionar as sementes. Foram envelhecidas quatro repetições de 120 sementes a 42 °C por 72 horas. Após este período, quatro repetições de 15 sementes foram utilizadas para determinação do teor de água e, quatro repetições de 100 sementes foram colocadas para germinar conforme metodologia descrita para o teste de germinação (BRASIL, 2009). Após quatro dias foi registrada a porcentagem de plântulas normais de cada amostra.

Comprimento de plântulas normais: foi realizada a semeadura de quatro repetições de 10 sementes por tratamento, no terço superior do papel de germinação, umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos permaneceram em germinador por quatro dias a 25°C, no escuro. Após este período, foi mensurado o comprimento das plântulas normais, separadas em parte aérea e radicular, com auxílio de uma régua graduada, sendo os resultados expressos em centímetros por plântula (NAKAGAWA, 1999).

Massa seca de plântulas normais: utilizou-se as plântulas normais obtidas no teste de comprimento, separando-as em parte aérea e radicular e acondicionando-as em sacos de papel. Posteriormente, foram levadas à estufa com circulação de ar forçada, regulada a 80°C até atingirem massa constante. Após este período, cada repetição teve a massa avaliada em balança com precisão de 0,001g, sendo os resultados médios expressos em miligramas por plântula.

Emergência de plântulas em areia: realizado com quatro repetições de 50 sementes, semeadas em caixas de areia. Após 14 dias, foi contabilizado o número de plântulas com desenvolvimento normal da parte aérea, sendo o resultado expresso em porcentagem.

Índice de velocidade de emergência: realizado junto com o teste de emergência de plântulas em areia. As contagens de plântulas emergidas (com desenvolvimento normal da parte aérea) foram realizadas diariamente. Com essas informações, foram calculados os índices de velocidade de emergência (IVE) (MAGUIRE, 1962).

Após a caracterização inicial, as sementes de milho doce dos seis lotes tiveram o teor de água inicial ajustado para 20% pelo método do substrato úmido. Para tanto, as sementes foram envolvidas em três folhas de papel germitest, umedecidas com uma quantidade de água correspondente a 2,5 vezes a sua massa, sendo, posteriormente, confeccionados rolos, que foram mantidos em câmara tipo BOD, à 25°C, até atingir a massa previamente determinada (HAMPTON; TEKRONY, 1995).

Para o monitoramento da massa atingida, as sementes foram pesadas periodicamente, e, após atingirem a massa pré-determinada para o teor de água desejado, foi determinado o grau de umidade das amostras que, posteriormente, foram acondicionadas em frascos plásticos que, devidamente vedados, permaneceram à temperatura de 10°C, por um período de cinco dias, para uniformização do teor de água.

Após essa uniformização, cerca de 160 gramas de sementes dos seis lotes, foram divididas em quatro partes para serem alocadas em embalagens de alumínio individuais (10×15cm) que, devidamente identificadas e seladas, foram colocadas em banho-maria, sob duas temperaturas(40 e 45°C), por quatro períodos (8, 16, 24 e 48 horas), estabelecendo-se assim 8 combinações (2 temperaturas × 4 períodos). Dessa forma, obteve-se um delineamento inteiramente casualizado em

esquema fatorial 8x6, sendo 8 combinações de tempo/temperatura e 6 lotes de sementes, com quatro repetições.

Após os períodos de deterioração, as embalagens foram retiradas do banho-maria e mantidas em temperatura ambiente por 30 minutos, para estabilização da temperatura das sementes (ZUCARELI et al., 2011).

Posteriormente, foi determinado o grau de umidade e o potencial fisiológico das sementes dos seis lotes por meio dos testes germinação e primeira contagem, conforme as metodologias descritas anteriormente. Em seguida, foi contabilizado a porcentagem de sementes mortas, aos sete dias após a semeadura.

Para verificar a normalidade e a homogeneidade de variância dos dados, foram aplicados os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk (BARBIN, 2003). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados dos testes de primeira contagem e germinação, obtidos para cada tratamento após a deterioração controlada, juntamente com os dados da caracterização inicial, foram submetidos a estudo de correlação linear simples à 5% de significância.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os lotes de sementes utilizados apresentaram diferenças significativas quanto ao potencial fisiológico inicial, para as variáveis primeira contagem, germinação, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas em areia, comprimento e massa seca total das plântulas normais (Tabela 1).

De forma geral, a maioria dos testes empregados para caracterizar o potencial fisiológico inicial das sementes, definiu o lote A como o de maior vigor e o lote F como o de menor vigor. Os demais lotes demonstraram vigor intermediário (Tabela 1). Esta classificação está diretamente relacionada ao tempo de envelhecimento artificial empregado para a produção de cada lote. Quanto maior o tempo de exposição a alta umidade e temperatura, maior a taxa de envelhecimento e menor o vigor (SMANIOTTO et al., 2014), uma vez que o aumento na taxa respiratória das sementes é diretamente proporcional ao aumento da temperatura e da umidade, ocasionando sua deterioração mais rapidamente (SILVA et al., 2008).

Tabela 1 – Grau de umidade e características fisiológicas de seis lotes de sementes de milho doce

Lote	U (%)	G (%)	PC (%)	TF (%)	CE ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$)	EA (%)	CTOTAL (cm/planta)	MSTOTAL (mg/planta)	EC (%)	IVE
A	7,99	92 a	79 a	56	156,49	78 a	12,86 a	20,46 a	95 a	4,32
B	8,04	89 ab	79 a	54	159,67	78 a	12,69 ab	19,83 a	91 ab	4,56
C	8,32	89 ab	80 a	61	177,21	77 a	10,26 cd	20,46 a	93 a	4,32
D	8,18	94 a	84 a	51	190,27	52 b	11,30 bc	19,82 a	90 ab	4,29
E	8,02	92 a	82 a	53	160,78	60 b	11,60 abc	14,19 b	87 b	3,89
F	8,63	84 b	58 b	46	164,97	58 b	9,68 d	16,17 ab	86 b	4,16
P-valor	-	0,00	0,00	0,13	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
CV (%)	3,60	3,19	4,62	13,27	16,09	8,72	5,86	12,60	2,94	7,73

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Legenda: coeficiente de variação (CV); grau de umidade (U); germinação de plântulas normais (G); primeira contagem da germinação (PC); teste de frio (TF); condutividade elétrica (CE); envelhecimento acelerado (EA); comprimento total de plântulas normais (CTOTAL); massa seca total de plântulas normais (MSTOTAL); emergência de plântulas em areia (EC); índice de velocidade de emergência (IVE).

Fonte: elaborada pela autora

A segregação dos lotes quanto ao vigor é necessária para a padronização do teste de deterioração controlada, uma vez que busca-se a combinação de tempo e temperatura que proporcione segregação de forma semelhante e com alta correlação aos outros testes já padronizados. Entretanto, a utilização de lotes de baixa qualidade e com a porcentagem de germinação abaixo do padrão estabelecido para comercialização não é adequado para este tipo de estudo, pois segundo Zucareli et al. (2008), isso contribui para a obtenção de correlações significativas entre os resultados de laboratório e de campo, não detectando eficientemente a influência do vigor sobre o desempenho das sementes.

Apesar de ter ocorrido a separação dos lotes quanto ao potencial fisiológico, é importante ressaltar que todos apresentaram, inicialmente, alta porcentagem de germinação, acima de 70%, padrão estabelecido para a cultura (BRASIL, 2013) e alto vigor, condições, segundo Marcos Filho (1999), apropriadas para estudo do teste de deterioração controlada.

Na avaliação aos 4 dias após a deterioração controlada, os maiores valores foram observados para a combinação de 8h – 45 °C (Tabela 2). Entretanto, no maior período de deterioração, 48 horas de exposição, foram verificados os

menores valores para primeira contagem da germinação, principalmente na temperatura de 45 °C.

Tabela 2 – Primeira contagem de germinação de lotes de sementes de milho doce, com teor de água de 20%, após o teste de deterioração controlada com diferentes combinações de tempo e temperatura

Lote	Tempo (hora) / Temperatura (°C)							
	8h-40°C	16h-40°C	24h-40°C	48h-40°C	8h-45°C	16h-45°C	24h-45°C	48h-45°C
A	52 a C	51 a C	83 a A	58 a C	83 ab A	70 a B	54 ab C	26 ab D
B	59 a B	29 b D	55 b B	43 b C	86 a A	64 ab B	62 a B	29 a D
C	55 a BC	26 b E	51 bc CD	44 b D	81 abc A	62 ab B	45 bc D	23 ab E
D	28 b D	22 b D	42 cd C	28 c D	79 abc A	61 ab B	50 b C	30 a D
E	20 b DE	10 c E	31 e C	23 cd CD	74 bc A	56 b B	46 bc B	11 c E
F	20 b D	10 c D	34 de C	18 d D	73 c A	57 b B	37 c C	19 bc D

CV (%) 10,78

Medias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: elaborada pela autora.

Os dados da germinação obtidos após a deterioração (Tabela 3) confirmam a superioridade da combinação 8h – 45 °C, em relação às demais, para a maioria dos lotes e, além disso, revelam menor desempenho dos lotes na combinação 48h – 45°C.

Tabela 3 – Germinação de lotes de sementes de milho doce, com teor de água de 20%, após o teste de deterioração controlada com diferentes combinações de tempo e temperatura

Lote	Tempo (hora) / Temperatura (°C)							
	8h-40°C	16h-40°C	24h-40°C	48h-40°C	8h-45°C	16h-45°C	24h-45°C	48h-45°C
A	81 ab ABC	77 a BC	90 a A	66 ab D	85 ab AB	80 a BC	73 a CD	40 a E
B	88 a A	72 a C	84 a AB	71 a C	88 a A	78 ab BC	75 a C	39 a D
C	89 a A	73 a B	71 b B	66 ab BC	83 abc A	74 abc B	60 b C	30 bc D
D	79 bc AB	61 b D	69 bc CD	64 ab CD	83 abc A	79 a AB	71 a BC	38 ab E
E	70 c AB	42 c D	66 bc BC	67 ab BC	77 bc A	66 c BC	60 b C	23 c E
F	75 bc A	50 c E	62 c BC	59 b CD	75 c A	69 bc AB	50 c DE	31 abc F

CV (%) 6,34

Medias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: elaborada pela autora.

Na temperatura de 45 °C, conforme aumentou-se os períodos de deterioração, menores foram os valores de germinação observados. Rossetto, Lima

e Guimarães (2004), trabalhando com sementes de amendoim, também constataram que o prolongamento do período de exposição, no teste de envelhecimento acelerado, provocou efeitos mais drásticos sobre a germinação do que a elevação da temperatura. O mesmo foi verificado para sementes de melancia (BHERING et al., 2003), corroborando aos resultados obtidos.

Em contrapartida, Zucareli et al. (2011), observaram que, para sementes de milho, os maiores valores médios de germinação foram exibidos pelos tratamentos com maior temperatura, independente do período de deterioração. Bittencourt e Vieira (2006), trabalhando com envelhecimento acelerado em sementes de soja, também observaram maiores efeitos para temperatura do que para o período de exposição ao envelhecimento.

A maior sensibilidade das sementes de milho doce, em virtude da conformação e espessura do pericarpo e composição química (ZUCARELI et al., 2013), as torna mais suscetíveis ao estresse por tempo e temperatura, favorecendo sua deterioração. Isso explica a diferença no comportamento entre essas sementes e as de grandes culturas, como o milho e a soja, e a semelhança com sementes mais sensíveis, como as de hortaliças.

De acordo com Sun e Leopold (1995), os radicais livres responsáveis pela deterioração das membranas celulares aumentam durante o envelhecimento, o que também pode acarretar a redução da germinação das sementes nos maiores períodos de exposição, como observado neste trabalho.

Carvalho, Silva e Alves (2016), trabalhando com envelhecimento acelerado de sementes de mogno (*Swietenia macrophylla*), observaram uma redução na emergência total de plântulas, nas maiores temperaturas e períodos testados, que é decorrente da deterioração bioquímica que ocasiona o aumento de radicais livres, assim como pode ter acontecido com o milho doce nos maiores períodos de exposição testados.

Diferenças significativas entre os lotes de sementes de milho doce foram observadas na primeira contagem e na germinação, após a deterioração, para todas as combinações de tempo e temperatura avaliadas (Tabelas 2 e 3). No entanto, nem todos discriminaram os lotes de forma semelhante.

Para a primeira contagem da germinação após a deterioração, a grande maioria das combinações de tempo e temperatura identificaram o lote A como mais vigoroso e os lote E e F como menos vigorosos, com exceção das

combinações 8h – 45 °C; 24h – 45 °C e 48h – 45 °C que, diferentemente das demais, definiram o lote B como o único de maior vigor.

Os resultados da germinação após a deterioração também indicaram que a grande maioria das combinações testadas definiram os lotes A e B como os mais vigorosos, com exceção de alguns tratamentos que incluíram outros lotes como de maior vigor como as combinações 8h – 40 °C e 48h – 40°C que indicaram os lotes B e C, a combinação 16h – 45 °C que definiu os lotes A e D e a combinação 8h – 45 °C que segregou somente o lote B como mais vigoroso. Quanto à definição dos lotes menos vigorosos, os dados de germinação após a deterioração revelaram que todas combinações testadas classificaram os lotes E e F como de menor vigor, seja em conjunto ou isoladamente, semelhantemente à primeira contagem.

De forma geral, a maioria das combinações avaliadas classificaram, tanto na porcentagem de plântulas normais na primeira contagem quanto na germinação após a deterioração, como de melhor e pior potencial fisiológico os lotes A e F, respectivamente, o que indica coerência com as determinações realizadas inicialmente. Entretanto, os tratamentos que proporcionaram a segregação dos lotes de forma mais semelhante à classificação inicial, definida pelos testes de vigor já padronizados, foram: 8h – 40°C; 8h – 45°C e 16h – 40°C, porém a combinação 16h – 40 °C, apresentou alta porcentagem de sementes mortas (Tabela 4), o que compromete a utilização desta na avaliação do potencial fisiológico das sementes.

As combinações do maior período de exposição com as duas temperaturas testadas (48h – 40°C e 48h – 45°C), resultaram em porcentagens de germinação significativamente menores, quando comparadas aos outros tratamentos, com destaque para a combinação da maior temperatura com o maior tempo de deterioração (48h–45°C) que mostrou-se muito drástica proporcionando a morte da maioria das sementes (Tabela 4), o que inviabiliza a avaliação do vigor das mesmas pelo teste de deterioração quando utilizada essas combinações de tempo e temperatura.

Tabela 4 – Sementes mortas, no teste de germinação, de lotes de sementes de milho doce, com teor de água de 20%, após o teste de deterioração controlada com diferentes combinações de tempo e temperatura

Lote	Tempo (hora) / Temperatura (°C)							
	8h-40°C	16h-40°C	24h-40°C	48h-40°C	8h-45°C	16h-45°C	24h-45°C	48h-45°C
A	9 c DE	23 d C	9 c DE	33 ab B	7 b E	13 DE	16 c CD	43 b A
B	6 c D	27 d B	14 c C	28 b B	7 b CD	13 CD	15 c C	42 b A
C	9 c D	26 d BC	27 b BC	34 ab AB	6 b D	12 D	21 bc C	41 b A
D	18 ab C	38 c A	30 ab B	35 ab AB	9 b D	13 CD	18 bc C	39 b A
E	25 a DEF	57 a A	34 ab C	31 b CD	17 a EF	17 F	25 b DE	45 ab B
F	17 b C	49 b A	36 a B	40 a B	13 ab C	15 C	33 a B	51 a A
CV (%) 14,82								

Medias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: elaborada pela autora.

Camara et al. (2008) afirmam que temperaturas extremas causam alterações internas nas sementes, o que afeta negativamente o processo germinativo, por acarretar danos, muitas vezes, irreversíveis. Zucareli et al. (2011), estudando a aplicação do teste de deterioração controlada em sementes de milho com teor de água de 20%, observaram que o tratamento com maior temperatura e tempo de deterioração (48h–48°C) foi muito drástico causando a morte das sementes, semelhantemente aos resultados obtidos neste estudo.

De acordo com Hampton e Tekrony (1995), o envelhecimento das sementes ocorre mais rapidamente quando apresentam alto teor de água e são armazenadas sob elevada temperatura, o que explica a menor porcentagem de germinação observada na combinação do maior tempo e temperatura.

Quanto ao melhor desempenho observado para lotes mais vigorosos, como o lote A, Padilha et al. (2001), avaliando o comportamento de sementes de milho pelo teste de deterioração controlada, relatam que sementes vigorosas apresentam desempenho superior em uma faixa mais ampla de condições ambientais.

Correlações positivas e significativas foram verificadas entre o índice de velocidade de emergência, realizado inicialmente, e as combinações 8h – 40°C; 8h – 45°C e 48h – 45°C para a primeira contagem da germinação após a deterioração, à 5% de probabilidade. A maioria dos tratamentos avaliados aos 4 dias após a deterioração apresentaram correlações significativas com a emergência de plântulas em areia, com exceção das combinações 24h – 45 °C e 48h – 45 °C.

Também foram observadas correlações positivas e significativas entre o envelhecimento acelerado e os tratamentos 8h – 40°C e 48h – 40°C, da primeira contagem, à 5% de probabilidade. Já as variáveis comprimento total de plântulas e massa seca total de plântulas correlacionaram-se significativamente com as combinações 24h – 45 °C e 48h – 45 °C, respectivamente (Tabela 5). Em geral, as combinações 8h – 40°C e 8h – 45 °C apresentaram maior número de correlações significativas com os testes de vigor realizados previamente.

Tabela 5 – Coeficientes de correlação linear simples entre a porcentagem de plântulas normais na primeira contagem da germinação após deterioração controlada sob diferentes combinações de tempo/temperatura e demais testes de vigor, em sementes de milho doce.

VARIÁVEIS	Tempo (hora) / Temperatura (°C)							
	8h-40°C	16h-40°C	24h-40°C	48h-40°C	8h-45°C	16h-45°C	24h-45°C	48h-45°C
PC	0,35	0,35	0,28	0,42	0,48	0,32	0,60	0,24
G	0,06	0,36	0,28	0,30	0,28	0,31	0,47	0,22
TF	0,75	0,53	0,52	0,74	0,60	0,50	0,36	0,16
CE	-0,18	-0,24	-0,36	-0,27	-0,10	-0,22	-0,22	0,37
EA	0,92**	0,70	0,74	0,86*	0,77	0,71	0,54	0,27
IVE	0,81*	0,58	0,53	0,61	0,87*	0,67	0,67	0,89*
EC	0,84*	0,93**	0,90*	0,97**	0,81*	0,92**	0,56	0,59
CTOTAL	0,49	0,67	0,67	0,63	0,68	0,67	0,89*	0,35
MSTOTAL	0,81	0,76	0,69	0,77	0,84*	0,81	0,54	0,89*

*significativo a 5% de probabilidade.

** significativo a 1% de probabilidade.

Legenda: primeira contagem da germinação (PC), germinação (G), teste de frio (TF), condutividade elétrica (CE), envelhecimento acelerado (EA), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência de plântulas em caixas de areia (EC), comprimento total de plântulas (CTOTAL), massa seca total de plântulas (MSTOTAL).

Fonte: elaborada pela autora.

Rossetto, Lima e Guimarães (2004) também encontraram correlações elevadas e significativas entre os resultados da primeira contagem da germinação (realizada aos 5 dias), após a deterioração controlada de sementes de amendoim, e os resultados dos testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica, indicando haver relação entre eles.

Os resultados do teste germinação após a deterioração também apresentaram coeficientes de correlação elevados e significativos quando correlacionados com os testes de índice de velocidade de emergência, emergência

de plântulas em areia, comprimento total de plântulas e massa seca total de plântulas, realizados inicialmente.

Para a germinação após a deterioração, os tratamentos 8h – 40°C; 8h – 45°C; 24h – 40°C; 24h – 45 °C e 48h – 45°C apresentaram correlação positiva e significativa, à 5% de probabilidade, com o índice de velocidade de emergência, sendo que a combinação 8h – 45 °C também exibiu coeficiente de correlação significativo com o teste de emergência de plântulas em areia, assim como a combinação 16h – 40 °C (Tabela 6). Com o comprimento total de plântulas, as combinações 16h – 40 °C e 48h – 40 °C foram as únicas que apresentaram correlação positiva e significativa a 5% de probabilidade. Já com a massa seca total de plântulas, as combinações que correlacionaram-se significativamente foram 8h – 40 °C; 24h – 40 °C; 24h – 45 °C e 8h – 45 °C, sendo esta última a que apresentou maior número de correlações significativas com os testes de vigor previamente realizados.

Tabela 6 – Coeficientes de correlação linear simples entre a germinação após deterioração controlada sob diferentes combinações de tempo/temperatura e demais testes de vigor, em sementes de milho doce.

VARIÁVEIS	Tempo (hora) / Temperatura (°C)							
	8h-40°C	16h-40°C	24h-40°C	48h-40°C	8h-45°C	16h-45°C	24h-45°C	48h-45°C
PC	0,24	0,38	0,58	0,70	0,31	0,72	0,40	0,13
G	-0,07	0,32	0,41	0,67	0,15	0,45	0,41	0,20
TF	0,65	0,47	0,57	0,36	0,65	0,60	0,32	0,03
CE	0,14	0,44	0,01	-0,01	0,00	0,28	0,22	0,07
EA	0,73	0,77	0,66	0,40	0,78	0,61	0,40	0,32
IVE	0,88*	0,64	0,85*	0,62	0,84*	0,40	0,81*	0,83*
EC	0,70	0,82*	0,80	0,66	0,93**	0,46	0,78	0,60
CTOTAL	0,18	0,85*	0,70	0,88*	0,44	0,75	0,56	0,53
MSTOTAL	0,86*	0,65	0,84*	0,65	0,95**	0,31	0,92*	0,80

*significativo a 5% de probabilidade.

** significativo a 1% de probabilidade.

Legenda: primeira contagem da germinação (PC), germinação (G), teste de frio (TF), condutividade elétrica (CE), envelhecimento acelerado (EA), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência de plântulas em caixas de areia (EC), comprimento total de plântulas (CTOTAL), massa seca total de plântulas (MSTOTAL).

Fonte: elaborada pela autora.

Segundo Marcos Filho et al. (1984), a correlação significativa indica haver uma tendência de variação semelhante entre as duas variáveis comparadas, entretanto, não significa que a qualidade do lote seja estimada da mesma forma

pelas duas características (TORRES et al., 2012). Por isso, para a definição do melhor tratamento para a avaliação do teste de deterioração controlada em sementes de milho doce, é necessário avaliar os resultados da primeira contagem e da germinação, após a deterioração, em conjunto com as correlações que eles apresentaram com os outros testes de vigor já padronizados.

Nesse sentido, as combinações de tempo e temperatura que tiveram um comportamento semelhante aos inicialmente determinados e que, ainda se correlacionaram positiva e significativamente com a velocidade e porcentagem de emergência de plântulas no campo foram 8h – 40°C e 8h – 45°C, para as duas variáveis avaliadas após a deterioração.

É importante ressaltar que, a eficiência e a melhor combinação de tempo e temperatura para a avaliação do teste de deterioração controlada, assim como de qualquer outro, varia entre as diferentes espécies (ZUCARELI et al., 2011), uma vez que, a estrutura e a composição química e genética das sementes influenciam diretamente as respostas fisiológicas das mesmas.

Alves et al. (2011), avaliando o potencial fisiológico de sementes de rúcula por meio do teste de deterioração controlada, concluíram que este teste não foi sensível o suficiente para avaliar a qualidade fisiológica das sementes para os cultivares testados com teores de água de 18, 21 e 24%, a 45°C por 24 e 48 horas. Por outro lado, Dutra e Medeiros Filho (2008), trabalhando com algodão, verificaram que a combinação de 24% de teor de água, por 48 horas a 40°C no teste de deterioração controlada foi eficiente para detectar diferenças no vigor entre lotes de sementes estudados.

Zucareli et al. (2011), estudando a eficiência do teste de deterioração controlada na avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho comum, constataram que as combinações 24h–45°C, 48h–45°C e 16h–45°C para sementes com teor de água ajustado para 15, 20 e 25%, respectivamente, foram eficientes na avaliação do vigor, diferentemente dos resultados obtidos.

Isso deve-se, principalmente, às diferenças na constituição química e genética entre as sementes de milho comum e milho doce (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007), que se refletem, principalmente, na conformação física e nas respostas fisiológicas das mesmas.

Apesar de ser considerado como uma hortaliça (TEIXEIRA et al., 2009; KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007), o milho doce teve um desempenho

diferenciado no teste de deterioração controlada e, por isso, os tratamentos mais eficientes para essa espécie foram diferentes dos tratamentos já padronizados e utilizados para grande maioria das hortaliças estudadas.

A combinação 24h–45°C, tem sido uma das mais utilizadas no teste de deterioração controlada, principalmente para espécies hortícolas como repolho (BERNARDES et al., 2015), quiabo (TORRES et al., 2013) e coentro (TORRES et al., 2012). Para milho doce, essa combinação não apresentou correlação com os outros testes de vigor realizados previamente. Isso pode estar relacionado a maior sensibilidade dessas sementes à deterioração, assim, 24 horas de exposição pode ser considerado muito drástico para milho doce, sendo 8 horas, o período mais indicado.

As combinações 8h–40°C e 8h–45°C foram as mais eficientes para a avaliação do vigor de sementes de milho doce por meio do teste de deterioração controlada, pois além de apresentarem os melhores resultados, reduziram o tempo necessário para a realização deste, já que são os menores períodos de exposição, o que é essencial para um teste de vigor. Além disso, a avaliação da primeira contagem da germinação, realizada aos quatro dias após a deterioração, também se mostrou mais eficiente em relação ao tempo, do que germinação, pois agiliza as decisões que devem ser tomadas quanto ao manejo das sementes durante as etapas de produção (PINTO et al., 2009).

De forma geral, o teste de deterioração controlada mostrou-se promissor para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho doce, pois além de apresentar alta correlação com a emergência de plântulas, também permitiu estimar o potencial de fisiológico dos lotes de sementes utilizados.

4.6 CONCLUSÕES

O teste de deterioração controlada, avaliado por meio da porcentagem de plântulas normais na primeira contagem e da germinação, mostrou-se adequado em estimar o potencial fisiológico de sementes de milho doce.

As combinações 8h–40°C e 8h–45°C, para sementes com teor de água ajustado para 20%, são eficientes na distinção do vigor de lotes de sementes de milho doce para as duas variáveis, primeira contagem e germinação, avaliadas após a deterioração.

O menor período de exposição (8 horas) e a primeira contagem da germinação, após a deterioração, são mais indicados para a avaliação do vigor de sementes de milho doce por meio da deterioração controlada, pois reduzem o tempo de realização do teste.

4.7 REFERÊNCIAS

ALVES, C.Z.; GODOY, A.R.; CANDIDO, A.C.S.; SÁ, M.E. Qualidade fisiológica de sementes de *Eruca sativa* L. pelo teste de deterioração controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.12, p.2090-2095, 2011.

AOSA - ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed Vigor Testing Handbook**. Lincoln, 2009. 105 p.

ARAGÃO, C.A. **Avaliação de híbridos simples braquíticos de milho super doce (*Zea mays* L.) portadores do gene *shrunken-2 (sh2sh2)* utilizando o esquema dialélico parcial**. 2002. 101 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2002.

ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; SOFIATTI, V.; SILVA, R.F. Maturação de sementes de milho-doce – grupo super doce. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.28, n.2, p.69-76, 2006.

BARBIERI, A.P.P.; MENEZES, N.L.; CONCEIÇÃO, G.M.; TUNES, L.M. Teste de lixiviação de potássio para a avaliação do vigor de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n.1, p.117–124, 2012.

BARBIN, D. **Planejamento e Análise Estatística de Experimentos Agronômicos**. Arapongas: Midas, 2003. 208 p.

BENTO, S.R.S.O.; SANTOS, A.E.O.; MELO, D.R.M.; TORRES, S.B. Eficiência dos testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mulungu (*Erythrina velutina* WILLD). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.32, n.4, p.111-117, 2010.

BERNARDES, P.M.; LOPES, J.C.; ZANOTTI, R.F.; MOTTA, L.B.; MENGARDA, L.H.G.; SPADETO, C. Testes de deterioração controlada e de envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de repolho. **Nucleus**, Ituverava, v.12, n.1, p.51-58, 2015.

BHERING, M.C.; DIAS, D.C.F.S.; BARROS, D.I.; TOKUHISA, D. Avaliação do vigor de sementes de melancia (*Citrullus lanatus* Scherad) pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 2, p. 1-6, 2003.

BITTENCOURT, S.R.M.; VIEIRA, R.D. Temperatura e período de exposição de sementes de milho no teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 3, p.161-168, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 45 de 2013**. Brasília, DF: MAPA/DAS/CSM, 2013, 38 p.

CAMARA, C.A.; ARAÚJO NETO, J.C.; FERREIRA, V.M.; ALVES, E.U.; MOURA, F.B.P. Caracterização morfométrica de frutos e sementes e efeito da temperatura na germinação de *Parkia pendula* (Willd.) Benth. Ex Walp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 281-290, 2008.

CARVALHO, C.A.; SILVA, J.B.; ALVES, C.Z. Envelhecimento acelerado em sementes de mogno. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 691-699, 2016.

CÍCERO, S.M.; VIEIRA, R.D. Teste de frio. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de Vigor em Sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, p.151-164. 1994.

DUTRA, A.S.; MEDEIROS FILHO, S. Teste de deterioração controlada na determinação do vigor em sementes de algodão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.30, n.1, p. 19-23, 2008.

HAMPTON, J.G.; TEKRONY, D.M. Controlled deterioration test. In: HAMPTON, J.G., TEKRONY, D.M. **Handbook of Vigour Test Methods**. Zurich: International Seed Testing Association, p.70-78. 1995.

KRZYZANOWSKI, F.C.; WEST, S.H.; FRANÇA NETO, J.B. O teste de deterioração controlada para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Informativo ABRATES**, v.11, n.2, p.185, 2001 (Resumo 277).

KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E. Características do milho doce (*Zea mays*) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v.1, n.2, p. 93-103, 2007.

LUZ, J.M.Q.; CAMILO, J.S.; BARBIERI, V.H.B.; RANGEL, R.M.; OLIVEIRA, R.C. Produtividade de genótipos de milho doce e milho verde em função de intervalos de colheita. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.32, n.2, p. 163-167, 2014.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MARCOSFILHO, J.; PESCARIN, H.M.C.; KOMATSU, Y.H.; DEMÉTRIO, C.G.B.; FANCELLI, A.L. Testes para avaliação do vigor de sementes de soja e suas relações com emergência de plântulas no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.5, p.605-613, 1984.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.3.1-3.24.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2. ed. Londrina, PR: ABRATES, 2015. 660p.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.2, p.1-24.

PADILHA, L.; VIEIRA, M.G.G.C.; VON PINHO, E.V.R.; CARVALHO, M.L.M. Relação entre o teste de deterioração controlada e o desempenho de sementes de milho em diferentes condições de estresse. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.23, n.1, p.198-204, 2001.

PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.525-531, 2001.

PARERA, C.A.; CANTLIFE, D.J.; STOFELLA, P.J.; SCULLY, B.T. Field emergence of shrunken-2 corn predicted by single-and multiple-vigor laboratory tests. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Florida, v.120, n. 1, p.128-132, 1995.

PINTO, T.L.F.; MARCOS FILHO, J.; FORTI, V.A.; CARVALHO, C.; GOMES JUNIOR, F.G. Avaliação da viabilidade de sementes de pinhão manso pelos testes de tetrazólio e de raios X. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 195-201, 2009.

ROSSETTO, C.A.V.; LIMA, T.M.; GUIMARÃES, E.C. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.795-801, 2004.

SANTOS, F.; TRANI, P.E.; MEDINA, P.F.; PARISI, J.J.D. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação da qualidade de sementes de alface e almeirão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 322-330, 2011.

SBRUSSI, C.A.G. **Conservação da qualidade fisiológica de sementes de milho super doce em resposta ao armazenamento e revestimento com polímero**. 2016. 163 f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2016.

SEMINIS. **Cultive Milho Doce Performance Series®**. Disponível em: <<http://www.seminis.com.br/produtos/performance-series-sweet-corn/>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

SILVA, H.P.; NEVES, J.M.G.; BRANDÃO JUNIOR, D.S.; COSTA, C.A. Quantidade de água do substrato na germinação e vigor de sementes de pinhão-manso. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 178-184, 2008.

SILVA, J.B.; VIEIRA, R.D. Deterioração controlada em sementes de beterraba. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.32, n.1, p.69-76, 2010.

SILVEIRA, C.M. **Teste de deterioração controlada em sementes de amendoim**. 2006. 26 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal. 2006.

SMANIOTTO, T.A.S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K.A.F.; OLIVEIRA, D.E.C.; SIMON, G.A. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 446-453, 2014.

SOUZA, R.S.; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A.; MARQUES, O.J.; QUEIROZ, D.C.; OKUMURA, R.S.; RECHE, D.L.; CORTINOVE, R.S. Produtividade e qualidade do milho doce em diferentes populações de plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.3, p. 995-1010, 2013.

SUN, W.Q.; LEOPOLD, A.C. The Maillard reaction and oxidative stress during aging of soybean seeds. **Physiologia Plantarum**, v.94, p.94-104, 1995.

TEIXEIRA, F.F.; GAMA, E.E.G.; PAES, M.C.D.; COSTA, F.M. **Aspectos agrônômicos e de qualidade de espiga em famílias endogâmicas de milho-doce**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica121, p. 6, 2009.

TORRES, S.B.; DANTAS, A.H.; PEREIRA, M.F.S.; BENEDITO, C.P.; SILVA, F.H.A. Deterioração controlada em sementes de coentro. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.34, n.2, p.319-326, 2012.

TORRES, S.B.; GOMES, M.D.A.; SILVA, F.G.; BENEDITO, C.P.; PEREIRA, F.E.C.B. Controlled deterioration to evaluate okra seed vigor. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, 2013.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, C.; PORTUGAL, G.; NAKAGAWA, J. Potencial fisiológico de sementes de milho hidratadas pelo método do substrato de papel toalha. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.30, n.3, p. 122-129, 2008.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, C.; SBRUSSI, C.A.G.; NAKAGAWA, J. Teste de deterioração controlada na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 732-742, 2011.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C.R.; ABATI, J.; HENNING, F.A.; RAMOS JUNIOR, E.U.; NAKAGAWA, J. Lixiviação de íons potássio, cálcio e magnésio para determinação do vigor em sementes de milho doce. **Informativo ABRATES**, v. 23, n. 3, p. 56-60, 2013.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Dentre os métodos de umedecimento analisados, o substrato úmido apresentou resultados superiores, principalmente nas proporções de 2,0 e 2,5 vezes a massa do papel em água, pois permitem a absorção e a elevação da umidade sem causar prejuízos que possam alterar o potencial fisiológico das sementes.

Entretanto, como a proporção de 2,5 vezes a massa do papel tem sido amplamente empregada e utilizada como referência para diversas espécies, e por ter apresentado resultados ligeiramente superiores, é mais indicada para hidratação de sementes desta cultura, podendo compor a metodologia do teste de deterioração controlada, uma vez que, este teste inclui a hidratação das sementes antes da deterioração.

O teste de deterioração controlada mostrou-se promissor para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho doce, pois além de apresentar alta correlação com a emergência de plântulas, também permitiu estimar o potencial de fisiológico dos lotes de sementes utilizados. Entretanto, o maior tempo necessário para a realização deste teste em relação a outros já padronizados, ainda constitui uma limitação. Nesse sentido, novos estudos devem ser desenvolvidos a fim de validar a metodologia, como a utilização de mais lotes, com diferenças mais acentuadas no vigor, e menores tempos de exposição e de uniformização da umidade.