



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

MARLI DE MORAES GOMES FAVORETTO

**PADRONIZAÇÃO DE TESTES PARA AVALIAÇÃO DO  
POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE TRIGO**

---

Londrina  
2021

MARLI DE MORAES GOMES FAVORETTO

**PADRONIZAÇÃO DE TESTES PARA AVALIAÇÃO DO  
POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE TRIGO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli.

Coorientador: Dr. Francisco Carlos Krzyzanowski.

Londrina  
2021

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

F275p Favoretto, Marli de Moraes Gomes.  
Padronização de testes para avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo / Marli de Moraes Gomes Favoretto. - Londrina, 2021.  
133 f. : il.

Orientador: Claudemir Zucareli.  
Coorientador: Francisco Carlos Krzyzanowski.  
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.  
Inclui bibliografia.

1. trigo - Tese. 2. sementes - Tese. 3. qualidade - Tese. 4. potencial fisiológico - Tese. I. Zucareli, Claudemir. II. Krzyzanowski, Francisco Carlos. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

MARLI DE MORAES GOMES FAVORETTO

## **PADRONIZAÇÃO DE TESTES PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE TRIGO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. José Bazzo  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Jean Carlo Possenti  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -  
UTFPR Dois Vizinhos

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Julia Abati  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Denis Santiago da Costa  
Instituto Federal de Educação e Tecnologia de  
Mato Grosso do Sul - IFMS

Londrina, 29 de junho de 2021.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida, por me guiar e iluminar todos os passos e escolhas, pela força de permanecer na busca pelo conhecimento e sonhos.

A Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do doutorado, em especial aos professores pela disponibilidade em ensinar.

Ao meu orientador Dr. Claudemir Zucareli pela orientação, dedicação, exigência e ensinamentos no desenvolvimento do trabalho. Agradeço a confiança e amizade.

Ao meu coorientador Dr. Francisco Carlos Krzyzanowski pelos ensinamentos, apoio constante, compreensão e incentivos durante o desenvolvimento do trabalho. Agradeço também pela amizade e conselhos.

A Embrapa Soja pela infraestrutura oferecida.

Ao Leandro de Oliveira da Bela Sementes por fornecer os lotes de sementes de trigo para a condução dos experimentos.

A Capes pela concessão da bolsa de estudos durante o doutorado e doutorado sanduíche no exterior.

Ao Dr. Sabry Elias pelos ensinamentos e pela oportunidade de realizar parte da minha pesquisa na Oregon State University.

A minha família, em especial minha irmã Marisa, pelo amor eterno e incondicional, e ao meu esposo Vitor Rampazzo Favoretto, por sempre estar do meu lado, por todo amor e apoio em minhas escolhas.

Aos técnicos do Laboratório de Tecnologia de Sementes e Grãos da Embrapa Soja: Vilma, Elpidio, Waldemar, Antônio, Adriana e estagiários. Agradeço a amizade e companhia durante a rotina diária de trabalho.

Aos meus amigos Maria, Rafaela, Jessica, Aline e Allan pela agradável convivência durante o curso e amizade; enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e para que essa etapa pudesse ser concretizada.

FAVORETTO, Marli de Moraes Gomes. **Padronização de testes para avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo**. 2021. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

## RESUMO

A avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo é essencial em um programa de controle de qualidade e, a escolha de testes de vigor com metodologias ajustadas às espécies de interesse é fundamental para a obtenção de resultados confiáveis. O trabalho teve como objetivo padronizar metodologias para avaliação do vigor de sementes de trigo com base nos testes de envelhecimento acelerado, frio, germinação em temperaturas sub e supra ótimas e tetrazólio. O trabalho foi conduzido no Laboratório de Fisiologia do Núcleo de Tecnologia de Sementes e Grãos da Embrapa Soja utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado. Foram utilizadas sementes de seis cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.): Tbio Sintonia, Tbio Sossego, Tbio Sinuelo, LG Oro, Tbio Toruk e CD 150 (grupo 1), e cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2). Foram avaliados inicialmente: teor de água, germinação, primeira contagem de germinação, comprimento de parte aérea e raiz de plântula, massa seca de parte aérea e raiz de plântula, emergência e índice de velocidade de emergência de plântulas em areia, e emergência de plântulas em campo. Para o teste de envelhecimento acelerado foram estudadas as seguintes combinações de temperatura e período de envelhecimento: 41 °C / 48 e 72 h, 43 °C / 40 e 48 h e 45 °C / 24 e 40 h. O teste de frio foi realizado nas temperaturas de 3 e 5 °C durante 7 dias, utilizando os métodos de sementeira em solo, em rolo de papel com solo e rolo de papel. Para avaliação do efeito de temperatura sub e supra ótimas as sementes foram colocadas para germinar a 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 °C. Para o teste de tetrazólio, a metodologia descrita na literatura foi adequada com base no preparo das sementes para coloração, descrição das subclasses de vigor e detecção de danos responsáveis pela redução da qualidade das sementes de trigo. As análises estatísticas foram realizadas separadamente para os lotes dos grupos 1 e 2. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05\%$ ). Foi realizado o teste de correlação simples ( $r$ ) entre as variáveis analisadas e o teste de emergência de plântulas em campo. O teste de envelhecimento acelerado com as combinações de 41 °C / 72 h e 43 °C / 48 h são eficientes para avaliação do vigor de sementes de lotes e cultivares de trigo. A combinação de 43 °C / 48 h favorece a obtenção dos resultados de maneira mais rápida com economia de 24 h. O procedimento do teste de frio com solo a 3 °C proporcionou a melhor estratificação dos lotes e cultivares de trigo em função do vigor das sementes, com maiores correlações com a emergência de plântulas em campo. As temperaturas de 15, 25 e 30 °C são eficientes para avaliar o potencial fisiológico de lotes e sementes de trigo na primeira contagem da germinação. A utilização das duas metades da semente para avaliação confere maior assertividade nos resultados do teste de tetrazólio em sementes de trigo; as classes de vigor podem ser subdivididas em subclasses para facilitar a classificação das sementes.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L.; qualidade de sementes; atributo fisiológico; vigor.

FAVORETTO, Marli de Moraes Gomes. **Standardization of tests to assess the physiological potential of wheat seeds.** 2021. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

## ABSTRACT

The evaluation of the physiological potential of wheat seeds is essential in a quality control program and the choice of vigor tests with methodologies adjusted to the species of interest is essential to obtain reliable results. This study had the objective standardize methodologies to the vigor evaluation of wheat seeds based on the accelerated aging, cold test, germination at sub- and supra-optimal temperatures. The work was made at the Physiology Laboratory from the Nuclei of seed and grain technology using the completely randomized statistical design. There were used seeds from six wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars: Tbio Sintonia, Tbio Sossego, Tbio Sinuelo, LG Oro, Tbio Toruk, and CD 150 (group 1), and five lots from cultivar CD 150 (group 2). It was initially evaluated: water level, germination, first germination counting, root and shoot length, dry mass of root and shoot, seedling emergence and emergence velocity index in sand, and plant emergence at the field. To the accelerated aging test, it was studied the following temperatures and aging period combinations: 41 °C / 48 and 72 h, 43 °C / 40 and 48 h, and 45 °C / 24 and 40 h. The cold test was made at the temperatures of 3 and 5 °C for 7 days, using the methods of soil seedling, in paper rolls with soil and paper roll alone. For the evaluation of sub- and supra-optimal temperatures, seeds were placed for germination at 5, 10, 15, 20, 25, 30, and 35 °C. To the tetrazolium test, the described methodology in the literature was adequate, based in the seed preparation for coloration, description of vigor subclasses and detection of damage responsible for the reduction of quality in wheat seeds. The statistical analyses were made separately to the lots of groups 1 and 2. Data was submitted to the ANOVA and means compared by the Tukey test ( $p \leq 0,05\%$ ). The simple correlation ( $r$ ) test was made between the evaluated variables and the plant emergence at the field. The accelerated aging test with the combinations of 41 °C / 72 h and 43 °C / 48 h are efficient to the vigor evaluation of the seed vigor from different wheat seed lots from different cultivars. The 43 °C / 48 h combination favors the results' obtention in the fastest way, saving 24 h. The cold test procedure with soil at 3 °C had the best stratification among seed lots and cultivars of wheat as a function of the seed vigor, with higher correlations with the plant emergence at the field. The temperatures of 15, 25, and 30 °C are efficient to evaluate the physiological potential of wheat seed lots in the germination first count. The use of the two seed halves to the evaluation provides a higher assertiveness in the results of the tetrazolium test in wheat seeds; the vigor classes can be subdivided in subclasses to ease the classification of seeds.

**Key words:** *Triticum aestivum* L.; seed quality; physiological attribute; vigor.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 2.1</b> - Estruturas externas e internas da semente de trigo. Fonte: Leubner (2007).....	215
<b>Figura 3.1</b> - Temperaturas máxima e mínima, precipitação pluvial e umidade relativa do ar observadas no período de 13 a 27 de junho de 2019, em Londrina, PR, durante condução do teste de emergência de plântulas em campo.....	62
<b>Figura 4.1</b> - Temperaturas máxima e mínima, precipitação pluvial e umidade relativa do ar observadas no período de 13 a 27 de junho de 2019, em Londrina, PR, durante condução do teste de emergência de plântulas em campo.....	83
<b>Figura 5.1</b> - Temperaturas máxima e mínima, precipitação pluvial e umidade relativa do ar observadas no período de 13 a 27 de junho de 2019, em Londrina, PR, durante condução do teste de emergência de plântulas em campo.....	102
<b>Figura 6.1</b> - Temperaturas máxima e mínima, precipitação pluvial e umidade relativa do ar observadas no período de 13 a 27 de junho de 2019, em Londrina, PR, durante condução do teste de emergência de plântulas em campo.....	122
<b>Figura 6.2</b> - Corte longitudinal da semente de trigo deixando a semente intacta na extremidade distal para avaliação no teste de tetrazólio utilizando duas metades da semente. Fonte: AOSA (2010).....	122
<b>Figura 6.3</b> - Corte longitudinal da semente de trigo para avaliação no teste de tetrazólio utilizando duas metades da semente.....	125
<b>Figura 6.4</b> - Sementes de trigo: classe 1 (subclasses A, B e C), classe 2 (subclasse A, B, C, D e E), classe 3 (subclasses A, B, C, D e E) e classe 4 (subclasse A e B) .....	127

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Teores de água iniciais (TAI) e após os períodos de envelhecimento acelerado de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	63
<b>Tabela 3.2</b> - Teores de água iniciais (TAI) e após os períodos de envelhecimento acelerado de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).....	63
<b>Tabela 3.3</b> - Resumo da análise de variância das variáveis: germinação (G), primeira contagem de germinação (PC) e emergência de plântulas em campo (EPC) de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	64
<b>Tabela 3.4</b> - Valores médios de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC) e emergência de plântulas em campo (EPC) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).....	64
<b>Tabela 3.5</b> - Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem de germinação (PC) e emergência de plântulas em campo (EPC) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).....	65
<b>Tabela 3.6</b> - Valores médios de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC) e emergência de plântulas em campo (EPC) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	66
<b>Tabela 3.7</b> - Resumo da análise de variância do teste de envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de temperaturas e tempos de exposição, de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	66
<b>Tabela 3.8</b> - Valores médios da porcentagem de plântulas normais obtidos após envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de temperaturas e tempos de exposição, de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	67

<b>Tabela 3.9</b> -	Resumo da análise de variância das variáveis do teste de envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de temperaturas e tempos de exposição, de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	68
<b>Tabela 3.10</b> -	Valores médios da porcentagem de plântulas normais obtidos após envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de temperaturas e tempos de exposição, de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	68
<b>Tabela 3.11</b> -	Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) estimados entre o teste de emergência de plântulas em campo e as variáveis germinação, primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado de sementes de trigo de seis cultivares (grupo 1) e cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	69
<b>Tabela 4.1</b> -	Análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em areia (EPA) e em campo (EPC), e índice de velocidade de emergência (IVE) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	84
<b>Tabela 4.2</b> -	Valores médios de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em areia (EPA) e em campo (EPC), e índice de velocidade de emergência em areia (IVE) de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	84
<b>Tabela 4.3</b> -	Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em areia (EPA) e em campo (EPC), e índice de velocidade de emergência (IVE) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	85
<b>Tabela 4.4</b> -	Valores médios de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em areia (EPA) e em campo (EPC), e índice de velocidade de emergência em areia (IVE) de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	86

<b>Tabela 4.5 -</b>	Resumo da análise de variância (quadrados médios) do teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP) em sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	87
<b>Tabela 4.6 -</b>	Valores médios do percentual de germinação obtidos para o teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP) nas temperaturas de 3 e 5 °C, em sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	87
<b>Tabela 4.7 -</b>	Resumo da análise de variância (quadrados médios) do teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP) em sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).....	88
<b>Tabela 4.8 -</b>	Valores médios do percentual de germinação obtidos para o teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP) nas temperaturas de 3 e 5 °C, em sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).....	89
<b>Tabela 4.9 -</b>	Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) estimados entre o teste de emergência de plântulas em campo e as variáveis: germinação, primeira contagem de germinação, teste de frio com solo, teste de frio com rolo de papel e solo e teste de frio em rolo de papel de sementes de trigo de seis cultivares (grupo 1) e cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	91
<b>Tabela 5.1 -</b>	Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), emergência de plântulas em campo (EPC), comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), massa seca de raiz (MSR), massa seca de parte aérea (MSPA) de plântulas provenientes de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	103
<b>Tabela 5.2 -</b>	Valores médios de plântulas normais obtidas nos testes de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em campo (EPC), comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), massa seca de	

	raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plântulas provenientes de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	104
<b>Tabela 5.3 -</b>	Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), emergência de plântulas em campo (EPC), comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plântulas provenientes de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	105
<b>Tabela 5.4 -</b>	Valores médios de plântulas normais obtidas nos testes de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em campo (EPC), comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plântulas provenientes de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	105
<b>Tabela 5.5 -</b>	Resumo da análise de variância dos testes de primeira contagem da germinação nas temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25, 30, e 35 °C em sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	106
<b>Tabela 5.6 -</b>	Valores médios de plântulas normais obtidas na primeira contagem dos testes de germinação nas temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 °C de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1) .....	107
<b>Tabela 5.7 -</b>	Resumo da análise de variância dos testes de primeira contagem da germinação nas temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25, 30, e 35 °C de sementes de cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	108
<b>Tabela 5.8 -</b>	Valores médios de plântulas normais obtidas na primeira contagem dos testes de germinação nas temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 °C de sementes de cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	108
<b>Tabela 5.9 -</b>	Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) estimados entre o teste de emergência de plântulas em campo e as	

	variáveis: germinação, primeira contagem de germinação, comprimento de parte aérea e raiz de plântulas, massa seca de raiz e de parte aérea de plântulas e primeira contagem da germinação a 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 °C de sementes de trigo de seis cultivares (grupo 1) e cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2) .....	110
<b>Tabela 6.1 -</b>	Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), teste de envelhecimento acelerado (EA) e emergência de plântulas em campo (EPC) de sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150 .....	123
<b>Tabela 6.2 -</b>	Valores médios do percentual de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e emergência de plântulas em campo (EPC) de sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150 .....	124
<b>Tabela 6.3 -</b>	Classes e subclasses de vigor para avaliação do teste de tetrazólio em sementes de trigo.....	126
<b>Tabela 6.4 -</b>	Resumo da análise de variância do teste de tetrazólio (TZ VIABILIDADE e TZ VIGOR) em sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150 .....	128
<b>Tabela 6.5 -</b>	Valores médios do percentual de sementes viáveis (TZ VIABILIDADE) e vigorosas (TZ VIGOR) obtidos por meio do teste de tetrazólio em sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150 .....	128
<b>Tabela 6.6 -</b>	Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) estimados entre os testes de germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA), emergência de plântulas em campo (EC) e viabilidade (TZVIA) e vigor (TZVIG) obtidos por meio do teste de tetrazólio em sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150.....	129

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
2.1	A CULTURA DO TRIGO.....	18
2.1.1	Características das Sementes de Trigo .....	20
2.2	QUALIDADE DE SEMENTES.....	22
2.2.1	Potencial Fisiológico.....	24
2.2.2	Vigor.....	27
2.3	TESTES PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES .....	31
2.3.1	Teste de Envelhecimento Acelerado.....	35
2.3.2	Teste de Frio .....	38
2.3.3	Germinação em Temperaturas Sub e Supra-ótimas.....	40
2.3.4	Teste de Tetrazólio.....	41
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45
<b>3</b>	<b>ARTIGO A – PADRONIZAÇÃO DO TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE TRIGO</b> .....	57
3.1	INTRODUÇÃO .....	59
3.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	61
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
3.4	CONCLUSÕES.....	73
3.5	REFERÊNCIAS.....	74
<b>4</b>	<b>ARTIGO B - PADRONIZAÇÃO DO TESTE DE FRIO PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE TRIGO</b> .....	76
4.1	INTRODUÇÃO .....	78
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	81
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	85
4.4	CONCLUSÃO.....	94
4.5	REFERÊNCIAS.....	95

<b>5</b>	<b>ARTIGO C - ESTRESSE TÉRMICO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE TRIGO</b> .....	97
5.1	INTRODUÇÃO .....	99
5.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	101
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	104
5.4	CONCLUSÃO.....	113
5.5	REFERÊNCIAS.....	114
<b>6</b>	<b>ARTIGO D - ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA DO TESTE DE TETRAZÓLIO PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE TRIGO</b> .....	116
6.1	INTRODUÇÃO .....	118
6.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	121
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	124
6.4	CONCLUSÕES.....	132
6.5	REFERÊNCIAS.....	133

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é considerado um dos principais cereais cultivados no mundo, devido à extensão da área cultivada, volume produzido, importância econômica, segurança alimentar e aspectos nutricionais. Representa atualmente, um importante segmento dentro do agronegócio brasileiro principalmente na região Sul, por oferecer uma opção de renda ao agricultor no período de entressafra das culturas de verão, além de ser utilizado como importante componente dos sistemas de sucessão e rotação de culturas.

Há interesse socioeconômico em aumentar a produção do cereal, pois a produção nacional é insuficiente para abastecer o mercado interno, e muitos esforços têm sido direcionados para o incentivo à triticultura, tanto para diminuir a dependência externa do produto, quanto para torná-lo mais competitivo mundialmente. Neste cenário, verifica-se a necessidade de produção de um volume considerável de sementes com elevada qualidade para o adequado estabelecimento e desenvolvimento das lavouras, visando atender o mercado em quantidade e qualidade.

As diversas fases do processo de produção de sementes, que compreendem o período de permanência no campo, a colheita, a secagem, o beneficiamento, o armazenamento e a semeadura, influenciam diretamente na qualidade. Uma estratégia amplamente utilizada para acompanhar a qualidade das sementes é a avaliação do atributo fisiológico, um requisito essencial nos programas de controle de qualidade de uma empresa produtora de sementes.

Em análises laboratoriais de rotina a qualidade de sementes de trigo, assim como de muitas espécies, é avaliada por meio do teste de germinação, o qual é amplamente utilizado por apresentar metodologia padronizada e resultados confiáveis. No entanto, apresenta algumas limitações, como: reduzida capacidade de diferenciação do potencial fisiológico entre os lotes de sementes com germinação semelhante, demora na obtenção dos resultados, baixa relação com a emergência das plântulas e estabelecimento do estande em campo e pode superestimar o desempenho das sementes durante o armazenamento.

Como alternativa complementar ao teste de germinação, são recomendados testes de vigor, que retratam o comportamento das sementes sob ampla faixa de condições ambientais, o que indica com maior segurança, o potencial

fisiológico dos lotes de sementes. Dentre esses testes, os que avaliam o vigor de sementes de forma rápida e eficiente merecem atenção dos tecnologistas, produtores e pesquisadores da área. Neste sentido, são relatados na literatura testes classificados como físicos, fisiológicos, bioquímicos e de resistência a estresse, com várias metodologias que permitem a avaliação do vigor de sementes, carecendo apenas de padronização para as diferentes espécies.

Entre os testes mais eficientes que avaliam o vigor de sementes estão aqueles baseados na resistência ao estresse. Estes consideram que sementes vigorosas são capazes de germinar mesmo sob condições adversas, como mudanças na temperatura. Como exemplo, os testes de frio e envelhecimento acelerado são amplamente utilizados por serem eficientes, de simples execução, e por não exigirem treinamento especializado por parte dos avaliadores. Além destes, mais recentemente, a capacidade de germinação de sementes em uma ampla faixa de temperatura também pode ser levada em consideração na classificação do vigor de sementes de algumas espécies. No entanto, existem divergências de metodologias desses testes na avaliação do vigor de sementes de trigo.

Paralelamente, dentre os testes mais empregados em laboratórios de análise de sementes está o teste de tetrazólio. Este constitui atualmente uma das alternativas mais promissoras para avaliação do vigor de sementes de várias espécies, em diversas etapas do processo produtivo, de forma rápida e eficiente. Para o trigo, destaca-se na literatura atual metodologia padronizada apenas para avaliação da viabilidade de sementes (BRASIL, 2009). Assim, pesquisas devem ser conduzidas visando a definição de classes de vigor que possam contribuir para a classificação de lotes de sementes de trigo em função do seu vigor.

Para algumas culturas, testes de vigor específicos têm mostrado eficiência na avaliação da qualidade fisiológica de sementes, como o teste de condutividade elétrica para sementes de ervilha, teste de frio para as de milho e tetrazólio para as de soja (ISTA, 2019). Porém, em decorrência da comum recomendação do número de sementes acima do mínimo necessário para a semeadura e à capacidade de compensação entre os componentes de rendimento (EICHELBERGER, 2011), a qualidade de sementes de trigo tem sido negligenciada e poucos estudos têm sido conduzidos para a padronização de testes para a avaliação do potencial fisiológico das sementes nessa cultura.

Alguns estudos indicam que o uso de sementes de alto vigor

favorece o melhor estabelecimento do número de plantas por área, plantas com melhor desempenho em campo e maior rendimento de grãos (MELO et al., 2006; MIELEZRSKI et al., 2008; ABATI et al., 2017, 2018). Dessa forma, com recomendações do número de sementes para semeadura mais próximas da mínima ótima e elevação do custo das sementes, a avaliação do potencial fisiológico passa a ter maior relevância na implantação da cultura do trigo.

Neste contexto, metodologias simples e eficientes empregadas na avaliação do potencial fisiológico de sementes de diversas espécies merecem atenção da pesquisa. Diante da busca pelo aprimoramento de testes, a presente pesquisa teve como objetivo a padronização de metodologias para a avaliação do vigor de sementes de trigo, com base no teste de envelhecimento acelerado, teste de frio, teste de germinação em diferentes regimes de temperatura e teste de tetrazólio.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CULTURA DO TRIGO

O trigo pertence ao reino Plantae, superdivisão Spermatophyta, divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Poales, família Poaceae e gênero *Triticum* (SOUZA; LORENZI, 2008). O gênero *Triticum* contém em torno de 30 espécies, das quais apenas metade é cultivada comercialmente e o restante cresce de forma silvestre. Mais de 90% do trigo cultivado no mundo correspondem às espécies *Triticum aestivum*, *Triticum compactum* e *Triticum durum*, sendo que o *T. aestivum* L., conhecido como trigo comum, é a de maior interesse comercial, dada a capacidade de panificação, representando mais de quatro quintos da produção mundial (ABITRIGO, 2017).

A planta de trigo foi uma das primeiras espécies a ser cultivada e originou-se do cruzamento natural entre gramíneas silvestres que se desenvolviam nas proximidades dos rios Tigre e Eufrates (Ásia), por volta dos anos 10.000 a 15.000 a.C (SCHEEREN; CASTRO; CAIERÃO, 2015). Segundo Leon e Rossel (2007) o vocábulo triticum, que originou a palavra trigo, significa quebrado, triturado, que faz referência à atividade que deve ser realizada para separar o grão da casca que o recobre.

O trigo (*Triticum aestivum* L. Thell) é um cereal produzido em todo mundo em função da sua capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas e características nutricionais (MOREIRA et al., 2006). Na Europa, o cultivo do trigo se expandiu nas regiões mais frias, como Rússia e Polônia, e foi por meio dos europeus que, no século XV, o trigo chegou às Américas. As sementes de trigo chegaram ao Brasil em 1534, trazidas por Martim Afonso de Souza, e as primeiras lavouras começaram a ser cultivadas na capitania de São Vicente, no atual estado de São Paulo (ABITRIGO, 2017).

No entanto, a região na qual o cereal melhor se adaptou foi o Rio Grande do Sul, mais especificamente em São Pedro, onde as condições climáticas eram mais favoráveis, expandindo-se posteriormente por toda a região Sul (SINDUSTRIGO, 2017). Porém, devido ao surgimento da ferrugem, em 1811, os agricultores praticamente abandonaram a cultura (FORNASIERI-FILHO, 2008).

A partir da década de 1880, o cultivo foi retomado e o cereal entrou

em uma nova fase de expansão. As lavouras de trigo começaram a expandir para o Paraná, que se tornou líder na produção nacional (ABITRIGO, 2017; CONAB, 2020).

O trigo é uma gramínea de ciclo anual, cultivada na estação fria do ano, sendo um componente básico na alimentação humana, consumido em diferentes formas como pães, massas, bolos e biscoitos, bem como na elaboração de produtos não alimentícios e na alimentação animal (SOUZA; LORENZI, 2008).

O cultivo de trigo contribui no controle da erosão e favorece o sistema plantio direto pelo volume de palha produzido (OSHE et al., 2012), apresenta efeito supressor na germinação e emergência de plantas daninhas, como a buva (LAMEGO et al., 2013). Além disso, é visto como opção de rotação em sistemas de produção de grãos, representando oportunidade de aumento de renda aos agricultores (BASSOI et al., 2016).

A cultura é umas das principais alternativas de cultivo durante a época de inverno, principalmente na região Sul do Brasil. Atualmente, a evolução de pesquisas no melhoramento genético de cultivares permitiu aumentar a área cultivada e o rendimento da cultura, com deslocamento do cultivo para as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste (BIOTRIGO, 2017).

O trigo tem se destacado pela sua importância para a economia global, por ser um dos três cereais mais cultivados no mundo, juntamente com o milho e o arroz (TAKEITI, 2015; CONAB, 2020). A previsão da produção mundial, para a safra atual (2020/2021), é de 773,6 milhões de toneladas, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, aumento de 1,2% em relação à safra 2019/2020. A produção mundial é concentrada nos continentes europeu e asiático. A China é o maior produtor (136 milhões de toneladas), seguido pela União Européia (135,8 milhões de toneladas), Índia (107,6 milhões de toneladas), Rússia (84 milhões de toneladas), Estados Unidos (46,7 milhões de toneladas), Canadá (35 milhões de toneladas) (USDA, 2020).

O Brasil é o 16º produtor mundial (6,2 milhões de toneladas) e dos 59 milhões de hectares de área cultivada no país, 2 milhões são cultivados trigo. O maior estado produtor é o Paraná, com previsão de 3,05 milhões de toneladas, seguido do Rio Grande do Sul, com 2,3 milhões de toneladas, representando juntos, 86% da produção nacional (CONAB, 2020). Do total produzido, a estimativa no ano de 2010, 94,5% da produção foram destinados ao processamento industrial, 2,5% para reserva de semente e 3,0% utilizados na alimentação animal (MORI;

IGNACZACK, 2011). No entanto, a produção nacional não supre a demanda interna.

Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o consumo de trigo no Brasil será de aproximadamente 11,4 milhões de toneladas para a safra 2020. Para complementar o consumo, o país tem importado cerca de 6,92 milhões de toneladas por ano do cereal, considerado um dos maiores importadores mundiais de trigo (CONAB, 2020).

Apesar de toda evolução biotecnológica e produtiva do trigo, é fato ainda a falta de autossuficiência do Brasil na produção de trigo. Segundo Meziat e Vieira (2009) existem alguns desafios a serem superados, como os altos custos de produção, a baixa liquidez do setor produtivo, a dificuldade de acesso ao crédito e ao seguro agrícola, a falta de diferenciação de insumos e produtos, e, de forma especial, a precariedade da logística e infraestrutura de armazenagem e transporte são pontos a serem diretamente enfrentados.

No entanto, o país apresenta um grande potencial de produção e está ocorrendo a transformação do antigo cenário da cultura. Com o aumento de áreas cultivadas, cultivares modernas, agricultores experientes e expansão do cultivo para regiões do Brasil Central, deve buscar a ampliação da sua produção e redução da dependência externa (EMBRAPA, 2020).

Segundo Barbieri et al. (2013) há interesse socioeconômico no Brasil em aumentar a produção de trigo e melhorar a competitividade da cultura, visando atender à demanda nacional e o aproveitamento dos benefícios gerados pelo cultivo do cereal, como o enriquecimento do solo e a disponibilização de palhada para as culturas posteriores. Nesse sentido, visando aumentar a produtividade da cultura, o uso de sementes com elevado potencial fisiológico é essencial para o estabelecimento do estande adequado e de uma lavoura produtiva.

### 2.1.1 Características das Sementes de Trigo

Na flor, forma-se apenas uma semente a partir de cada estrutura floral, que pode variar em relação à forma, comprimento e largura, classificados como ovóide, elíptico, ovalado e truncado. De maneira geral, apresentam forma oval com as extremidades arredondadas, sendo que em uma das extremidades encontra-se o embrião e na outra, os tricomas (SCHEEREN, et al., 2011).

A semente de trigo, denominada cariopse, é um fruto pequeno (6 a 7 mm), seco, indeiscente, com um pericarpo fino e composto que envolve o embrião e o endosperma (FORNASIERI-FILHO, 2008) (Figura 1).

A semente é constituída basicamente pelo pericarpo, pelo endosperma e pelo embrião (gérmen). Contém também, uma camada de aleurona, a qual envolve completamente o endosperma e o embrião (GWIRTZ et al., 2014). Proporcionalmente, o pericarpo corresponde de 14% a 18%, o endosperma de 80% a 85%, e o embrião (gérmen) de 2% a 3% da massa seca total da cariopse (FORNASIERI-FILHO, 2008).

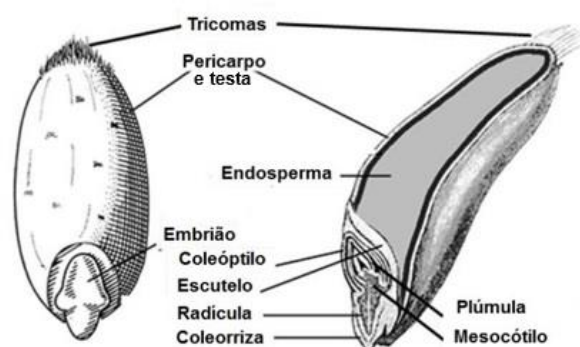
O pericarpo deriva da parede do ovário do fruto e consiste em uma camada mais externa e protetora da semente, rica em fibras e minerais. Dependendo da cultivar, pode apresentar coloração branca, amarela ou vermelha (TERUEL; SMIDERLE, 1999).

A aleurona é a camada externa do endosperma que se une ao endosperma amiláceo, exceto sobre o embrião. Concentra proteínas e minerais importantes na síntese de enzimas (proteínas) que iniciam a digestão de reservas no processo germinativo e é fonte de aminoácidos para a síntese de novas proteínas (POPINIGIS, 1985; EICHELBERGER, 2011).

O endosperma constitui a maior parte da semente e armazena principalmente o amido, dá origem à farinha de trigo branca propriamente dita. É fonte de carboidratos (amilose e amilopectina) em uma matriz proteica, que são mobilizados ao embrião no processo de germinação para a formação da plântula (EICHELBERGER, 2011; GWIRTZ et al., 2014).

O embrião, localizado na parte inferior da semente, contém todas as estruturas necessárias para formar uma planta completa. Nele estão presentes o coleóptilo, o escutelo, a plúmula, o mesocótilo, os tecidos não desenvolvidos (primórdios) das três primeiras folhas da planta, a radícula (primeira raiz) e a coleoriza (FORNASIERI-FILHO, 2008).

A semente de qualidade deve conter todas estas estruturas intactas e preservadas, o que a torna apta, em condições ambientais favoráveis, a gerar uma plântula normal e, conseqüentemente, uma planta adulta em condições de expressar o seu máximo desempenho em campo (EICHELBERGER, 2011).



**Figura 2.1.** Estruturas externas e internas da semente de trigo. Fonte: Leubner (2007).

## 2.2 QUALIDADE DE SEMENTES

A qualidade de um lote de sementes compreende um conjunto de características que determinam seu valor de semeadura, de modo que o potencial de desempenho das sementes somente pode ser identificado, de maneira consistente, quando é considerada a interação dos atributos de natureza genética, física, fisiológica e sanitária (MARCOS-FILHO, 2015a). Estas características afetam a capacidade de estabelecimento e desenvolvimento da planta, e podem variar entre e dentro dos lotes em virtude de diferenças qualitativas presentes nas sementes, sob a interferência das circunstâncias ocorridas entre a sua formação e o momento de semeadura (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI; HENNING, 2010).

O componente genético envolve a pureza varietal e as características intrínsecas da cultivar, tais como potencial de produtividade, resistência a pragas e moléstias, precocidade, qualidade da semente, estatura e estrutura de planta, resistência a condições adversas de solo e clima, entre outros (PESKE; BARROS, 2003; EICHELBERGER, 2011). O principal objetivo da produção de sementes com pureza genética é que estas reproduzam fielmente no campo plantas com as características das variedades selecionadas pelo melhorista, e originem um produto com o padrão esperado pelo agricultor e o consumidor (PESKE; BARROS, 2003).

O atributo de qualidade física refere-se à pureza do lote e a condição física da semente. De acordo com Peske e Barros (2003), a pureza é caracterizada pela proporção de componentes físicos presentes no lote de sementes, como sementes puras, sementes silvestres, outras sementes cultivadas, e substâncias

inertes, e pela condição física que é caracterizada entre outros atributos, pelo grau de umidade, danificações mecânicas, massa de mil sementes (tamanho e densidade), peso volumétrico e aparência (cor).

A qualidade sanitária é determinada pelo grau de ocorrência de microrganismos (fungos, bactérias, vírus e nematóides) e insetos que causam doenças ou danos à semente no armazenamento, ou que são transmitidos pela semente, e que são capazes de causar doenças e reduções na produtividade das culturas no campo (ABREU, 2005).

Para o sucesso do estabelecimento de uma lavoura comercial, além do correto preparo da área e atendimento do zoneamento agrícola é imprescindível a utilização de sementes de qualidade, as quais proporcionam elevada germinação, emergência rápida e uniforme de plântulas em campo. Podendo esses fatores influenciar no estabelecimento da cultura, no seu desempenho durante o ciclo vegetativo, reprodutivo e na sua produtividade final (SILVA, 2014).

Em condições ambientais adversas, como estresse ocasionado por seca ou baixa temperatura do solo no período de emergência das plântulas, lavouras provenientes de sementes de elevada qualidade serão menos prejudicadas, resultando em maiores produtividades, em relação a lavouras originárias de sementes de baixa qualidade (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI; HENNING, 2010).

O uso de sementes de baixa qualidade tende a originar estandes desuniformes, com falhas na emergência de plântulas que comprometem não apenas a produtividade como também a qualidade do produto colhido. Em situações com populações de plantas abaixo da recomendada para a cultivar, poderá existir a necessidade de ressemeadura e tal prática está associada a sérios prejuízos referentes ao aumento do custo de produção, como troca de cultivar, perda de época de semeadura, problemas com redução de eficiência de agroquímicos aplicados, fatores esses que contribuem para menores produtividades da lavoura e rentabilidade ao produtor (KRZYZANOWSKI et al., 2008).

Dentre os fatores que interferem no desempenho produtivo do trigo destacam-se o adequado preparo do solo (YOKOYAMA, SILVEIRA, STONE, 2002; RAMPIM et al., 2011), a escolha da cultivar (MARTIN et al., 2010; COVENTRY et al., 2011), as condições climáticas (VIGANÓ et al., 2010; SANTOS et al., 2012), a densidade e a profundidade de semeadura (VALÉRIO et al., 2008, TAVARES, et al.,

2014), a utilização correta de insumos (RAMPIM et al., 2011) e de sementes de elevada qualidade (ABATI et al., 2017). Além disso, o estabelecimento de uma população adequada de plantas de forma rápida e uniforme no início do desenvolvimento da cultura é importante para obtenção de resultados satisfatórios (MARCOS-FILHO, 2015b).

A cultura do trigo apresenta alta plasticidade, compensando o excesso ou falta de um determinado componente do rendimento de grãos devido a capacidade de emissão de afilhos férteis (ZAGONEL et al., 2002). Segundo Eichelberger (2011), quanto à densidade de semeadura, pode-se usar população mais baixa, o que resulta em taxa de multiplicação de perfilhos mais elevada. No entanto, o ajuste da densidade de semeadura é dependente do ambiente, da cultivar, do manejo empregado na lavoura e da interação entre esses fatores (FOLONI; BASSOI, 2015).

Embora a redução no estande possa não alterar a produtividade de grãos, a alteração da distribuição espacial das plantas dentro do dossel pode proporcionar maior competição por recursos do meio em um conjunto de plantas mais próximas e menor competição em outras plantas mais afastadas (BARBIERI et al., 2013). Com isso, pode haver alteração nas relações de fonte e dreno, fazendo com que exista uma dinâmica diferenciada na emissão de afilhos férteis, bem como nas suas sementes produzidas (VALÉRIO et al., 2008).

Dessa forma, o uso de sementes com elevada qualidade é essencial para assegurar a maior velocidade de emergência e o estabelecimento adequado do estande, produção de plântulas vigorosas e a base para maior produtividade (PANOZZO et al., 2009; SCHEEREN et al., 2010).

### 2.2.1 Potencial Fisiológico

O potencial fisiológico das sementes está relacionado com a capacidade das mesmas em desempenhar suas funções vitais, e reúne informações sobre a germinação (viabilidade) e o vigor. Sua avaliação segura permite identificar lotes de sementes que possuem maior probabilidade de apresentar o desempenho desejado durante o armazenamento e em campo (MARCOS-FILHO, 2013).

O processo de germinação compreende uma sequência de reações

bioquímicas em que as substâncias de reserva são desdobradas, transportadas e resintetizadas no eixo embrionário. Após a hidratação das sementes ocorre um incremento no metabolismo, observado pelo aumento da taxa respiratória e ativação de enzimas respiratórias e hidrolíticas, que reativam o crescimento do embrião, resultando no rompimento da cobertura da semente e na emergência da plântula (HÖFS et al., 2004; MARCOS-FILHO, 2015a). O vigor refere-se ao conjunto de propriedades que atribuem à semente o potencial para germinar, emergir e resultar em plântulas normais em condições ambientais favoráveis e estressantes (ISTA, 2019).

Conforme documenta a literatura, a avaliação do potencial fisiológico das sementes teve início a partir de visualizações feitas por Nobbe que, em 1876, desenvolveu procedimentos básicos dirigidos especialmente à condução do teste de germinação. Porém, somente a partir dos anos 1940 foram dados os primeiros passos para o estabelecimento da metodologia destinada à avaliação da viabilidade das sementes, pelo teste de tetrazólio, que atualmente é um dos testes mais utilizados para avaliação do potencial fisiológico, principalmente no Brasil (MARCOS-FILHO, 2015a). Os testes de germinação e tetrazólio constituem testes utilizados rotineiramente na avaliação da viabilidade de sementes (BRASIL, 2009).

Diversos fatores podem afetar o potencial fisiológico das sementes, destacando-se o genótipo, a ocorrência de insetos e microrganismos nocivos, as condições meteorológicas durante o desenvolvimento das sementes, a nutrição da planta-mãe, a época e o manejo durante a colheita, a ocorrência de injúrias mecânicas, a adequação das operações de secagem e beneficiamento, o tratamento químico e as condições e o período de armazenamento (MARCOS-FILHO, 2013).

Neste contexto, destaca-se a importância da avaliação da qualidade das sementes de trigo, motivada em função dos problemas que podem ocorrer nas diversas etapas da produção (AMARAL; PESKE, 2000). Por ocasião da colheita e beneficiamento, podem ocorrer injúrias mecânicas, como trincas e amassamentos, e ainda, danos ocasionados no campo, em que as sementes podem ser colhidas já comprometidas fisiologicamente, como no caso de cultivares suscetíveis à germinação na espiga. Dessa forma, o potencial fisiológico e de armazenamento são reduzidos, pois as sementes deterioram-se mais rapidamente (EICHELBERGER, 2011).

A deterioração, e a consequente perda de vigor, é um processo

inevitável e irreversível, variável entre espécies, lotes da mesma espécie e sementes do mesmo lote, que se caracteriza pela redução do potencial fisiológico, decorrente da degeneração das membranas celulares, alteração dos mecanismos de produção de energia e biossíntese, redução das atividades respiratórias, entre outros (DELOUCHE, 1976; MARCOS-FILHO, 2015a). Segundo Marcos-Filho (2015a), estes levam ao retardo na germinação e crescimento das plântulas, a redução do potencial de armazenamento das sementes, e desuniformidade do crescimento e desenvolvimento das plantas.

De acordo com Ohlson et al. (2010), o trigo semeado na região meridional do Brasil, que compreende o Norte e Oeste do Paraná, Sul e Sudoeste de São Paulo e Mato Grosso do Sul, apresenta sérios problemas de qualidade da semente, em razão de ocorrência de chuvas no período de pré-colheita e de danos mecânicos causados na colheita, secagem e beneficiamento.

Em análises laboratoriais de rotina o monitoramento da qualidade fisiológica das sementes vem sendo realizado mundialmente pelo teste de germinação (BRASIL, 2009), o qual fornece o valor máximo da porcentagem de viabilidade das sementes, sob condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar. Por meio do teste de germinação é possível determinar o valor das sementes para semeadura e realizar a comparação de diferentes lotes (PESKE; BARROS, 2003).

No entanto, lotes de sementes de uma mesma cultivar com capacidades de germinação semelhantes, podem apresentar comportamento distinto na porcentagem de emergência de plântulas em campo, devido às sementes possuírem diferentes níveis de vigor (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Segundo Peske e Barros (2003), isto acontece, pois, o progresso de deterioração pode ocorrer antes que sejam detectadas mudanças na germinação do lote e a maior limitação do teste de germinação é a sua inabilidade para detectar essas mudanças.

Destaca-se também, que a avaliação do potencial fisiológico apenas pelo teste de germinação apresenta desvantagens quando se trabalha com espécies que podem apresentar dormência, como o trigo. A germinação de sementes de trigo, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (RAS), leva em torno de oito dias, no caso de sementes não dormentes, e até 15 dias para sementes recém-colhidas que necessitam de métodos específicos e um período maior para a superação de dormência (BRASIL, 2009). Desta forma, o teste pode ser demorado,

além de superestimar o potencial germinativo das sementes, que são expostas a condições ótimas para germinação, o que raramente ocorre naturalmente em condições reais de semeadura.

Em uma indústria de sementes a demora na obtenção dos resultados de germinação resulta numa séria limitação ao processo de tomada de decisões. Além da demora em sua execução, este teste, na sua forma de avaliação tradicional, não fornece informações quanto ao vigor, não permite de maneira precisa a identificação dos fatores que afetam a qualidade das sementes, como a presença de fungos e danos que podem alterar o resultado de viabilidade (HENNING; FRANÇA-NETO, 1980).

Além de superestimar o real potencial fisiológico de um lote, por ser conduzido sob condições consideradas ótimas para o desenvolvimento das sementes, é um teste que desconsidera, por exemplo, o grau de deterioração e conservação do lote (LIMA, 2005). Assim como, não fornece informações sobre a velocidade de germinação e outros fatores que possam interferir no estabelecimento no campo.

Segundo França-Neto e Krzyzanowski (2018), tais deficiências apresentadas pelo teste de germinação podem resultar em sérios prejuízos aos produtores de sementes, por afetar negativamente as tomadas de decisões relativas à colheita, ao processamento, à armazenagem e à comercialização. Além destas limitações, os resultados obtidos no teste de germinação só podem ser levados em conta, quando as condições de campo são ideais para as sementes após a semeadura.

Como consequência das limitações do teste de germinação, houve a necessidade de uma estimativa mais segura do potencial fisiológico das sementes. Diante disso, foram desenvolvidos testes que retratam o comportamento das sementes sob uma ampla faixa de condições ambientais, indicando com maior segurança o potencial fisiológico dos lotes, denominados testes de vigor (PESKE; BARROS, 2003).

#### 2.1.1.1 Vigor

A definição formal do termo “vigor de sementes” é fruto da dedicação

de centenas de pesquisadores, professores e demais profissionais envolvidos com o controle de qualidade de sementes de diversas instituições nacionais e internacionais, durante os últimos 70 anos (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). Este termo foi, primeiramente, atribuído por Nobbe em 1876, ao utilizar os termos “força motriz” ou “energia de crescimento” ao discorrer sobre o processo de germinação, para destacar as sementes que produziam plantas com raízes mais longas em relação às menos desenvolvidas dentro de um mesmo lote (MARCOS-FILHO, 2015a).

Posteriormente, a Associação Oficial de Analistas de Sementes (AOSA) conceituou vigor de sementes como a soma dos atributos determinantes do potencial para a emergência rápida e uniforme de plântulas normais sob ampla diversidade de condições ambientais, atribuindo, entretanto, a paternidade da ideia atual sobre vigor a Hiltner e Ihssen, que desenvolveram o teste do tijolo moído, em 1911 (AOSA, 1983).

Mais recentemente a mesma associação atualizou o conceito de vigor como: “propriedades das sementes que determinam o seu potencial para uma emergência rápida e uniforme, e o desenvolvimento de plântulas normais sob ampla diversidade de condições de ambiente” (AOSA, 2009).

Segundo Carvalho (1986) o termo vigor não surgiu para identificar um processo fisiológico definido da semente, mas para diferenciar manifestações de seu comportamento em campo ou durante o armazenamento. Trata-se de uma característica relativamente abstrata ou menos palpável que outras, como a germinação ou a deterioração, que podem ser definidas de maneira precisa. Foi introduzido diante da inexistência de parâmetros eficientes para esclarecer dúvidas frequentes sobre o desempenho das sementes, quando expostas a condição menos favorável, que inclui temperatura, disponibilidade de água, características do solo, práticas de manejo, entre outras.

Neste contexto, houve grande concentração de esforços no sentido da criação de diversos métodos para avaliação do vigor em laboratório, com tentativas de reproduzir situações verificadas em campo, após a semeadura, ou de estudar características fisiológicas das sementes relacionadas ao seu desempenho em campo e durante o armazenamento (MARCOS-FILHO, 1999).

Entre os atributos do potencial fisiológico das sementes, o vigor é considerado uma das principais características avaliadas, por relacionar-se aos

aspectos de desempenho, que incluem as taxas e uniformidade de germinação, de emergência, estabelecimento do estande e de crescimento de plântulas no campo (SCHEEREN et al. 2010; ROSSI, 2012).

De modo geral, a literatura documenta a relação entre a germinação e o vigor de sementes, avaliados em laboratório, e a emergência das plântulas em campo. Sabe-se, por exemplo, que após a semeadura os resultados de germinação se aproximam da porcentagem de emergência sob condições ambientais adequadas, mas a avaliação do vigor é necessária para estimar o potencial de desempenho das sementes quando as condições de ambiente se desviam das favoráveis (MARCOS-FILHO; KIKUTI, 2006).

De acordo com Höfs et al. (2004) a utilização de sementes de menor vigor causa redução, retardamento e desuniformidade de emergência no campo, além de produzir plântulas fracas com reduzido potencial de rendimento, enquanto, sementes de maior vigor produzem plântulas maiores, o que proporciona maiores taxas de crescimento da cultura.

Segundo Krzyzanowski et al. (2020), o vigor de sementes é o inverso da deterioração, isto é, quanto maior o vigor, menor será a deterioração da semente e vice-versa. Esses autores enfatizam que no processo de germinação as alterações fisiológicas são facilmente caracterizadas, com reflexos na redução do percentual de germinação, crescimento lento das plântulas e produção de plântulas anormais.

O uso de sementes vigorosas é o primeiro fator a se considerar no estabelecimento e na manutenção da população desejada (NAKAGAWA, 2014). Pois, sementes com baixo vigor podem provocar reduções na velocidade e na emergência de plântulas total, no tamanho inicial, na produção de matéria seca, na área foliar, nas taxas de crescimento das plantas e rendimento de sementes (HÖFS et al., 2004; KOLCHINSKI; SCHUCH; PESKE, 2005).

Kolchinski, Schuch e Peske (2005) trabalhando com cinco níveis de vigor de sementes de soja constataram que o uso de sementes de alto vigor proporciona acréscimos superiores a 35% no rendimento de sementes, em relação ao uso das sementes de baixo vigor. Segundo os autores, a maior velocidade de emergência das sementes vigorosas e a maior área foliar inicial das plantas proporcionam a exploração mais efetiva dos recursos do ambiente.

Outros trabalhos conduzidos com plantas individuais de soja relatam

o aumento expressivo do rendimento de grãos, maior altura de plantas, e diâmetro de caule, oriundos de sementes de alto vigor em relação a sementes de baixo vigor (SCHEEREN, 2002; CERVIERI-FILHO, 2005; SCHUCH; KOLCHINSKI; FINATTO, 2009; PANOZZO et al., 2009).

De acordo com França-Neto, Krzyzanowski e Henning (2012) sementes de soja de alto vigor propiciam a germinação e a emergência de plântulas em campo de maneira rápida e uniforme, resultando na produção de plantas de alto desempenho e potencial produtivo mais elevado. Plantas de alto desempenho apresentam uma taxa de crescimento maior, têm uma melhor estrutura de produção, com um sistema radicular mais profundo e produzem um maior número de vagens e de sementes, cujo potencial é ainda maior em situações de estresse, como a seca, uma vez que, o sistema radicular mais profundo terá condições de suprir essas plantas com água e nutrientes, assegurando a produção.

Segundo Marcos-Filho (2013) reduções severas na velocidade e porcentagem de emergência de plântulas geralmente acarretam problemas durante o desenvolvimento das plantas, principalmente em culturas cuja densidade de semeadura é planejada para a obtenção de populações relativamente menores por área, como é o caso de várias hortaliças, do algodão e do milho.

Alguns cereais, como o trigo, possuem grande plasticidade em termos de densidade de semeadura devido à capacidade de compensação existente entre os componentes do rendimento, e podem, até certo limite, preencher as possíveis falhas na semeadura e no estande final de plantas (EMBRAPA, 2015; FORNASIERI-FILHO, 2008). No entanto, mesmo com a capacidade de compensação, é fundamental a utilização de sementes com alto vigor, uma vez que, a capacidade de perfilhamento, bem como a produção de perfilhos férteis é altamente dependente de outros fatores, como o genótipo utilizado e suas interações com o ambiente (VALÉRIO et al., 2008).

Schuch et al. (2000) trabalhando com cultivares de aveia preta com diferentes níveis de vigor e densidades de semeadura, concluíram que o efeito do baixo vigor de sementes pôde ser compensado pela elevação da população de plantas, no entanto, quanto mais baixo o nível de vigor das sementes, maior a necessidade do aumento da população de plantas, e as sementes de alto vigor compensaram os efeitos das baixas populações de plantas. Resultados semelhantes foram observados com sementes de arroz comparando-se diferentes níveis de vigor,

em que sementes de alto vigor originam plantas com melhor desempenho, o que refletiu no maior crescimento e maior rendimento de grãos (MELO et al., 2006; MIELEZRSKI et al., 2008).

Khah, Roberts e Ellis (1989) constataram que diferenças no vigor das sementes de trigo resultam em diferenças na taxa de crescimento, sendo que a vantagem inicial para as plantas oriundas de sementes de alta qualidade foi suficiente para resultar em maior rendimento final de grãos.

Efeitos do vigor em sementes de trigo foram observados também por Abati et al. (2017, 2018), os quais concluíram que a utilização de sementes de alto vigor favorece o estabelecimento do estande de plantas, e o desempenho produtivo em diferentes densidades de semeadura (200 e 400 sementes viáveis por m<sup>2</sup>). Os mesmos autores observaram que sob condições de estresse ambiental, como a falta de chuva nos primeiros dias após a semeadura, as sementes de alto vigor obtiveram o estabelecimento de um maior número de plantas por área.

Com base nos resultados de pesquisas, e como destacado por Tekrony e Egli (1991), a utilização de sementes de elevado vigor é justificada em todas as culturas para assegurar adequada população de plantas em variadas condições de campo durante a emergência das plântulas e, até possibilitar produção satisfatória mesmo quando a população de plantas é inferior à requerida.

Desse modo, torna-se imprescindível a avaliação do potencial fisiológico de sementes nos programas de controle de qualidade adotados por instituições produtoras, assim como, a utilização de testes baseados em diferentes princípios e com metodologias padronizadas que forneçam informações consistentes a respeito do vigor de sementes.

### 2.3 TESTES PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES

Devido à necessidade de complementação às informações obtidas no teste de germinação têm sido desenvolvidos testes de vigor. Estes permitem estimar o potencial fisiológico das sementes, com a identificação de diferenças significativas entre lotes, geralmente, não detectadas pelo teste de germinação (ISTA, 2019).

As primeiras pesquisas sobre o vigor de sementes e sua avaliação incluíram estudos realizados por Hiltner e Ihssen (AOSA, 1983) que desenvolveram

o teste do tijolo moído, Fick e Hibbard (1925) que iniciaram estudos com condutividade elétrica, Stahl (1931) que avaliou a velocidade de germinação e as primeiras observações sobre o teste frio por Dickson e Albert (1926), Tatum e Zuber (1943), conforme citado por Marcos-Filho (2015a).

A importância central da qualidade das sementes para a agricultura levou à criação de associações dedicadas à manutenção de padrões de métodos para avaliação dessa característica, a Association of Official Seed Analysts (AOSA) que atua na América do Norte e a International Seed Testing Association (ISTA) que possui laboratórios membros em todo o mundo. Visando a uniformidade na avaliação da qualidade das sementes, desenvolveram testes e metodologias que são aceitos e utilizados internacionalmente (AOSA, 2009; ISTA, 2019).

De acordo com França-Neto et al. (1998) durante a primeira metade do século XX houve poucos avanços em relação à base de conhecimento sobre a avaliação do potencial fisiológico, com exceção do desenvolvimento do teste de tetrazólio por Lakon na década de 1940. No entanto, no ano de 1950, no Congresso da ISTA, este atributo de qualidade de semente foi amplamente enfatizado. A identificação do vigor como componente do potencial fisiológico das sementes, independente da germinação, ganhou considerável credibilidade como um componente separado e essencial da qualidade das sementes (MARCOS-FILHO, 2015a).

Buscando apoiar o desenvolvimento do conhecimento sobre o vigor de sementes, a Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes (ABRATES) fundada em 1970, que atua no desenvolvimento de tecnologias para a produção de sementes de várias culturas, juntamente com o Comitê de Vigor e pesquisadores da área desenvolveram um manual onde são descritas as metodologias dos principais testes de vigor utilizados e a sua recomendação para algumas espécies (KRZYZANOWSKI et al., 2020). Embora haja qualificação e competência por parte da pesquisa e pela intensa utilização de testes de vigor em diferentes laboratórios, o vigor ainda não é contemplado nas Regras para Análise de Sementes nacionais (MARCOS-FILHO, 2015a).

A condução de testes de vigor procura detectar diferenças significativas no potencial fisiológico de lotes com germinação semelhante, complementando as informações fornecidas pelo teste de germinação; distinguir com segurança os lotes de alto e de baixo vigor; separar lotes em diferentes níveis

de vigor, de maneira proporcional à emergência das plântulas em campo; estimar a resistência ao transporte e o potencial de armazenamento das sementes (MARCOS-FILHO, 1999).

Além dos objetivos mencionados, segundo Peske, Villela e Meneghello (2012) os testes de vigor são bastante empregados na avaliação do grau de deterioração, controle de qualidade pós-maturidade, seleção de cultivares com qualidade fisiológica elevada durante programas de melhoramento genético, identificação ou diagnóstico de problemas, e para propaganda e promoção de vendas de sementes.

Não existe um único teste universalmente aceito para avaliar o potencial fisiológico das sementes de uma determinada espécie ou grupo de espécies para atingir objetivos predeterminados. Por esse motivo, a pesquisa sobre testes de sementes e a identificação de fatores que afetam o desempenho foram consideradas prioridades entre cientistas de sementes em comparação com outros atributos de qualidade (MARCOS-FILHO, 2015b).

Neste sentido, instituições públicas de pesquisa e universidades têm se preocupado com a condução de pesquisas visando à adequação de procedimentos para a determinação do vigor, a identificação de sua eficiência e a tentativa de padronização (ISTA, 2019; KRZYZANOWSKI et al., 2020), assim como, fornecimento de instruções para a interpretação correta dos resultados obtidos nos testes, para que as empresas produtoras de sementes possam utilizar essas informações para a composição de programas internos de controle de qualidade.

Segundo Marcos-Filho (2015a), os resultados dos testes de vigor devem ser comparativos, sendo esta uma característica não mensurável como a germinação, mas sim um conceito que envolve vários atributos associados a um ou mais aspectos do desempenho do lote de sementes. De acordo com o mesmo autor, a impossibilidade de quantificação do vigor gera dificuldades tanto para a compreensão do seu significado quanto para a comparação de informações obtidas em diferentes testes, sendo que estes apresentam características diferentes, como por exemplo, suas unidades de medida. Assim, recomenda-se que seja utilizado mais de um teste e, sempre que possível, incluir na avaliação, lotes reconhecidamente de alto vigor, cujos resultados servem como pontos de referência (VAN DER VENTER, 2001).

Além da necessidade de padronização da metodologia e da

interpretação adequada dos resultados, os testes de vigor devem preencher outras características como: sensibilidade, rapidez, objetividade, simplicidade e baixo custo, consideradas essenciais para sua utilização em diferentes tipos de laboratório (MARCOS-FILHO, 2015a).

A primeira iniciativa de classificar os métodos para avaliação do vigor foi realizada por Isely (1957), em que os separou em testes diretos e indiretos. Os testes diretos incluíam aqueles que simulavam condições de campo, muitas vezes adversas, em laboratório, ou diretamente no campo. Os indiretos procuravam avaliar características físicas, fisiológicas ou biológicas, relacionadas indiretamente com o vigor das sementes. Esta classificação foi utilizada durante algum tempo, no entanto, tornou-se inconsistente à medida que novos testes de vigor foram desenvolvidos.

Assim, McDonald (1975) propôs uma classificação mais completa, que possibilita a inclusão de novos métodos. De acordo com Marcos-Filho (2015a) na nova classificação, os testes de vigor são divididos em:

- Testes físicos: avaliam aspectos morfológicos ou características físicas das sementes com relação ao vigor. Entre eles estão os testes de tamanho de sementes, peso unitário de cada semente e testes raios X;
- Testes fisiológicos: procuram determinar atividades fisiológicas específicas, cuja manifestação depende do vigor; destacam-se: classificação do vigor de plântulas, primeira contagem de germinação, velocidade de germinação ou de emergência de plântulas, crescimento de plântulas, transferência de matéria seca, teste de exaustão e teste de protrusão da raiz primária;
- Testes bioquímicos: avaliam alterações bioquímicas associadas ao vigor. Compreendem os testes: tetrazólio, condutividade elétrica, lixiviação de potássio, respiração, entre outros;
- Testes de resistência a estresse: avaliam o desempenho das sementes em condições desfavoráveis de ambiente. São citados: envelhecimento acelerado, deterioração controlada, teste de frio, germinação a baixa temperatura e imersão em soluções tóxicas à semente.

De acordo com Marcos-Filho, Kikuti e Lima (2009), embora esteja estabelecido o procedimento básico para a condução de vários testes de vigor que produzam resultados confiáveis, ainda há espaço para aprimoramento de metodologias, bem como para inclusão de alternativas inovadoras. Visando

assegurar a obtenção de resultados consistentes e procedimentos padronizados, novos métodos estão sendo testados para caracterizar o vigor de sementes de várias espécies, com diferentes finalidades na pesquisa em Tecnologia de Sementes.

Para avaliação do vigor de sementes vários testes são recomendados, no entanto, até o momento apenas quatro testes são considerados padronizados pela ISTA (MARCOS-FILHO, 2015a), o de condutividade elétrica para sementes de ervilha, envelhecimento acelerado para sementes de soja, emissão da raiz primária para sementes de milho e colza e deterioração controlada para sementes de brássicas, em virtude da dificuldade na precisão dos resultados (ISTA, 2019). Entretanto, existem procedimentos utilizados em alguns testes de vigor, que têm demonstrado eficiência e possibilidade de padronização, com a necessidade de pequenos ajustes para o aprimoramento (MARCOS-FILHO, 2015a).

Contudo, para grande parte das culturas a literatura ainda não cita procedimentos padronizados, apenas metodologias que tiveram sua eficácia comprovada na avaliação do vigor, e por apresentarem diferenciação entre lotes de sementes, são recomendados. No caso de sementes de trigo, destacam-se pesquisas relacionadas aos testes de envelhecimento acelerado (MODARRESI et al., 2002; FANAN et al., 2006; LIMA et al., 2006; MAIA et al., 2007; PEDROSO et al., 2010; OHLSON et al., 2010), teste de frio (FANAN et al., 2006), condutividade elétrica (LIMA, 2005; MERTZ et al., 2012; SILVA, 2014) e tetrazólio (CARVALHO et al., 2012; 2013).

A necessidade de adequação e assim, validação de metodologias para diferentes espécies deve-se às variações nas características químicas, físicas, morfológicas e fisiológicas entre elas. Devendo-se também considerar sua aplicabilidade em diferentes genótipos, levando em conta seus atributos individuais e comportamento geral, uma vez que a recomendação de um determinado teste deve ser feita para uma espécie e não apenas para um cultivar.

### 2.3.1 Teste de Envelhecimento Acelerado

O teste de envelhecimento acelerado é um teste de resistência ao estresse reconhecido internacionalmente como um dos mais populares para

avaliação do vigor de sementes de várias espécies. É considerado um teste simples e com facilidade de padronização por fornecer informações com alto grau de consistência (TEKRONY, 1995). Neste teste as sementes são submetidas a condições de estresse com alta temperatura (41-45 °C) e umidade relativa do ar (100%) por curtos períodos, seguido pelo teste padrão de germinação (AOSA, 2018).

O teste de envelhecimento acelerado foi desenvolvido por Delouche (1965), buscando estimar o potencial de armazenamento de sementes de trevo e de festuca, partindo da hipótese de que a morte das sementes, durante o armazenamento, seria causada pela coagulação de proteínas e que a elevação da temperatura, acima de certos limites, acelerava o processo de deterioração de sementes (MARCOS-FILHO et al., 2000).

Neste sentido, o teste tem como princípio o fato de que a taxa de deterioração das sementes é aumentada consideravelmente por meio da sua exposição em níveis elevados de temperatura e umidade relativa do ar, considerados os fatores ambientais preponderantes na intensidade e velocidade de deterioração (MARCOS-FILHO, 1999). Dessa forma, sementes de baixa qualidade deterioram-se mais rapidamente do que as mais vigorosas, apresentando redução acentuada de sua viabilidade (AOSA, 2009).

O valor do teste de envelhecimento acelerado é bastante reconhecido, e após o teste de frio é o teste mais popular para avaliação do vigor de sementes nos Estados Unidos (ELIAS et al., 2012; ISTA, 2019). Sua importância tem impulsionado diversos estudos na busca de melhorias para a padronização.

É um teste eficiente tanto na comparação do vigor entre lotes de sementes, quanto na estimativa do potencial de emergência de plântulas em condições adversas de campo, e na determinação do potencial de armazenamento (DELOUCHE; BASKIN, 1973; TEKRONY, 1995). Mesmo levando um tempo relativamente longo para sua execução, que varia de acordo com a espécie, e ser padronizado apenas para a soja (TEKRONY, 1995), têm sido testado em diversas culturas.

Neste teste, as sementes absorvem água em ambiente aquecido e úmido, sendo que os resultados sofrem influência de diversos fatores, como: genótipo, grau de umidade inicial das sementes, temperatura e período de permanência das sementes no interior da câmara de envelhecimento, tratamento

fungicida, tamanho da amostra avaliada e sua distribuição sobre a tela mantida no interior da mini-câmara, tipo de recipiente utilizado para abrigar as sementes durante o teste e possível abertura da câmara durante o teste (MARCOS-FILHO, 2015a). Ainda, a distribuição das sementes da amostra numa única camada para favorecer a captação uniforme da umidade pelas sementes, e incubadoras com manutenção da temperatura estável ( $\pm 0,3$  °C), como as câmaras jaquetadas de envelhecimento, são fatores importantes levados em consideração na padronização do teste (TEKRONY, 1995).

Entre as vantagens dos testes que avaliam o comportamento de sementes envelhecidas artificialmente, são citados por Marcos-Filho (2015): a condução é relativamente rápida, pois os resultados são obtidos em período semelhante ao do teste de germinação ou até mais rapidamente, pois a interpretação é realizada mediante apenas uma contagem; é necessário apenas um equipamento adicional (câmara de envelhecimento); exige poucos conhecimentos adicionais por parte do analista familiarizado com o teste de germinação e; é um teste que pode ser aplicado a várias espécies.

A interação entre temperatura e período de exposição é um dos fatores mais importantes que afetam o desempenho dos lotes de sementes submetidos ao teste. Para sementes de trigo, estudos diversificando o uso de diferentes lotes e cultivares destacam-se inicialmente os trabalhos da AOSA (1983) e de Hampton e TeKrony (1995), que recomendaram a realização do teste a 41 °C / 72 h. Modaressi et al. (2002) utilizando lotes de sementes de trigo de inverno vermelho suave encontraram melhores resultados utilizando 43 °C ou 45 °C / 72 h. Maia et al. (2007) concluíram como mais indicadas as temperaturas de 41 °C e 43 °C / 24 h, e que 45 °C é uma temperatura letal para as sementes de trigo da cultivar Aliança. Enquanto, Lima et al. (2006), Fanan et al. (2006) e Ohlson et al. (2010) detectaram que a realização do teste a 43 °C durante 48 h fornece informações eficientes que permitem diferenciar os níveis de vigor de seis lotes das cultivares IAC 350 e IAC 370, cinco lotes das cultivares IAC 350 e IAC 370, e cinco lotes das cultivares CD 104 e BRS 220.

Com base em resultados descritos na literatura é evidente que o teste de envelhecimento acelerado apresenta potencial para avaliação do vigor de sementes trigo. No entanto, existe divergência entre as metodologias indicadas,

sugerindo que novos estudos devem ser realizados para confirmar a eficiência do teste em um maior número de genótipos.

### 2.3.2 Teste de Frio

O teste de frio é reconhecido por ser um dos mais antigos e mais usado entre os testes de vigor nos Estados Unidos. Em indústrias de sementes na América do Norte e na Europa é considerado o teste mais importante para avaliação do vigor de sementes de milho (AOSA, 2009).

Pesquisas relacionadas ao teste de frio tiveram início a partir dos estudos desenvolvidos por Dickson e Albert em 1926, em que relataram o desenvolvimento de um procedimento para estudar o mecanismo de infecção de plântulas por *Giberella cyanogena*, utilizando solo como veículo, que permitiu diferenciar lotes de sementes quanto ao potencial fisiológico (AOSA, 2009). Posteriormente, com base nas observações de Dickson e Albert, Reddy em 1933, desenvolveram um teste para avaliar a eficiência de fungicidas após a semeadura, em condições de solo frio e úmido, considerada o precursor do teste de frio (MARCOS-FILHO, 2015a).

Na década de 40, o teste de frio passou a ser utilizado em análises de rotina pelas empresas produtoras de sementes como parte de programas de controle de qualidade, inicialmente na América do Norte e na Europa, em 1976 (TEKRONY, 1983).

No Brasil, o teste de frio é empregado por empresas produtoras de sementes localizadas, principalmente nos estados do Sul e Sudeste, onde lavouras de algodão, milho e soja podem ser semeadas entre o início do mês de setembro e meados de outubro. Nesta época, é comum a ocorrência de frentes frias chuvosas, as quais, dependendo do nível de vigor dos lotes de sementes, poderão provocar sérios problemas para a germinação e emergência de plântulas (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

Assim como o teste de envelhecimento acelerado, o teste de frio também é um teste de resistência ao estresse, que têm como princípio básico a exposição das sementes a fatores adversos de baixa temperatura, alta umidade do substrato e, no caso da utilização do solo, a agentes patogênicos (CICERO; VIEIRA,

2020). Segundo Marcos-Filho (2015a), a velocidade e porcentagem de germinação diminuem acentuadamente devido à configuração desorganizada das membranas e liberação de exsudados (açúcares, aminoácidos, proteínas, ácidos graxos, íons inorgânicos) durante o umedecimento das sementes, e da presença de microorganismos quando o substrato inclui solo. Dessa forma, o vigor é diretamente proporcional ao grau de sobrevivência das sementes expostas a essas condições. De maneira geral, resultados do teste de frio próximos dos obtidos no teste padrão de germinação, indicam a possibilidade de esse lote apresentar capacidade para germinar sob ampla variação das condições de umidade e temperatura do solo (CICERO; VIEIRA, 1994).

Existem variações em relação às metodologias utilizadas para o teste. Embora grande parte das análises seja realizada com a metodologia tradicional, solo em caixas, os métodos de rolo de papel, com e sem solo, assim como solo em bandejas, são utilizados em diversas pesquisas (CICERO; VIEIRA, 1994; AOSA, 2009; CICERO; VIEIRA, 2020).

Em relação aos métodos, aqueles que envolvem o uso de solo, como o de solo em caixas e bandejas, apresentam dificuldades quanto à padronização, pois requerem o uso de maior quantidade de substrato (terra e areia), e outros fatores, como por exemplo, o pH e o tipo do solo podem influenciar (ELIAS et al., 2012). Além da desuniformidade causada pela origem do solo, outros problemas ocorrem devido à distribuição desuniforme de água no substrato, ao período necessário para o substrato atingir a temperatura desejada e, também, pelo manuseio das caixas, que apresentam peso relativamente elevado (AOSA, 2009; ELIAS et al., 2012). Além disso, outro fator que dificulta a padronização deste procedimento refere-se à disposição das caixas no interior da câmara fria, que geralmente são empilhadas e, desta forma, o resfriamento do substrato pode não ocorrer de maneira uniforme. Esses fatores podem influenciar a resposta das sementes ao teste de frio, colocando em dúvida a confiabilidade e reprodutibilidade do procedimento.

Além de ser bastante empregado na avaliação de sementes de milho, o teste de frio tem sido usado para avaliar o vigor de sementes de soja, algodão, sorgo e outras espécies (HAMPTON; TEKRONY, 1995, AOSA, 2009). Além de avaliar o potencial de desempenho das sementes em campo e selecionar lotes para semeadura, pode ser usado para avaliar a eficiência de fungicidas, constituir

parâmetro auxiliar para a seleção de materiais genéticos (em função da habilidade para germinar em solo úmido e frio), avaliar a deterioração resultante do armazenamento prolongado e efeitos de danos mecânicos (CASEIRO; MARCOS-FILHO, 2000).

A semeadura de cultivares de trigo de primavera no Brasil, principalmente em regiões frias no Sul do país, é realizada durante o inverno, com temperaturas de solo baixas. Portanto, o teste de frio apresenta, teoricamente, alto potencial para a realidade nacional, no entanto, poucas informações a respeito da avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo com o teste de frio são encontradas na literatura. Fanan et al. (2006) avaliando cinco lotes de sementes de trigo das cultivares IAC 350 e IAC 370, seguindo o mesmo procedimento utilizado para milho (10 °C / 7 dias), concluíram que o teste não permitiu detectar diferenças de vigor entre as amostras avaliadas. Segundo Marcos-Filho (2015a) uma alternativa seria estabelecer temperaturas específicas para determinadas espécies e até cultivares. Samarah e Al-Kofahi (2008) encontraram diferenças de vigor entre lotes de sementes de dois cultivares de cevada, utilizando a temperatura de 5 °C durante 7 dias.

### 2.3.3 Germinação em Temperaturas Sub e Supra-ótimas

O processo de germinação das sementes tem início com a absorção de água e se encerra com o alongamento do eixo embrionário e protrusão da raiz primária. Este constitui uma sequência de eventos físicos, bioquímicos e fisiológicos, que são influenciados por vários fatores, como a disponibilidade de água, a temperatura e o oxigênio que, isolados ou em conjunto, são determinantes no sucesso ou fracasso deste processo (MARCOS-FILHO, 2015a).

Entre as condições ambientais que afetam o processo germinativo, a temperatura exerce importante função sobre as diversas etapas do desenvolvimento e da produção de trigo (MANFRON et al., 1993). De acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), a temperatura é importante para todas as reações bioquímicas e processos fisiológicos que levam à germinação, afetando a velocidade e percentagem de germinação, interferindo principalmente na absorção de água pela semente.

A germinação ocorre em limites relativamente amplos de temperatura, sendo que o máximo e o mínimo tolerado dependem de cada espécie e de suas características genéticas (MATHEUS; LOPES, 2009), assim, existe para cada cultura uma temperatura ótima, máxima e mínima para que o processo de germinação das sementes ocorra (MARCOS-FILHO, 2015a). A temperatura ótima, ou seja, aquela que possibilita a combinação mais eficiente entre porcentagem e a velocidade de germinação, situa-se para a maioria das espécies entre 15 e 30 °C e a máxima varia entre 30 e 40 °C, sendo que, em direção a temperatura ótima, a velocidade de germinação aumenta em temperaturas acima da mínima e abaixo da máxima (COPELAND; McDONALD, 1995; MARCOS-FILHO, 2015a).

A habilidade de uma semente germinar sob condições de estresse vem sendo estudada através de diversos métodos, como um meio de avaliação do vigor de sementes de algumas espécies. Considerando que, a reorganização das membranas celulares durante a embebição pode ser dificultada, principalmente em lotes menos vigorosos (CARVALHO et al., 2009), a capacidade das sementes germinarem em ampla condição de temperaturas vem sendo estudada para classificação do potencial fisiológico de sementes de algumas espécies, como anis (STEFANELLO et al., 2006), arroz (MERTZ et al., 2009) e milho (SBRUSSI; ZUCARELI, 2014; GRZYBOWSKI et al., 2015).

A semeadura de trigo no Brasil, dependendo da região de cultivo, varia de janeiro a julho, portanto as sementes estão sujeitas a estresses tanto por altas quanto por baixas temperaturas durante a instalação da lavoura. No entanto, poucos estudos têm relacionado a germinação de sementes sob condições de estresse de temperatura com o potencial fisiológico das sementes. Dessa forma, há interesse em aprofundar os estudos em áreas que avaliem o vigor de sementes de trigo por meio de métodos ligados à avaliação da germinação, sendo estas consideradas possíveis de padronização devido a eficiência e simplicidade de execução.

#### 2.3.4 Teste de Tetrazólio

O desenvolvimento de testes rápidos para a obtenção de informações da qualidade fisiológica de sementes teve início no fim do século

passado, quando o sistema de produção de sementes começou a ser organizado em diversos países da Europa (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). Nesta época, diversos testes baseados na observação da coloração das sementes passaram a ser utilizados, mesmo sem padronização.

Estudos iniciais relacionando o uso de corantes com a atividade de enzimas faziam o uso de substâncias químicas, como: índigo carmine, azul de metileno, vermelho neutro, ácido sulfúrico, verde malaquita, sais de telúrio e selênio, sendo algumas destas tóxicas (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). Em 1940, o pesquisador grego Georg Lakon após estudar vários sais e aperfeiçoar os estudos com selênio, concluiu que o sal 2,3,5 trifenil cloreto de tetrazólio era o mais apropriado para o teste, desenvolvendo a partir daí metodologias para diversas espécies (AOSA, 2010). Até os dias atuais várias pesquisas estão sendo conduzidas e, o teste de tetrazólio é considerado um dos mais conceituados para avaliação da qualidade fisiológica de sementes em laboratórios do mundo todo.

O teste de tetrazólio é um teste bioquímico que tem como princípio a atividade das enzimas desidrogenases, particularmente a desidrogenase do ácido málico, que reduz o sal 2,3,5 trifenil cloreto de tetrazólio nos tecidos vivos da semente, onde íons de hidrogênio são transferidos para o sal (DELOUCHE et al., 1976). Quando a semente é imersa na solução de tetrazólio, esta se difunde através dos tecidos, ocorrendo a reação de redução nas células vivas, resultando na formação de um composto vermelho, não difusível, o trifenilformazan, indicando haver atividade respiratória nas mitocôndrias e, conseqüentemente, que o tecido é viável. Tecidos não viáveis não reagem com a solução conservando sua cor natural (AOSA, 2010; FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018; KRZYZANOWSKI, et al., 2020).

É um dos testes mais utilizados para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja no Brasil. No entanto, sua aplicabilidade tem sido difundida para outras espécies. Na literatura são encontrados estudos visando a padronização de métodos para sementes de soja (COSTA et al., 1998; AOSA, 2010; FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018; KRZYZANOWSKI, et al., 2020), melancia (BHERING et al., 2005), milho (BARROS; DIAS, 1995; DIAS; BARROS 1998; CHAMMA; NOVENBRE, 2007), mamona (GASPAR-OLIVEIRA et al., 2009), triticale (SOUZA et al., 2010), trigo (CARVALHO et al., 2012; 2013), arroz (CARVALHO et al., 2019), entre outras espécies cultivadas e nativas.

Existem atualmente manuais específicos que contemplam em detalhe a metodologia de execução do teste para avaliação da viabilidade e do vigor de sementes de milho, algodão, feijão, amendoim e soja (FRANÇA-NETO, KRZYZANOWSKI, 2018; AOSA, 2010). No Manual do Teste de Tetrázólio publicado pela Associação Oficial dos Analistas de Sementes (AOSA, 2010) é relatada a recomendação de métodos para avaliação da viabilidade de sementes de 110 famílias, compreendendo mais de 500 espécies de plantas.

Segundo Costa et al. (2007) o teste de tetrázólio, além de avaliar a viabilidade e o vigor dos lotes de semente de soja de forma rápida, fornece também o diagnóstico das causas responsáveis pela redução da qualidade, como deterioração por umidade, danos mecânicos, de percevejos, de secagem, de estresse hídrico e de geada. Os autores afirmam que a grande quantidade de informações fornecidas pelo teste tem sido a maior responsável pelo elevado índice sua adoção no Brasil, pois, além de apontar os problemas de redução de qualidade da semente, o mesmo, quando aplicado nas diferentes etapas do sistema de produção, permite que ações corretivas sejam adotadas, por identificar os pontos de origem desses problemas, resultando na produção de sementes de alta qualidade.

No processo de avaliação do teste, os critérios estabelecidos para a coloração dos tecidos além de serem utilizados na caracterização da viabilidade das sementes, podem distinguir dentro do grupo de sementes viáveis as classes de alto e de baixo vigor. Assim, para as sementes de soja, ocorre a classificação conforme as classes: 1 a 3 (sementes viáveis e vigorosas), 4 a 5 (sementes viáveis e não vigorosas), 6 a 7 (sementes não viáveis) e 8 (sementes mortas) (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). A separação é realizada também em sementes de milho, no entanto, com o estabelecimento de três classes: 1 representada pelas sementes viáveis e vigorosas, 2 pelas sementes viáveis e não vigorosas e 3, constituída pelas sementes não viáveis (BARROS; DIAS, 1995; DIAS; BARROS, 1998).

Assim como as sementes de gramíneas forrageiras (CUSTÓDIO et al., 2012), triticales (SOUZA et al., 2010) e arroz (CARVALHO et al., 2017), as sementes de trigo são relativamente pequenas, e possuem embrião pequeno em relação ao tamanho total das sementes e estruturas mais complexas comparadas à sementes de soja, por exemplo. Apresentando maiores dificuldades de realização e interpretação de resultados, e muitas vezes necessitam do auxílio de estereomicroscópio para facilitar a visualização durante a avaliação. Para o trigo a condução

do teste de tetrazólio e os procedimentos destacados na literatura são indicados apenas para análise da viabilidade das sementes (BRASIL, 2009; AOSA, 2010), entretanto, com sucesso para tal avaliação (FRANCO et al., 2009).

No que diz respeito ao uso do teste para avaliação do vigor, foram recomendadas por Carvalho et al. (2012; 2013) a classificação das sementes em quatro categorias: viáveis e vigorosas, viáveis e não vigorosas, não viáveis e mortas, publicadas no Manual Vigor de Sementes: conceitos e testes (KRZYZANOWSKI et al., 2020). No entanto, o método proposto necessita de ajustes no preparo das sementes e na avaliação das mesmas após a coloração, bem como, detalhamento na descrição das classes de vigor e conhecimento dos danos responsáveis pela redução da qualidade das sementes, como deterioração por umidade, danos mecânicos, geadas, entre outros, como conhecidos para cultura da soja. Dessa forma, novas investigações a respeito do teste de tetrazólio para avaliação do vigor de sementes de trigo são necessárias, tanto para confirmação dos resultados encontrados, como para complementação das informações descritas, considerando também possíveis efeitos genéticos.

## REFERÊNCIAS

ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; FOLONI, J.S.S.; ZUCARELI, C.; BASSOI, M.C.; HENNING, F.A. Seedling emergence and yield performance of wheat cultivars depending on seed vigor and sowing density. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 39, n. 1, p. 58-65, 2017.

ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; ZUCARELI, C.; FOLONI, J.S.S.; HENNING, F.A. Growth, and yield of wheat in response to seed vigor and sowing densities. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 891-899, 2018.

ABITRIGO, Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Sobre o trigo: o que é o trigo**. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/index.php?mpg=02.00.00>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

ABREU, A.F.B. **Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na Região Sul de Minas Gerais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. (Sistemas de Produção, 6).

ALVARENGA, R.O.; MARCOS-FILHO, J.; GOMES-JUNIOR, F.G. Avaliação do vigor de sementes de milho superdoce por meio da análise computadorizada de imagens de plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 488-494, 2012.

ALVARENGA, R.O.; MARCOS-FILHO, J.; TIMÓTEO, T.S. Assessment of the physiological potential of super sweet corn seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 340-346, 2013.

AMARAL, A.D.S.; PESKE, S.T. Testes para avaliação rápida da qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 6, n. 1, p. 12-15, 2000.

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Seed Moisture Determination: principles and procedures**. Association of Official Seed Analysts. Handbook. 2Ed, AOSA, Washington, DC, USA. 2018.

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Tetrazolium Testing Handbook**. Washington, DC, 2010. 414p. (Contribution, 29).

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Seed vigor testing handbook**. Lincoln, 2009. 105p. (Contribution, 32).

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Seed vigour testing handbook**. East Lansing, 1983. 93p. (To the Handbook on Seed Testing Contribution, 32).

BARBIERI, A.P.P.; MARTIN, T.N.; MERTZ, L.M.; NUNES, U.R.; CONCEIÇÃO, G.M. Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 724-731, 2013.

BARROS, A.S.R.; DIAS, M.C.L.L. O teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica das sementes de milho. **Informativo ABRATES**, Londrina. v. 5, n. 2, p. 159, 1995.

BASSOI, M.C.; RIEDE, C.R.; CAMPOS, L.A.C.; FOLONI, J.S.S.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; GARBUGLIO, D.D.; ARRUDA, K.M.A. **Cultivares de trigo e triticales Embrapa e Iapar**. Londrina: Embrapa Soja. 2016. Disponível em: <[ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140959/1/Livreto-Trigo2016.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140959/1/Livreto-Trigo2016.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2017.

BHERING, M.C.; DIAS, D.C.F.S.; BARROS, D.I. Adequação da metodologia do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de melancia. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n 1, p. 176-182, 2005.

BIOTRIGO, Genética. **Produção de trigo aumenta na região central do Brasil**. Disponível em: <<http://www.biotrigo.com.br/noticias/index.php?id=151>>. Acessado em: 09 jun. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

CARVALHO, N.M. Vigor de sementes. In: CÍCERO, S.M.; MARCOS-FILHO, J.; SILVA, W.R. **Atualização em produção de sementes**. Campinas, Fundação Cargill, p. 207-223, 1986.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.

CARVALHO, L.F.C.; 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. 9-17, 2009.

CARVALHO, T.C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; OHLSON, O.C.; PANOBIANCO, M. Improved assessment of wheat seeds vigor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 6, p. 608-614, 2012.

CARVALHO, T.C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; OHLSON, O.C.; PANOBIANCO, M. Tetrazolium test adjustment for wheat seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 25, n. 3, p. 361-367, 2013.

CARVALHO, I.L.; MENEGHELLO, G.E.; DE TUNES, L.M.; JÁCOME, C.C.; SOARES, V.N. Methodological adjustments to the tetrazolium test in rice. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 39, n. 1, p. 041-049, 2017.

CARVALHO, I.L.; MENEGHELLO, G.E.; TUNES, L.M.; COSTA, C.J.; SOARES, V.N. Preparo da semente de arroz para execução do teste de tetrazólio. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 1, p. 51-63, 2019.

CERVIERI-FILHO, E. **Desempenho de plantas oriundas de sementes de alto e baixo vigor dentro de uma população de soja**. 2005. 44 fls. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, Pelotas.

CHAMMA, H.M.C.P.; NOVENBRE, A.D.L.C. Teste de tetrazólio para as sementes de milho: períodos de hidratação e de coloração das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 125-129, 2007.

CICERO, S.M.; VIEIRA, R.D. Teste de frio. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020, cap. 6, p. 277-307.

CICERO, S.M.; VIEIRA, R.D. Teste de frio. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 151-164.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjuntura semanal**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_08\\_02\\_10\\_52\\_05\\_trigo\\_-\\_semana\\_-\\_25\\_a\\_29.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_08_02_10_52_05_trigo_-_semana_-_25_a_29.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2017.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=30>. Acesso em: 15 abr. 2021.

COPELAND, L.O.; McDONALD, M.B. **Principles of seed science and technology**. 2. ed. New York: Macmillan, 1995. 321p.

COSTA, N.P. da.; FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PEREIRA, J.E. Avaliação de metodologia alternativa para o teste de tetrazólio para sementes de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 305-312, 1998.

COSTA, N.P.; FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. Metodologia alternativa para o teste de tetrazólio em semente de soja - Série Sementes. **Circular Técnica 39**, Londrina, Paraná, 2007. 8p.

COVENTRY, D.R.; GUPTA, R.K.; YADAV, A.; POSWAL, R.S.; CHHOKAR, R.S.; SHARMA, R.K.; YADAV, V.K.; GILL, S.C.; KUMAR, A.; MEHTA, A.; KLEEMANN, S.G. Wheat quality and productivity as affected by varieties and sowing time in Haryana, India. **Field Crops Research**, v. 123, n. 3, p. 214-225, 2011.

CUSTÓDIO, C.C.; DAMASCENO, R.L.; MACHADO-NETO, N.B. Imagens digitalizadas na interpretação do teste de tetrazólio em sementes de *Brachiaria brizantha*. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 334-341, 2012.

DELOUCHE, J.C. Standardization of vigor tests. **Journal of Seed Technology**, v. 1, p. 75-85, 1976.

DIAS, M.C.L.L.; BARROS, A.S.R. Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de milho. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020, cap. 16, p. 501-517.

EICHELBERGUER, L. Produção de sementes de trigo. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. **Trigo no Brasil: bases para competição competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011, p.427-452.

DELOUCHE, J.C. An accelerated aging technique for predicting relative storability of crimson clover and tall fescue seed lots. **Agronomy Abstracts**, Réduit, v. 40, n. 1, p. 40, 1965.

ELIAS, S.G.; COPELAND, L.O.; MCDONALD, M.B.; BAALBAKI, R.Z. **Seed testing: Principles and practices**. Michigan State Univ. Press, East Lansing. 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Artigo - **Produção de trigo no Cerrado do Brasil Central tem potencial para crescer 20 vezes**. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/50236912/producao-de-trigo-no-cerrado-do-brasil-central-tem-potencial-para-crescer-20-vezes>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Artigo - **Por que se preocupar com a densidade de semeadura em milho?** 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/5252480/artigo---por-que-se-preocupar-com-a-densidade-de-semeadura-em-milho>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

FANAN, S.; MEDINA, P.F.; LIMA, T.C.; MARCOS-FILHO, J. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerado e de frio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 152-158, 2006.

FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C. **Indicações fitotécnicas para cultivares BRS de trigo no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. (Circular Técnica; 110).

FORNASIERI-FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal: FUNEP, 2008, 338 p.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. O vigor e o desempenho das sementes. **Semente é tecnologia**. Associação Brasileira de Sementes e Mudanças, Anuário 2018. p. 26-30, 2018. Disponível em: <[http://www.abrasem.com.br/wpcontent/uploads/2019/04/Arte\\_Anuario2018\\_COMPLETO\\_WEB.pdf](http://www.abrasem.com.br/wpcontent/uploads/2019/04/Arte_Anuario2018_COMPLETO_WEB.pdf)> Acesso em: 5 ago. de 2019.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. **Metodologia do teste de tetrazólio**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 108p. (Documentos, 406).

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 20, n. 1, p. 37-38, 2010.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. Plantas de alto desempenho e a produtividade da soja. **Seed News**, Pelotas, v. 16, n. 6, p. 8-11, 2010.

FRANCO, F.A.; PINTO, R.J.B.; SCAPIM, C.A.; SCHUSTER, I.; VIGANO, J.;

MARCHIORO, V.S.; BRACCINI, A.L.E. Pré-esfriamento para superação da dormência de sementes de trigo colhidas na época da maturidade. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 245-252, 2009.

GASPAR-OLIVEIRA, C.M.; MARTINS, C.C.; NAKAGAWA, J. Concentração da solução de tetrazólio e período de coloração do teste para sementes de mamoneira. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 038-047, 2009.

GOMES-JUNIOR, F.G.; MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; McDONALD, M.B.; BENNETT, M.A. Evaluation of priming effects on sweet corn by SVIS. **Seed Technology**, Lincoln, v. 31, n. 1, p. 95-100, 2009.

GRZYBOWSKI, C.R.S.; VIEIRA, R.D.; PANOBIANCO, M. Testes de estresse na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 590-596, 2015.

GWIRTZ, J. A.; WILLYARD, M. R.; MCFALL, K. L. W. **Wheat: more than just a plant**. In: MÜHLENCHMIE. Future of flour: a compendium of flour improvement. 2014. Disponível em: <<http://muehlenchemie.de/english/know-how/future-of-flour.html>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

HAMPTON, J.G.; TEKRONY, D.M. **Handbook of vigour test methods**. Zurich: ISTA. 3.ed. 1995. 117p.

HENNING, A.A.; FRANÇA NETO, J.B. Problemas na avaliação da germinação de semente de soja com alta incidência de *Phomopsis* sp. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 2, n. 3, p. 9-22, 1980.

HOFFMASTER, A.L.; FUJIMURA, K.; McDONALD, M.B.; BENNETT, M.A. An automated system for vigor testing three-day-old soybean seedlings. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 31, n. 3, p. 701-713, 2003.

HOFFMASTER, A.F.; XU, L.; FUJIMURA, K.; MCDONALD, M.B.; BENNETT, M.A.; EVANS, A.F. The Ohio State University seed vigor imaging system (SVIS) for soybean and corn seedlings. **Seed Technology**, Lansing, v. 27, n.1, p. 7-24, 2005.

HÖFS, A.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A. Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 92-97, 2004.

ISELY, D. Vigor tests. **Proceedings of Association of Official Seed Analysts**, v. 47, p. 176-182, 1957.

ISTA - International Seed Testing Association. **International Rules for Seed Testing**. Edition 2019. ISTA, Bassersdorf, Switzerland, 2019, 300p.

KHAH, E.M.; ROBERTS, E.H.; ELLIS, R.H. Effects of seed ageing on growth and yield of spring wheat at different plant-population densities. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, n. 3, p.175-190, 1989.

KOLCHINSKI, E.M; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Vigor de sementes e competição intraespecífica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p.1248-1256, 2005.  
 KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de comprimento de raiz de plântula de soja. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 2, n. 1, p. 11-14, 1991.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A. Relato dos testes de vigor disponíveis para grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 1, n. 2, p.15-50, 1991.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A.; COSTA, N.P. **A semente de soja como tecnologia e base para altas produtividades** – Série Sementes. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 7p. (Circular Técnica, 55).

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO.; J.B MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. 601p.

LAMEGO, F.P.; KASPARY, T.E.; RUCHEL, Q.; GALLON, M.; BASSO, C.J.; SANTI, A. L. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate: coberturas de inverno e herbicidas em pré-semeadura da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 433-442, 2013.

LEON, A.E.; ROSELL, C.M. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas e productos de panificación en Iberoamerica**. Córdoba: Hugo Baez, 2007. 480 p. Disponível em: <<http://agro.unc.edu.ar/~uninvestigacion/cyted/publicaciones.php>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

LEUBNER, G. **Structure and germination of a cereal grain (caryopsis): *Triticum aestivum*- wheat**. The seed Biology Place. London, 2007. Disponível em: <<http://www.seedbiology.de/structure.asp#caryopsis>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

LIMA, T.C. **Avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 2005. 61 fls. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) Campinas: Instituto Agrônomo, Campinas.

LIMA, T.C.; MEDINA, P.F.; FANAN, S. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 106-113, 2006.

MACHADO, C.G.; MARQUES, R.P.; MARTINS, C.C., CRUZ, S.; CARLOS, S. Precocidade na emissão da raiz primária para avaliação do vigor de sementes de milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 499-505, 2012.

MAIA, A.R.; LOPES, J.C.; TEIXEIRA, C.O. Efeito do envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 678-684, 2007.

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

MANFRON, P.A.; LAZZAROTTO, C.; MEDEIROS, S.L.P. TRIGO - Aspectos

agrometeorológicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 3, n. 2, p. 233-239, 1993.

MARCOS-FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.de B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Londrina: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, Comitê de vigor de sementes, cap. 1, p. 1-20, 1999.

MARCOS-FILHO, J. Importância do potencial fisiológico de sementes de soja. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 23, n. 1, p. 21-24, 2013.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015a. 660p.

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

MARCOS-FILHO, J.; NOVENBRE, A.D.C.; CHAMMA, H.M.C.P. Tamanho da semente e o teste de envelhecimento acelerado para soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 473-482, 2000.

MARCOS-FILHO, J.; KIKUTI, A.L.P. Vigor de sementes de rabanete e 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.

MARTIN, T.N.; SIMIONATTO, C.C.; BERTONCELLI, P.; HASTENPFLUG, S.O.M.; ZIECH, M.F.; SOARES, A.B. Fitomorfologia e produção de cultivares de trigo duplo propósito em diferentes manejos de corte e densidades de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, p.1695-1701, 2010.

MARTINELLI-SENEME, A.; MARTINS, C.C.; CASTRO, M.M.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, J. Avaliação do vigor de sementes peliculizadas de tomate. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 26, n. 2, p. 1-6, 2004.

MARTINS, C.C.; MARTINELLI-SENEME, A.; CASTRO, M.M.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Comparação entre métodos para avaliação do vigor de lotes de sementes de couve-brócolis. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 96-101, 2002.

MARTINS, C.C.; UNÊDA-TREVISOLI, S.H.; MÔRO, G.V.; VIEIRA, R.D. Metodologia para seleção de linhagens de soja visando germinação, vigor e emergência em campo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 455-461, 2016.

MATTHEWS, S.; KHAJEH-HOSSEINI, M. Mean germination time as an indicator of emergence performance in soil of seed lots of maize (*Zea mays*). **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 34, p. 339-347, 2006.

MATTHEWS, S.; KHAJEH-HOSSEINI, M. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 35, p. 200-212, 2007.

MCDONALD-JUNIOR, M.B. A review and evaluation of seed vigor tests. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**, East Lansing, v. 65, p. 109-139, 1975.

MELO, P.T.B.S.; SCHUCH, L.O.B.; ASSIS, F.N; CONCENÇO, G. Comportamento Individual de plantas originadas de sementes com diferentes níveis de qualidade fisiológica em populações de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n.2, p.84-94, 2006.

MENEZES, N.L.; SILVEIRA, T.L.D. Métodos para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de arroz. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 350-359, 1995.

MERTZ, L.M.; HENNING, F.A.; SOARES, R.C.; BALDIGA, R.F.; PESKE, F.B.; MORAES, D.M. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 254-262, 2009.

MERTZ, L.M.; SEGALIN, S.R.; HUTH, C.; DAVILA-ROSA, T. Condutividade elétrica individual para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 35-39, 2012.

MEZIAT, A.; VIEIRA, R.C.M.T. Política de desenvolvimento produtivo e sua extensão à cadeia produtiva do trigo. In: CUNHA, G.R. **Oficina Sobre o Trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 129 p.

MIELEZRSKI, F.; SCHUCH, L.; PESKE, S.; PANOZZO, L.; CARVALHO, R.; ZUCHI, J. Desempenho em campo de plantas isoladas de arroz híbrido em função da qualidade fisiológica das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 139-144, 2008.

MODARRESI, R; RUCKER, M.; TEKRONY, D.M. Accelerating ageing test for comparing wheat seed vigour. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 30, n. 3, p. 683-687, 2002.

MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; TRINDADE, M.G.; CÁNOVAS, A.D. **A cultura do trigo irrigado no Sistema Plantio Direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Trigo, 2006. 16 p. (Circular técnica 78).

MORI, C.; IGNACZAK, J.C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. **Trigo no Brasil: bases para competição competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011, p.41-76.

MORI, C. Aspectos econômicos da produção e utilização. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed.UFV, 2015, p. 11-34.

MOTTA, I.S.; BRACCINI, A.L.; ESCAPIM, C.A.; GONÇALVES, A.C.A.; BRACCINI, M.C.L.; ÁVILA, M.R. Qualidade fisiológica de sementes de soja provenientes de diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 22, n. 2, p. 257-267, 2000.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R. D., CARVALHO, N. M. (Ed.) **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.49-85.

NAKAGAWA, J. Teste de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 2.1-2.24.

NAKAGAWA, J. Os componentes da produtividade de sementes. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 35-39, 2014.

NETO, N.B.M.; CUSTÓDIO, C.C.; COSTA, P.R.; DONÁ, F.L. Deficiência hídrica induzida por agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 142-148, 2006.

OHLSON, O.C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; CAIEIRO, J.T.; PANOBIANCO, M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 118-124, 2010.

OHSE, S.; CUBIS, J.G.; REZENDE, B.L.A.; CORTEZ, M.G.; OTTO, R.F. Vigor e viabilidade de sementes de trigo tratadas com zinco. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 4, p. 49-58, 2012.

OTONI, R.R.; McDONALD, M.B. Moisture and temperature effects on maize and soybean seedlings using the seed vigor imaging system. **Seed Technology**, Lansing, v. 27, n. 2, p. 243-247, 2005.

PANOZZO, L.E; SCHUCH, L.O.B; PESKE, S.T.; MIELEZRSKI, F.; PESKE, F.B. Comportamento de plantas de soja originadas de sementes de diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Revista da FVZA**, Uruguaiana, v. 16, n. 1, p. 32-41, 2009.

PEDROSO, D.C.; TUNES, L.M.; BARBIERI, A.P.P.; BARROS, A.C.S.A.; MUNIZ, M.F.B.M.; MENEZES, V.O. Envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 11, p. 2389-2392, 2010.

PEREIRA, A.F.; MELO, P.G.S.; OLIVEIRA, J.P.; ASSUNÇÃO, A.; BUENO, L.G. Qualidade fisiológica de sementes e desempenho agrônomo de genótipos de milho doce. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 249-261, 2008.

PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A. Produção de Sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M.D.; ROTA, G.R.M. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 1ª edição. Pelotas. 2003. 414 p.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 3 ed. Pelotas: UFPel, 2012. 573 p.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: Agiplan, 1985. 289 p.  
RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1687-1698, 2011.

ROSSI, R.F. **Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja**. 2012. 72 fls. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SAKO, Y.; MCDONALD, M.B.; FUJIMURA, K.; EVANS, A.F.; BENNETT, M.A. A system for automated seed vigour assessment. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 29, n. 3, p. 625-636, 2001.

SAMARAH, N.H.; AL-KOFAHI, S. Relationship of seed quality tests to field emergence of artificial aged barley seeds in the Semiarid Mediterranean region. **Jordan Journal of Agricultural Sciences**, v. 4, n. 3, p. 217-229, 2008.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V.F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S.L.; MACEDO-JÚNIOR, E.K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 836-842, 2012.

SCHEEREN, B. **Vigor de sementes de soja e produtividade**. 2002. 45 fls. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SCHEEREN, P.L.; CAIERÃO, E.; SILVA, M.S.; BONOW, S. Melhoramento de Trigo no Brasil. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. **Trigo no Brasil: bases para competição competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011, p. 427-452.

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. 35-41, 2010.

SCHEEREN, P.L.; CASTRO, R. L.; CAIERÃO, E. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. In: BOREM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed.UFV, 2015, p. 35-55.

SCHUCH, L.O.B; NEDEL, J.L.; ASSIS, F.N.; MAIA, M.S. vigor de sementes e análise de crescimento de aveia preta. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 305-312, 2000.

SCHUCH, L.O.B; KOLCHINSKI, E.M.; FINATTO, J.A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 144-149, 2009.

SILVA, S.A. **Injúrias mecânicas, análise de imagens e potencial fisiológico de sementes de trigo**. 2014. 130 fls. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

SILVA, G.G.; GOMES-JUNIOR, F.G. Avaliação automatizada do vigor de sementes de soja utilizando o software Vigor-S. **22º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP** (SIICUSP), São Paulo, 2014.

SILVA, V.N.; GOMES-JUNIOR, F.G.; CICERO, S.M. Computerized imaging analysis of seedlings for assessment of physiological potential of wheat seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 589-596, 2012.

SINDUSTRIGO, Sindicato da Indústria do Trigo no Estado de São Paulo. **História do trigo no Brasil**. Disponível em:

<<http://www.sindustrigo.com.br/O-Trigo/?t=Hist%F3ria%20no%20Brasil>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

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.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil. Baseado em APG II. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. p. 238-270.

SOUZA, C.R.; OHLSON, O.C.; GAVAZZA, M.I.A.; PANOBIANCO, M. Tetrazolium test for evaluating triticale seed viability. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 163-169, 2010.

STEFANELLO, R.; GARCIA, D.C.; MENEZES, N.L.; WRASSE, C.F. Influência da luz, temperatura e estresse hídrico na germinação e no vigor de sementes de anis. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 1, p. 45-50, 2006.

TAKEITI, C.Y. **Trigo**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2015. Disponível em:

<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia\\_de\\_alimentos/arvore/CON T000fid57plx02wyiv80z4s47384pdxjo.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CON T000fid57plx02wyiv80z4s47384pdxjo.html)>. Acesso em: 09 jun. 2017.

TAVARES, L.C.V.; FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C.; PRETE, C.E.C. Genótipos de trigo em diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 2, p. 166-174, 2014.

TeKRONY, D. M. Accelerated aging test. In: HAMPTON, J.G. e TeKRONY, D.M. (Ed.) **Handbook of vigour test methods**. 3. ed. Zurich: International Seed Testing Association, p. 35-50, 1995.

TeKRONY, D.M. Seed vigor testing – 1982. **Journal of Seed Technology**, v. 8, n. 1, p. 55-60, 1983.

TeKRONY, D.M.; EGLI, D.B. **Relationship of seed vigor to crop yield: A review**. Crop Science, Madison, v. 31, n. 3, p. 816-822, 1991.

TERUEL, D.A.; SMIDERLE, O.J. Trigo. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.

**Ecofisiologia de Cultivos Anuais: trigo, milho, soja, arroz e mandioca.** São Paulo: Nobel, 1999, p. 13-24.

TOLEDO, F.F.; NOVENBRE, A.D.L.C.; CHAMMA, H.M.C.P.; MACHIETTO, R.W. Vigor de sementes de milho (*Zea mays* L.) avaliado pela precocidade de emissão da raiz primária. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 191-196, 1999.

USDA, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Production, Supply and Distribution (PSD) online.** Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 15 abr. 2020.

VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F.D.; OLIVEIRA, A.C.D.; MACHADO, A.D.A.; BENIN, G.; SCHEEREN, P.L.; SOUZA, V.Q.; HARTWIG, I. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.3, p. 319-326, 2008.

VAN DER VERTER, H.A. Seed vigour testing. **ISTA News Bulletin**, n. 122, p. 12-14, 2001.

VANZOLINI, S.; NAKAGAWA, J. Teste de condutividade elétrica em sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 151-158, 2005.

VIGANO, J.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; FRANCO, F.A.; SCHUSTER, I.; MOTERLE, L.M.; TEXEIRA, L. Qualidade fisiológica de sementes de trigo em resposta aos efeitos de anos e épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 86-96, 2010.

YOKOYAMA, L.P.; SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Rentabilidade das culturas de milho, soja e trigo em diferentes sistemas de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 75-79, 2002.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem regulador de crescimento afetando o trigo cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 25-29, 2002.

### 3 ARTIGO A – PADRONIZAÇÃO DO TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE TRIGO

#### RESUMO

O teste de envelhecimento acelerado é amplamente utilizado para avaliação do vigor de sementes. No entanto para a cultura do trigo existe discrepância na literatura quanto aos fatores temperatura e período de exposição ao estresse. O estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência do teste de envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de tempo e temperaturas de exposição, na avaliação do vigor de sementes de lotes e cultivares de trigo. Foram utilizadas sementes de trigo das cultivares: Tbio Sintonia, Tbio Sossego, Tbio Sinuelo, LG Oro, Tbio Toruk e CD 150 (grupo 1) representadas por um lote cada e por cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2). Para a caracterização do potencial fisiológico inicial foram avaliados o teor de água, a germinação, a primeira contagem da germinação e a emergência de plântulas em campo. Após, os lotes de sementes dos grupos 1 e 2 foram submetidos ao teste de envelhecimento acelerado nas seguintes condições de envelhecimento pré-estabelecidas: 41 °C / 48 e 72 h, 43 °C / 40 e 48 h e 45 °C / 24 e 40 h em caixas plásticas, sobre tela, com 40 mL de água destilada, distribuídas em camada única. Foi determinado o teor de água e a germinação das sementes após o envelhecimento. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado para os testes conduzidos em laboratório e blocos casualizados para a emergência de plântulas em campo. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi realizado o teste de correlação simples (r) entre as variáveis analisadas e o teste de emergência de plântulas em campo. O teste de envelhecimento acelerado com as combinações de 41 °C / 72 h e 43 °C / 48 h é eficiente para avaliação do vigor de sementes de lotes e cultivares de trigo. A combinação de 43 °C / 48 h favorece a obtenção dos resultados de maneira mais rápida com economia de 24 h em relação à metodologia recomendada na literatura (41 °C / 72 h).

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L., potencial fisiológico, estresse, deterioração.

## STANDARDIZATION OF THE ACCELERATED AGING TEST FOR WHEAT SEED VIGOR EVALUATION

### ABSTRACT

The accelerated aging test is widely used to assess seed vigor. However, for wheat there is a discrepancy in the literature regarding the factors of temperature and stress exposure period. The study had the objective of evaluating the efficiency of the accelerated aging test, in different combinations of time and temperatures exposure, in the evaluation of seed vigor in wheat lots and cultivars. Wheat seeds of the following cultivars were used: Tbio Sintonia, Tbio Sossego, Tbio Sinuelo, LG Oro, Tbio Toruk and CD 150 (group 1) represented by one lot each, and five lots of the CD 150 cultivar (group 2). To the characterization of the initial physiological potential, the water content, germination, first germination count, and seedling emergence in the field were evaluated. Afterwards, the seed lots of groups 1 and 2 were submitted to the accelerated aging test under the following pre-established aging conditions: 41 °C / 48 and 72 h, 43 °C / 40 and 48 h and 45 °C / 24 and 40 h in plastic boxes, on a screen, with 40 mL of distilled water, distributed in a single layer. The water content and seed germination after the accelerated aging were determined. A completely randomized design was used for the tests carried out in the laboratory and a randomized block design for the emergence of seedlings in the field. Data were subjected to analysis of variance and means compared by Tukey test, at 5% probability. The simple correlation test ( $r$ ) was performed between the analyzed variables and the plant emergence test in the field. The accelerated aging test with the combinations of 41 °C / 72 h and 43 °C / 48 h is efficient for evaluating seed vigor in wheat lots and cultivars. The combination of 43 °C / 48 h favors the obtaining of results faster with savings of 24 h compared to the methodology recommended in the literature (41 °C / 72 h).

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., physiological potential, stress, deterioration.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O trigo é considerado um dos cereais de maior importância para a economia global, com significativa área cultivada, produtividade por área, volume de grãos produzidos e consumidos. No Brasil, o trigo é cultivado desde a região Sul até a região de cerrados, no Brasil Central (CONAB, 2017). É crescente o interesse socioeconômico do país em aumentar a produção do grão, visando reduzir as expressivas importações para atender a demanda nacional (BARBIERI et al., 2013).

A expansão do cultivo e desempenho produtivo de trigo no Brasil está diretamente relacionada ao trabalho do melhoramento genético (MACHADO et al., 2010) e ao uso de práticas culturais eficientes na lavoura (SANTOS et al., 2006). No entanto, todos esses esforços não garantem o sucesso se o desempenho fisiológico das sementes for um fator limitante (LIMA et al., 2006). Dessa forma, empresas produtoras têm trabalhado para a produção de sementes com elevado potencial fisiológico, que favorecem o adequado estabelecimento do estande de plântulas, e plantas com alto desempenho produtivo.

O potencial fisiológico de sementes de trigo é avaliado rotineiramente por meio do teste de germinação, que favorece a expressão do potencial máximo de germinação de um lote, por oferecer condições ótimas de umidade e temperatura necessárias ao crescimento das plântulas. Buscando fornecer informações complementares ao teste de germinação, instituições de pesquisas tem se dedicado ao desenvolvimento de testes que avaliam o vigor das sementes (AOSA, 2009; ISTA, 2019; KRZYZANOWSKI et al., 2020). Estes oferecem informações adicionais, tais como seu potencial de armazenamento com mínima deterioração e de produção de plântulas normais em condições adversas durante a implantação da lavoura (MARCOS-FILHO, 2015).

Entre os testes mais empregados para avaliação do vigor de sementes de diversas espécies está o teste de envelhecimento acelerado (HAMPTON; TEKRONY, 1995). Este teste tem como princípio o aumento da deterioração das sementes em condições de exposição a temperatura e umidade elevados. Assim, sementes de baixa qualidade deterioram-se mais rapidamente que as mais vigorosas, apresentando redução acentuada de sua viabilidade (AOSA, 2018), detectada pelo teste de germinação após a exposição aos estresses.

Vários estudos têm sido conduzidos visando o aperfeiçoamento de

metodologias para a condução desse teste em várias culturas como soja, milho e trigo (HAMPTON; TEKRONY, 1995; DUTRA; VIEIRA, 2004; LIMA et al., 2006; OHLSON et al., 2010; MARCOS-FILHO, 2020). Muitos desses estudos avaliam os fatores que influenciam na padronização e confiabilidade de resultados do teste, como o teor de água inicial das sementes, o genótipo, a umidade, a temperatura, e o período de exposição à condição de estresse na câmara de envelhecimento.

Têm-se verificado na literatura divergências quanto à metodologia empregada para a condução do teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. A metodologia sugerida atualmente no manual de testes de vigor da Associação Oficial dos Analistas de Sementes (AOSA, 2009) recomenda o envelhecimento das sementes a 41 °C durante 72 h. Entretanto, Modarresi et al. (2002) observaram que essa combinação não separou adequadamente os lotes em níveis de vigor, e sugeriram que o teste foi mais eficiente quando realizado a 43 °C ou 45 °C / 72 h, sugerindo investigações futuras a respeito dos resultados obtidos no teste em relação ao desempenho de plântulas no campo.

Utilizando metodologias alternativas, Maia et al. (2007) ao estudarem o efeito do envelhecimento artificial em sementes de trigo com diferentes combinações de temperaturas e períodos de exposição, consideraram que as temperaturas de 41 °C durante 24 e 48 h, e 43 °C por 24 h foram eficientes para avaliação do potencial fisiológico. Utilizando solução saturada de NaCl, Pedroso et al. (2010) e Meriaux et al. (2007), recomendaram as combinações de 42 °C / 96 h e 41°C por 140 h, respectivamente. Entretanto, ambas as combinações requerem longo período para execução.

Lima et al. (2006), assim como Fanan et al. (2006) e Ohlson et al. (2010) sugeriram a combinação de 43 °C e 48 h para avaliar o potencial fisiológico de sementes de trigo, sendo esta considerada mais eficiente por apresentar resultados semelhantes aos do teste de emergência de plântulas em campo.

Com base na literatura citada, é evidente a discrepância entre as metodologias recomendadas para o teste de vigor baseado no envelhecimento acelerado para o trigo, o que pode estar relacionado a fatores como o genótipo. Neste contexto, o estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência do teste de envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de tempo e temperaturas de exposição, na avaliação do vigor de sementes de diferentes lotes e cultivares de trigo.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Fisiologia do Núcleo de Tecnologia de Sementes e Grãos e no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Soja, Londrina/PR (23° 28' 44,72" S, 50° 59' 03, 24"O). Foram utilizadas sementes de trigo das cultivares: 1-Tbio Sintonia, 2-Tbio Sossego, 3-Tbio Sinuelo, 4-LG Oro, 5-Tbio Toruk e 6-CD 150 (grupo 1) representadas por um lote cada e por cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2). Os lotes recebidos foram divididos em quatro repetições por meio do homogeneizador e divisor de amostras *Boerner*, e as sementes foram armazenadas em câmara fria e seca (10 °C, 50-60% de umidade relativa - UR) durante toda a condução do experimento.

Para caracterização inicial do potencial fisiológico das sementes do grupo 1 e 2 foram realizadas as seguintes avaliações:

**Teor de água (TA):** obtido empregando-se o método da estufa a  $105 \pm 3$  °C, por 24 h (BRASIL, 2009) com duas subamostras por repetição, por lote.

**Germinação (G):** conduzida com quatro subamostras de 50 sementes por repetição, por lote. As sementes foram distribuídas em rolos de papel de germinação, tipo "Germitest", umedecidos com volume de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em gabinetes, dentro da câmara de germinação, com temperatura ajustada para 20 °C. As avaliações foram realizadas no quarto (**Primeira Contagem da Germinação**) e oitavo dia após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

**Emergência de plântulas em campo (EPC):** o teste foi conduzido com quatro subamostras de 100 sementes por repetição, por lote. As sementes foram tratadas com fungicida e inseticida (Standak®) e distribuídas manualmente em sulcos de 4 m de comprimento, com 3 cm de profundidade, espaçados de 50 cm entre si. A contagem de plântulas emergidas foi efetuada aos 14 dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas emergidas (NAKAGAWA, 1994). Os dados de temperaturas máxima e mínima, precipitação pluvial e umidade relativa do ar, referentes ao período de avaliação do teste, estão apresentados na Figura 3.1. Devido à ausência de chuva, foram realizadas duas irrigações: no dia da instalação (12 mm) e no terceiro dia após a semeadura (10

mm).

Para a avaliação das metodologias do teste de envelhecimento acelerado foram utilizados os seguintes procedimentos:

**Envelhecimento acelerado (EA):** as sementes foram distribuídas sobre telas de inox, em camada única, colocadas dentro de caixa de plástico (11,0 x 11,0 x 3,5 cm), contendo no fundo 40 mL de água. As caixas, tampadas, foram mantidas em câmara jaquetada de envelhecimento, utilizando-se as seguintes combinações de temperaturas e períodos de exposição: 41 °C / 48 e 72 h, 43 °C / 40 e 48 h e 45 °C / 24 e 40 h, definidas com base nas recomendações disponíveis para trigo na literatura. Após o envelhecimento, quatro subamostras de 50 sementes por repetição, por lote foram submetidas ao teste de germinação, conforme metodologia já descrita, com avaliação no quarto dia após a instalação do teste. Foi determinado também, o teor de água das sementes pelo método de estufa (BRASIL, 2009) antes e após o período de envelhecimento para verificar a qualidade de condução do teste quanto à taxa de embebição e de deterioração das sementes (MARCOS-FILHO, 2020).

Para os testes realizados em laboratório, a análise estatística foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Para o teste de emergência de plântulas em campo foi adotado o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. O grupo 1 (seis cultivares) foi analisado separadamente do grupo 2 (cinco lotes da cultivar CD 150) em cada análise, para isolar e avaliar um possível efeito genético. Para todos os testes foi realizada análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Foi realizada análise de correlação simples de Pearson (r) com os dados obtidos em laboratório e a emergência de plântulas em campo por meio do software BioEstat 5.0. Para os dados do teor de água inicial e após envelhecimento não foi realizada análise estatística.

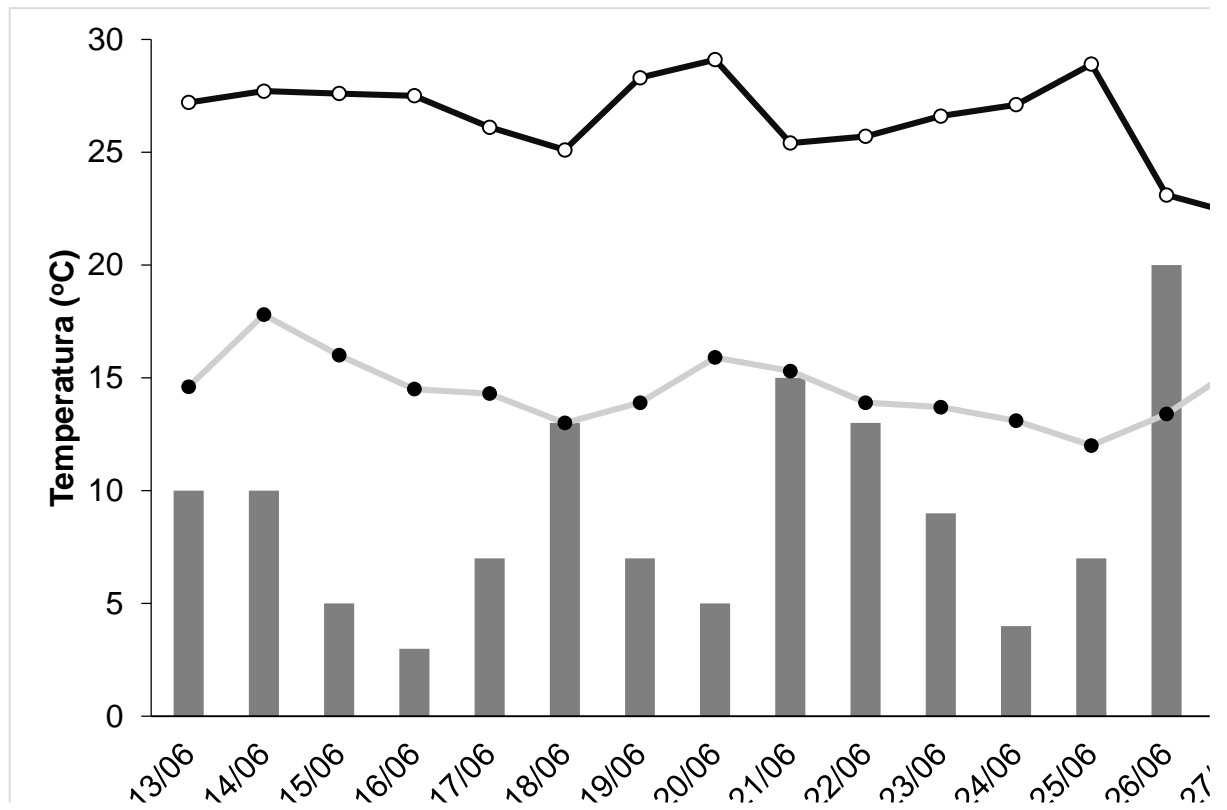


Figura 3.1. Temperaturas máxima e mínima e umidade relativa do ar observadas no período de 13 a 27 de junho de 2019, em Londrina, PR, durante condução do teste de emergência de plântulas de trigo em campo.

### 3. 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes ao teor de água inicial (TAI) das sementes foram semelhantes para os lotes das seis cultivares (grupo 1) e para os cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2), variando de 10,0 a 11,4% e de 10,1 a 11,1% de umidade, respectivamente (Tabelas 3.1 e 3.2). A variação de até 2,0 pontos percentuais entre as amostras é um importante aspecto de controle de qualidade a ser considerado anteriormente à avaliação do teste de envelhecimento acelerado, uma vez que as sementes mais úmidas são mais sensíveis às condições de estresse do teste e deterioram mais intensamente (MARCOS-FILHO, 2015b). As variações dos dados médios do teor de água após os períodos de envelhecimento das sementes dos grupos 1 e 2 (Tabelas 3.1 e 3.2) também não excederam 2,0 pontos percentuais, indicando uniformidade na condução dos procedimentos do teste, como preconizado por Marcos-Filho (2020).

Tabela 3.1. Teores de água iniciais (TAI %) e após os períodos de envelhecimento acelerado de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Cultivar	TAI	41 °C		43 °C		45 °C	
		48 h	72 h	40 h	48 h	24 h	40 h
1-Tbio Sintonia	11,0	27,4	28,7	27,0	28,7	24,5	28,2
2-Tbio Sossego	10,6	27,9	29,3	27,5	28,9	25,6	27,7
3-Tbio Sinuelo	10,0	27,2	29,1	26,1	27,2	24,3	26,7
4-LG Oro	11,4	28,6	28,8	28,1	29,3	25,9	28,6
5-Tbio Toruk	11,2	28,4	29,3	27,2	28,9	25,0	26,5
6-CD 150	10,2	26,6	28,1	26,9	27,3	24,3	28,7

Tabela 3.2. Teores de água iniciais (TAI %) e após os períodos de envelhecimento acelerado de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Lote	TAI	41 °C		43 °C		45 °C	
		48 h	72 h	40 h	48 h	24 h	40 h
1	10,2	26,5	28,1	26,9	27,3	24,3	28,3
2	10,1	26,7	28,2	25,7	27,2	23,1	26,4
3	11,1	26,8	28,3	26,3	29,2	24,0	27,7
4	10,4	26,5	28,5	26,3	28,3	25,0	26,7
5	10,9	26,8	27,4	26,6	27,9	24,0	27,8

Por meio do resumo da análise de variância observa-se que houve diferença estatística significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre os lotes das cultivares do grupo 1 nos testes de caracterização da qualidade inicial (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Resumo da análise de variância das variáveis: germinação (G), primeira contagem de germinação (PC) e emergência de plântulas em campo (EPC) de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Fonte de Variação	Quadrados Médios		
	GL	G	PC
Cultivar	5	14,34	239,58
Erro	18	1,90	4,76
Teste F <sup>(Cal)</sup>	-	7,54**	50,29**
		EPC	Teste F <sup>(Cal)</sup>
Cultivar	5	141,07	26,12**
Bloco	3	3,83	0,71 <sup>ns</sup>
Erro	15	5,40	-

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; <sup>ns</sup> não significativo.

A caracterização da qualidade fisiológica inicial dos lotes pode ser observada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Valores médios de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC) e emergência de plântulas em campo (EPC) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Cultivar	G	PC	EPC
	-----%-----		
1-Tbio Sintonia	88 b*	66 c	76 d
2-Tbio Sossego	92 a	85 a	84 bc
3-Tbio Sinuelo	92 a	86 a	87 ab
4-LG Oro	91 a	81 b	79 cd
5-Tbio Toruk	93 a	86 a	90 a
6-CD 150	93 a	86 a	91 a
C.V.(%)	1,51	2,68	2,75

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

O teste de germinação (G) indicou o lote da cultivar 1 como de qualidade inferior e os lotes das demais cultivares como de qualidade superior (Tabela 3.4). A primeira contagem do teste de germinação (PC) permitiu a classificação dos lotes das cultivares em três níveis de vigor, e indicou o lote da cultivar 1 de menor vigor, o lote da cultivar 4 de vigor intermediário e os demais lotes (cultivares 2, 3, 5 e 6) de alto vigor. A emergência de plântulas em campo (EPC) classificou os lotes das cultivares 1 e 4 de menor vigor, 2 e 3 de vigor intermediário e 5 e 6 de alto vigor.

Os quadrados médios referentes à análise de variância dos lotes do grupo 2 estão apresentados na Tabela 3.5. Houve diferença estatística significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre os lotes da cultivar CD 150 nos testes de caracterização da qualidade fisiológica inicial.

Tabela 3.5. Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem de germinação (PC) e emergência de plântulas em campo (EPC) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Fonte de Variação	Quadrados Médios		
	GL	G	PC
Lote	4	57,43	1754,63
Erro	15	5,68	7,10
Teste F <sup>(Cal)</sup>	-	10,10**	247,13**
		EPC	Teste F <sup>(Cal)</sup>
Lote	4	158,55	19,45**
Bloco	3	3,73	0,46 <sup>ns</sup>
Erro	12	8,15	-

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; <sup>ns</sup> não significativo.

A caracterização da qualidade fisiológica inicial dos lotes pode ser observada na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Valores médios de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC) e emergência de plântulas em campo (EPC) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Lote	G	PC	EPC
	-----%		
1	93 a*	86 a	91 a
2	95 a	86 a	92 a
3	86 b	51 b	79 b
4	88 b	43 c	79 b
5	94 a	82 a	87 a
C.V.(%)	2,62	3,83	3,33

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

O teste de germinação (G) classificou os lotes 3 e 4 de menor qualidade e os lotes 1, 2 e 5 de maior qualidade (Tabela 3.6). A primeira contagem da germinação (PC) diferenciou os lotes em três níveis de vigor, e indicou o lote 4 de menor vigor, o lote 3 de vigor intermediário e os lotes 1, 2 e 5 de alto vigor. A emergência de plântulas em campo (EPC) classificou os lotes 3 e 4 de baixo vigor e os lotes 1, 2 e 5 de alto vigor.

As variações testadas na combinação de tempos e temperaturas para a metodologia do teste de envelhecimento acelerado foram estatisticamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) para avaliação do vigor das cultivares de trigo (Tabela 3.7).

Tabela 3.7. Resumo da análise de variância do teste de envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de temperaturas e tempos de exposição, de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Fonte de Variação	G	Quadrados Médios					
		41 °C 48h	41 °C 72h	43 °C 40h	43 °C 48h	45 °C 24h	45 °C 40h
Cultivares	5	262,54	1533,34	75,47	566,44	258,34	643,44
Erro	18	3,90	5,24	5,00	5,15	2,13	2,93
Teste F (Cal)	-	67,27**	292,84**	15,09**	109,93**	121,57**	219,56**

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Os dados médios do percentual de plântulas normais obtidas após a

exposição das sementes das cultivares (grupo 1) às combinações de tempos e temperaturas de envelhecimento estão apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8. Valores médios da porcentagem de plântulas normais obtidos após envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de temperaturas e tempos de exposição, de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Cultivar	41 °C		43 °C		45 °C	
	48 h	72 h	40 h	48 h	24 h	40 h
1-Tbio Sintonia	65 c*	14 d	75 c	55 d	68 b	57 c
2-Tbio Sossego	82 b	55 b	86 a	77 b	85 a	78 b
3-Tbio Sinuelo	84 ab	57 ab	85 ab	82 a	84 a	78 b
4-LG Oro	82 b	31 c	80 b	67 c	70 b	56 c
5-Tbio Toruk	87 a	60 a	86 a	85 a	85 a	82 a
6-CD 150	87 a	62 a	84 ab	85 a	85 a	85 a
C.V.(%)	2,44	4,94	2,72	3,02	1,84	2,36

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Observa-se que as combinações de 41 °C / 72 h e 43 °C / 48 h separaram os lotes das cultivares em quatro níveis de vigor, e classificaram de forma semelhante o lote da cultivar 1 como de baixo vigor, seguido do lote da cultivar 4. Os lotes 3, 5 e 6 foram classificados como de alto vigor e o lote da cultivar 2 de vigor intermediário. No entanto, nota-se elevada redução na porcentagem de plântulas germinadas no período de 72 h. Esta observação é semelhante aos resultados encontrados por Ohlson et al. (2010) utilizando a mesma combinação de temperatura e período de envelhecimento em sementes de duas cultivares de trigo. As combinações de 41 °C / 48 h, 43 °C / 40 h e 45 °C / 40 h estratificaram os lotes das cultivares em três classes de vigor, e indicaram os lotes das cultivares 1 e 4 de menor vigor, 5 e 6 de alto vigor e 2 e 3 de vigor intermediário.

A combinação de 45 °C / 24 h foi menos rigorosa em diferenciar os lotes das cultivares do grupo 1 em níveis de vigor, no entanto, indicou os lotes das cultivares 1 e 4 de menor vigor e os demais de alto vigor. Os lotes das cultivares 1 e 4 foram classificados de baixo vigor em todas as combinações avaliadas, assim como observado nos testes de primeira contagem da germinação e emergência de plântulas em campo (Tabela 3.4).

Houve diferença estatística significativa ( $p \leq 0,01$ ) para as combinações de períodos e temperaturas no teste de envelhecimento acelerado

para os lotes da cultivar CD 150 (grupo 2) (Tabela 3.9).

Tabela 3.9. Resumo da análise de variância das variáveis do teste de envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de temperaturas e tempos de exposição, de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Fonte de Variação	G L	Quadrados Médios					
		41 °C 48h	41 °C 72h	43 °C 40h	43 °C 48h	45 °C 24h	45 °C 40h
Lote	4	994,93	1104,93	592,45	1307,70	457,68	1603,00
Erro	15	5,02	6,22	6,53	4,87	1,70	4,65
Teste F (Cal)	-	198,32**	177,74**	90,68**	268,71**	269,22**	344,73**

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Os dados médios do percentual de plântulas normais obtidas após a exposição das sementes das cultivares (grupo 2) às combinações de tempos e temperaturas de envelhecimento estão apresentados na Tabela 3.10.

Tabela 3.10. Valores médios da porcentagem de plântulas normais obtidos após envelhecimento acelerado, em diferentes combinações de temperaturas e tempos de exposição, de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Lote	41 °C		43 °C		45 °C	
	48 h	72 h	40 h	48 h	24 h	40 h
1	87 a*	62 a	84 a	85 a	85 a	85 a
2	86 a	62 a	87 a	83 a	85 a	85 a
3	51 c	33 b	58 c	42 d	60 c	36 d
4	70 b	30 b	80 b	60 c	80 b	68 c
5	87 a	62 a	87 a	75 b	84 a	75 b
C.V.(%)	2,95	5,03	3,24	3,20	1,66	3,09

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Com a combinação da temperatura de 43 °C no período de 48 h e 45 °C por 40 h verificou-se a classificação dos lotes em quatro níveis de vigor. Os lotes 1 e 2 apresentaram vigor superior, o lote 5 intermediário, e os lotes 3 e 4 vigor inferior. As combinações de 41 °C / 48 h, 43 °C / 40 h e 45 °C / 24 h classificaram os

lotes em três níveis de vigor, indicando os lotes 1, 2 e 5 de alto vigor, o lote 4 de vigor médio e o lote 3 de baixo vigor. Na combinação de 41 °C / 72 h foi observada superioridade no vigor dos lotes 1, 2 e 5 e inferior para os lotes 3 e 4 e, assim como no grupo 1, nota-se redução do percentual de plântulas normais germinadas com o maior tempo de exposição.

Na Tabela 3.11 são apresentados os resultados de correlação linear entre o teste de emergência de plântulas em campo com as variáveis germinação, primeira contagem da germinação e metodologias testadas no teste de envelhecimento acelerado.

Tabela 3.11. Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) estimados entre o teste de emergência de plântulas em campo e as variáveis germinação, primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado de sementes de trigo de seis cultivares (grupo 1) e cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2).

Variáveis	Emergência de Plântulas em Campo	
	Grupo 1	Grupo 2
Germinação	0,91*	0,93*
Primeira Contagem de Germinação	0,83*	0,97**
Envelhecimento Acelerado 41 °C / 48 h	0,84*	0,86 <sup>ns</sup>
Envelhecimento Acelerado 41 °C / 72 h	0,95**	0,95*
Envelhecimento Acelerado 43 °C / 40 h	0,84*	0,72 <sup>ns</sup>
Envelhecimento Acelerado 43 °C / 48 h	0,97**	0,93*
Envelhecimento Acelerado 45 °C / 24 h	0,91*	0,78 <sup>ns</sup>
Envelhecimento Acelerado 45 °C / 40 h	0,94*	0,83 <sup>ns</sup>

\*\* significativo a 1% de probabilidade, pelo test t; \* significativo a 5% de probabilidade, pelo test t; <sup>ns</sup> não significativo.

Observa-se correlação linear positiva entre a emergência de plântulas em campo e os testes de germinação e primeira contagem para as cultivares do grupo 1 e os lotes do grupo 2 (Tabela 3.11).

Para os lotes das cultivares do grupo 1 houve correlação linear positiva entre a emergência de plântulas em campo e todas as combinações do teste de envelhecimento acelerado testadas (Tabela 3.11). Enquanto, para os lotes do grupo 2, apenas as combinações de 41 °C / 72 h e 43 °C / 48 h apresentaram correlação significativa ( $p \leq 0,05$ ), com  $r = 0,95$  e  $0,93$ , respectivamente. Embora as

demais combinações (41 °C / 48 h, 43 °C / 40 h, 45 °C / 24 h e 45 °C / 40 h) não tenham sido correlacionadas à emergência, vale ressaltar que estas apresentaram correlações fortes e valores elevados mesmo quando não foram significativos. Dentre as combinações avaliadas, o resultado do teste do teste de envelhecimento acelerado a 43 °C / 48 h foi significativo a 1% de probabilidade com o maior valor de  $r$  ( $r = 0,97$ ) para o grupo 1, correspondendo maior fidelidade aos resultados observados para a emergência de plântulas em campo. Da mesma forma, Lima et al. (2006), Fanan et al. (2006) e Ohlson et al. (2010) encontraram altas correlações entre os resultados do teste de envelhecimento acelerado e de emergência de plântulas em campo utilizando a combinação de 43 °C / 48 h para sementes de trigo.

Apesar de apresentar correlação com a emergência de plântulas em campo, a combinação de 41 °C / 72 h como recomendada pela Associação Oficial dos Analistas de Sementes (AOSA, 2009) foi menos eficiente em diferenciar os lotes da cultivar CD 150 (grupo 2) em níveis de vigor (Tabela 3.10) em relação à combinação de 43 °C / 48 h. Além disso, nota-se a redução do percentual de germinação de plântulas normais em ambos os grupos de forma mais drástica em relação às demais combinações (Tabelas 3.8 e 3.10). Modarresi et al. (2002) observaram que essa combinação não foi eficiente em separar três lotes de sementes de trigo vermelho mole de inverno em níveis de vigor. Da mesma forma, Ransom and Sebesta (2008), concluíram que a combinação de 41 °C / 72 h para o envelhecimento de sementes de trigo vermelho duro de primavera e durum não foi um bom preditor da emergência de plântulas em campo.

Os resultados desta pesquisa apontam que combinações de período e temperatura no teste de envelhecimento acelerado podem influenciar no comportamento germinativo das sementes, principalmente as de menor vigor, assim como, observa-se que diferentes cultivares podem reagir de maneiras distintas. Os grupos 1 e 2 apresentaram comportamento semelhante nas combinações de 41 °C / 72 h e 43 °C / 48 h, indicando que os diferentes genótipos foram avaliados adequadamente por essas combinações e que estes não influenciaram nos resultados do teste. Esse é um importante fator a ser levado em consideração na recomendação de um teste de vigor, sendo que este deve ser recomendado para uma espécie e não apenas para uma cultivar.

Destaca-se que, de modo geral, a metodologia recomendada para a condução do teste de envelhecimento acelerado (41 °C / 72 h) influenciou na

redução do percentual germinativo das sementes. Fato que possivelmente esteja relacionado ao tamanho das sementes e período em que estas ficaram expostas à alta umidade relativa do ar (100%). Dessa forma, os resultados encontrados nesta pesquisa sugerem que as recomendações oficiais podem ser ajustadas, por meio da combinação da temperatura de 43 °C pelo período de 48 h, a qual favorece a obtenção mais rápida dos resultados, com economia de 24 h. Dessa forma, empresas produtoras de sementes de trigo podem ser beneficiadas pela obtenção de resultados com menor tempo de execução.

### 3.4 CONCLUSÕES

O teste de envelhecimento acelerado com as combinações de 41 °C / 72 h e 43 °C / 48 h são eficientes para avaliação do vigor de sementes de lotes e cultivares de trigo.

A combinação de 43 °C / 48 h favorece a obtenção dos resultados de maneira mais rápida com economia de 24 horas em relação à metodologia recomendada na literatura (41 °C / 72 h).

### 3.5 REFERÊNCIAS

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Seed Vigor Testing Handbook**. Contribution No. 32, Handbook on seed testing, AOSA, Washington, DC, USA, 2009.

AOSA - Association of Official Seed Analysts **Rules for testing seeds**. AOSA, Washington, DC, USA, 2018.

BARBIERI, A.P.P.; MARTIN, T.N.; MERTZ, L.M.; NUNES, U.R.; CONCEIÇÃO, G.M. Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 724-731, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do trigo**. 2017. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17\\_04\\_25\\_11\\_40\\_00\\_a\\_cultura\\_do\\_trigo\\_o\\_versao\\_digital\\_final.pdf](https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_o_versao_digital_final.pdf)>. Acesso em: 19 ago. 2019.

DUTRA, A.S.; VIEIRA, R.D. Envelhecimento acelerado como teste de vigor para sementes de milho e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, 2004.

FANAN, S.; MEDINA, P.F.; LIMA, T.C.; MARCOS-FILHO, J.M. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerado e de frio. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 152-158, 2006.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

HAMPTON, J.G.; TEKRONY, D.M. **Handbook of vigour test methods**. Zurich: ISTA. 3.ed. 1995. 117p.

ISTA - International Seed Testing Association. **International Rules for Seed Testing**. Edition 2019. ISTA, Bassersdorf, Switzerland, 2019, 300p.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; MARCOS-FILHO, J.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. 601p.

LIMA, T.C.; MEDINA, P.F.; FANAN, S. Avaliação do vigor de trigo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 106-113, 2006.

MACHADO, J.C.; SOUZA, M.A.; OLIVEIRA, D.M. CARGNIN, A.; PIMENTEL, A.J.B.; ASSIS, J. C. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 9-15, 2010.

MAIA, A.R.; LOPES, J.C.; TEIXEIRA, C.O. Efeito do envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**,

v. 31, n. 3, p. 678-684, 2007.

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

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C., VIEIRA, R.D., FRANÇA NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. (Ed.). **Vigor de sementes: Conceitos e Testes**. Londrina: ABRATES, 2020. cap. 4, p. 185-237.

MERIAUX, B.; WAGNER, M.H.; DUCOURNAU, S.; LADONNE, F.; FOUGEREUX, J.A. Using sodium chloride saturated solution to standardize accelerated aging test for wheat seeds. **Seed Science and Technology**, v. 35, p. 722-733, 2007.

MODARRESI, R.; RUCKER, M.; TEKRONY, D.M. Accelerating aging test for comparing wheat seed vigor. **Seed Science and Technology**, v. 30, p. 683-687, 2002.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N.M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.48-85.

OHLSON, O.C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; CAIEIRO, J.T.; PANOBIANCO, M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 118-124, 2010.

PEDROSO, D.C.; TUNES, L.M.; BARBIERI, A.P.P.; BARROS, A.C.S.A.; MUNIZ, M.F.B.M.; MENEZES, V.O. Envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2389-2392, 2010.

RANSOM, J.K.; SEBESTA, S. Accelerated aging test as a predictor of seed performance in wheat. **Seed Technology**, v. 30, n. 1, p. 17-25, 2008.

SANTOS, H.P.S.; LHAMBY, J.C.B.; SPERA, S.T.; ÁVILA, A. Efeito de práticas culturais sobre o rendimento e outras características agronômicas de trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 669-677, 2006.

#### 4 ARTIGO B - PADRONIZAÇÃO DO TESTE DE FRIO PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE TRIGO

##### RESUMO

O teste de frio, amplamente utilizado para avaliar o vigor de sementes de várias espécies, ainda é pouco estudado em trigo, carecendo de padronização e validação metodológica. O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de verificar a eficiência de diferentes metodologias do teste de frio na avaliação do vigor de sementes de trigo. Foram utilizadas sementes de trigo das cultivares: Tbio Sintonia, Tbio Sossego, Tbio Sinuelo, LG Oro, Tbio Toruk e CD 150 (grupo 1) representadas por um lote cada e por cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2), diferenciados quanto a qualidade fisiológica. A caracterização da qualidade fisiológica inicial dos lotes foi avaliada por meio dos testes de germinação, primeira contagem da germinação, emergência e índice de velocidade de emergência de plântulas em areia e emergência de plântulas em condições de campo. O teste de frio foi realizado nas temperaturas de 3 e 5 °C durante 7 dias, utilizando os métodos de semeadura em solo, em rolo de papel com solo e rolo de papel sem solo. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado para os testes conduzidos em laboratório e em casa de vegetação e blocos casualizados para a emergência de plântulas em campo. Adotou-se o esquema fatorial para as variações do teste de frio e os dados foram submetidos à análise de variância com as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi realizado o teste de correlação simples ( $r$ ) entre as variáveis analisadas e o teste de emergência de plântulas em campo. O procedimento do teste de frio com solo a 3 °C proporcionou a melhor estratificação dos lotes e cultivares de trigo em função do vigor das sementes, com maiores correlações com a emergência de plântulas em campo.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L., qualidade de sementes, baixa temperatura, potencial fisiológico, estresse térmico.

## STANDARDIZATION OF THE COLD TEST FOR EVALUATION OF WHEAT SEED VIGOR

### ABSTRACT

The cold test, widely used to assess the vigor of seeds of various species, is still poorly studied in wheat, lacking standardization, and methodological validation. The work was developed with the objective of verifying the efficiency of different methodologies of the cold test in the evaluation of wheat seed vigor. Wheat seeds of the following cultivars were used: Tbio Sintonia, Tbio Sossego, Tbio Sinuelo, LG Oro, Tbio Toruk, and CD 150 (group 1) represented by one lot each, and five lots of the CD 150 cultivar (group 2), differentiated in terms of physiological quality. The characterization of the initial physiological quality of the lots was evaluated by tests of germination, first germination count, emergence, and seedling emergence velocity index in sand and plant emergence under field conditions. The cold test was carried out at temperatures of 3 and 5 °C for 7 days, using the methods of seeding in soil, in a roll of paper with soil and a roll of paper without soil. A completely randomized design was used for the tests carried out in the laboratory and greenhouse, and a randomized block design for the emergence of seedlings in the field. A factorial scheme was adopted for the variations of the cold test and the data were submitted to analysis of variance with means compared by Tukey test, at 5% probability. The simple correlation test ( $r$ ) was performed between the analyzed variables and the plant emergence test in the field. The cold test procedure with soil at 3 °C provided the best stratification of wheat lots and cultivars as a function of seed vigor, with greater correlations with seedling emergence in the field.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., seed quality, low temperature, physiological potential, heat stress.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O trigo é um dos principais cereais produzidos no Brasil, com concentração de cultivo na região sul do país na estação fria. O desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições de clima e solo tem favorecido a expansão da cultura em área, o aumento da produtividade e da produção do grão em diversas regiões do país. Projeções para os próximos dez anos indicam um aumento da produção de 31,6%, por meio de estímulos pelos preços ofertados ao produtor (MAPA, 2019) e dos benefícios indiretos da cultura nos sistemas de produção. Entretanto, mesmo com este cenário, o Brasil é um dos principais importadores do cereal. Diversos fatores de produção, como a rentabilidade, as práticas culturais, e a qualidade das sementes restringem o aumento da produtividade e produção nacional do grão.

Parte do sucesso da produção de trigo está ligada ao uso de sementes com alto potencial fisiológico, o que resulta em plantas de alto vigor no campo, estande uniforme e, conseqüentemente, a obtenção de um alicerce para maiores produtividades (BRUNES et al., 2016). O potencial fisiológico das sementes é avaliado rotineiramente por meio da germinação e do vigor. No entanto, para o trigo é importante ampliar opções de testes para avaliar o vigor de suas sementes.

Um dos testes que têm se mostrado eficiente na avaliação do vigor de sementes é o teste de frio. Este é amplamente utilizado em laboratórios nos Estados Unidos para a determinação do vigor de sementes de milho, avaliando a capacidade das sementes germinarem quando expostas em solos com baixa temperatura e alta umidade e à ocorrência de fungos (CICERO et al., 1994; AOSA, 2009; CICERO; VIEIRA, 2020). Desta forma, o teste de frio é considerado um teste de resistência, pois as sementes que conseguirem sobreviver nessas condições adversas durante a fase de embebição e posteriormente germinarem, e as plântulas emergirem em condições adequadas de temperatura de 20 °C são consideradas de alto potencial fisiológico.

Pesquisas com variadas metodologias têm demonstrado a sensibilidade do teste de frio em detectar diferenças de vigor em sementes de várias espécies, como trigo (HAMPTON, 1981), feijão (MIGUEL; CICERO, 1999), milho (CASEIRO; MARCOS-FILHO, 2000; 2002), algodão (MIGUEL et al., 2001), abóbora (CASAROLI et al., 2006) e cevada (SAMARAH; AL-KOFAHI, 2008). No entanto, os

estudos têm se concentrado na avaliação de sementes de milho, devido a necessidade de estimar o potencial fisiológico de sementes que são, geralmente, semeadas em períodos frios e com alta umidade do solo, como ocorre na América do Norte e na Europa (AOSA, 2009). Partindo desse princípio, o teste de frio é considerado um teste potencial para ser estudado para sementes de trigo no Brasil, pois a semeadura é realizada entre o outono e o inverno (CASTRO et al., 2018), época em que o solo pode apresentar baixa temperatura e alta umidade, porém poucas informações são encontradas na literatura.

Entre os métodos empregados para condução do teste de frio, são descritos no manual publicado pela Associação Oficial de Analistas de Sementes - AOSA (AOSA, 2009) os seguintes: rolo de papel com solo, caixas com solo e bandejas com solo, sendo este último o mais utilizado para sementes de milho na América do Norte. Em função das dificuldades para a padronização das metodologias em que o substrato inclui solo, o método que utiliza apenas rolo de papel, também está descrito entre os testes de vigor apresentados no manual elaborado pela Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes - ABRATES (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

De maneira comum, todos os métodos procuram avaliar a resposta de amostras de sementes submetidas à fatores adversos de baixa temperatura e alta umidade do substrato, e no caso da utilização do solo, também de agentes patogênicos (MARCOS-FILHO, 2015). No entanto, grande parte dos trabalhos realizados em outras culturas utilizam os mesmos procedimentos recomendados para milho, em que as sementes semeadas em solo ficam incubadas a 10 °C durante sete dias antes da germinação, que é conduzida a 25 °C (FANAN et al., 2006). Neste contexto, deve-se considerar que a temperatura basal e a temperatura ótima para as espécies de verão como o milho, e de inverno, como o trigo são diferentes, exigindo adaptação nos procedimentos para as espécies específicas.

De acordo com Marcos-Filho (2015), a inabilidade do teste de frio em detectar, com precisão, diferenças de vigor entre alguns lotes de sementes ou para determinadas espécies talvez possa ser atribuída ao uso de temperaturas inadequadas, pois, geralmente, tem sido recomendada sempre a mesma temperatura para todas as espécies. Dessa forma, uma maneira de tornar o teste mais aplicável e padronizado a um número maior de espécies, seria estabelecer temperaturas específicas para espécies e até cultivares.

Hampton (1981) concluiu que o teste de frio utilizando o método do rolo de papel com incubação a 5 °C por 7 dias, seguido de 4 dias a 20 °C foi eficiente na avaliação do vigor de sementes de trigo de diferentes cultivares. Por outro lado, Fanan et al. (2006), avaliando o teste de frio em bandeja com solo e rolo de papel, de acordo com os mesmos procedimentos recomendados para sementes de milho, não encontraram sensibilidade dos métodos em separar lotes de duas cultivares de trigo em níveis de vigor, provavelmente devido à temperatura mínima de germinação do trigo (3 a 5 °C) ser menor que a do milho (8 a 10 °C) (POPINIGIS, 1985).

Considerando que o trigo possui capacidade de germinar em baixas temperaturas são necessárias mais informações sobre a aplicabilidade do teste de frio para essa cultura. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo verificar a eficiência de diferentes metodologias do teste de frio na avaliação do vigor de sementes de lotes e cultivares de trigo.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Fisiologia do Núcleo de Tecnologia de Sementes e Grãos e no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Soja, Londrina/PR. Foram utilizadas sementes de trigo das cultivares: 1-Tbio Sintonia, 2-Tbio Sossego, 3-Tbio Sinuelo, 4-LG Oro, 5-Tbio Toruk e 6-CD 150 (grupo 1) representadas por um lote cada e por cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2). Os lotes recebidos foram divididos em quatro repetições por meio do homogeneizador e divisor de amostras *Boerner*, e as sementes foram armazenadas em câmara fria e seca (10 °C, 50-60% de umidade relativa - UR) durante toda a condução do experimento.

Para caracterização inicial do potencial fisiológico das sementes do grupo 1 e 2 foram realizadas as seguintes avaliações:

**Teor de água (TA):** foi obtido empregando-se o método da estufa a  $105 \pm 3$  °C, por 24 h (BRASIL, 2009) com duas subamostras por repetição, por lote.

**Germinação (G):** conduzida com quatro subamostras de 50 sementes por repetição, por lote. As sementes foram distribuídas em rolos de papel de germinação, tipo "Germitest", umedecidos com volume de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em gabinetes, dentro da câmara de germinação, com temperatura ajustada para 20 °C. As avaliações foram realizadas no quarto (**Primeira Contagem da Germinação**) e oitavo dia após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

**Emergência de plântulas em areia (EPA):** foram utilizadas quatro subamostras de 50 sementes por repetição, por lote, distribuídas na superfície de uma camada de 5 cm de areia colocada em caixas de plástico. Após a semeadura foi feita a cobertura com uma camada de 2 cm de areia. As caixas permaneceram em casa de vegetação e a umidade mantida com irrigações de acordo com a necessidade. No décimo quinto dia após a semeadura contabilizou-se o número de plântulas emergidas, e os resultados foram expressos em porcentagem.

**Índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE):** foi realizado juntamente com o teste de emergência de plântulas em areia por meio de contagens diárias do número de plântulas normais emergidas até a estabilização, segundo a fórmula proposta por Maguire (1962).

**Emergência de plântulas em campo (EPC):** o teste foi conduzido com quatro subamostras de 100 sementes por repetição, por lote. As sementes foram tratadas com fungicida e inseticida (Standak®) e distribuídas manualmente em sulcos de 4 m de comprimento, com 3 cm de profundidade, espaçados de 50 cm entre si. A contagem de plântulas emergidas foi efetuada aos 14 dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas emergidas (NAKAGAWA, 1994). Os dados de temperaturas máxima e mínima, precipitação pluvial e umidade relativa do ar, referentes ao período de avaliação do teste, estão apresentados na Figura 4.1. Devido a ausência de chuva, foram realizadas duas irrigações: no dia da instalação (12 mm) e no terceiro dia após a semeadura (10 mm).

Para o teste de frio foram utilizados os procedimentos descritos a seguir:

**Teste de frio com solo (TFS):** foram utilizadas caixas plásticas (26,5 x 16x 9,5 cm) com aproximadamente 3000 g da mistura areia (textura média) e solo (proveniente de área cultivada) na proporção de 2:1 (2 partes de areia para 1 parte de solo), sobre os quais foram distribuídas 100 sementes por repetição, por lote, as quais foram cobertas com 1000 g da mesma mistura. As caixas foram irrigadas com base no ajuste da disponibilidade de água do substrato para 70% da capacidade de retenção de água (BARROS et al., 1999). Estas foram tampadas e em seguida, colocadas em câmara previamente regulada a 3 e 5 °C, onde permaneceram por 7 dias. Após esse período, as caixas foram destampadas e transferidas para ambiente com temperatura de 20 °C, por quatro dias, período no qual as caixas não foram umedecidas novamente. A avaliação foi realizada considerando-se somente as plântulas normais emergidas, com resultados expressos em porcentagem.

**Teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS):** para este método foram utilizadas quatro subamostras de 50 sementes por repetição por lote, as quais foram distribuídas em rolos de papel de germinação umedecidos com volume de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. As sementes foram totalmente cobertas com aproximadamente 40 g de solo (sem mistura de areia) por rolo. Após, os rolos foram colocados em caixas plásticas com tampa, e estas mantidas em câmaras ajustadas a 3 e 5 °C durante 7 dias. Após este período, as caixas foram transferidas para sala de germinação a 20 °C. As avaliações foram

realizadas em uma única contagem no quarto dia após a transferência e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

**Teste de frio em rolo de papel (TFP):** para condução deste método foi utilizado o procedimento descrito por Barros et al. (1999). Quatro subamostras de 50 sementes por repetição, por lote foram distribuídas em rolos de papel de germinação umedecidos com volume de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram colocados em caixas plásticas com tampa, e estas mantidas em câmaras ajustadas a 3 e 5 °C durante 7 dias. Após este período, as caixas foram transferidas para sala de germinação a 20 °C. As avaliações foram realizadas no quarto dia após a transferência e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Foi empregado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições para os testes realizados em laboratório e em casa de vegetação, e para o teste de emergência de plântulas em campo foi adotado o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. A análise estatística foi realizada separadamente para o grupo 1 (seis cultivares) e o grupo 2 (cinco lotes da cultivar CD 150) em todas as análises. Para cada metodologia do teste de frio foi adotado o esquema fatorial 6 x 2 (6 cultivares e 2 temperaturas) para o grupo 1 e esquema fatorial 5 x 2 (5 lotes e 2 temperaturas) para o grupo 2. Para todos os testes foi realizada análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Foi realizada análise de correlação simples de Pearson (r) dos dados das avaliações realizadas em laboratório com a emergência de plântulas em campo por meio do software BioEstat 5.0.

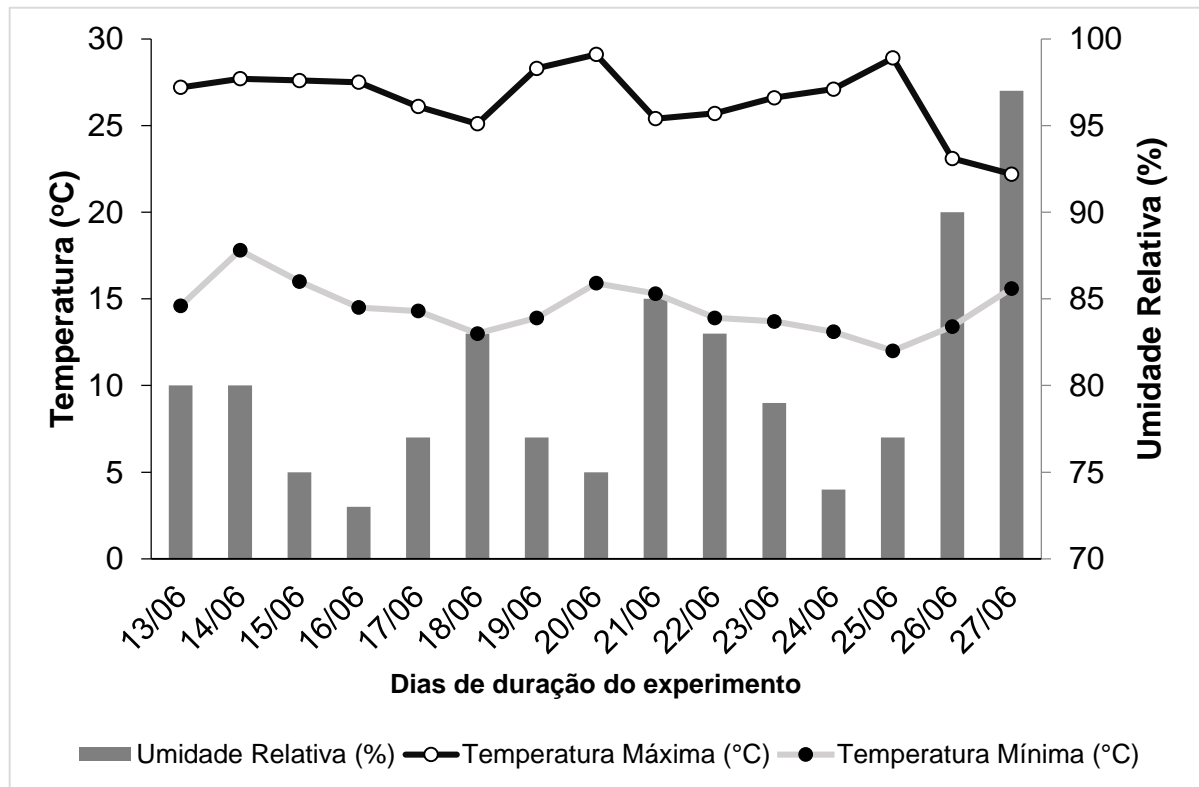


Figura 4.1. Temperaturas máxima e mínima e umidade relativa do ar observadas no período de 13 a 27 de junho de 2019, em Londrina, PR, durante condução do teste de emergência de plântulas de trigo em campo.

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de variância indicou diferenças significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre os lotes das diferentes cultivares, grupo 1, nos testes de caracterização da qualidade inicial (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em areia (EPA) e em campo (EPC), e índice de velocidade de emergência (IVE) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Fonte de Variação	Quadrados Médios				
	GL	G	PC	EPA	IVE
Cultivares	5	16,44	213,57	20,60	19,04
Erro	18	1,49	1,75	1,39	2,43
Teste F <sup>(Cal)</sup>	-	11,06**	122,04**	14,83**	7,83**
		GL	EPC	Teste F <sup>(Cal)</sup>	
Cultivares		5	141,07	26,12**	
Bloco		3	3,83	0,71 <sup>ns</sup>	
Erro		15	5,40	-	

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; <sup>ns</sup> não significativo.

Na Tabela 4.2 estão apresentados os resultados dos testes de desempenho fisiológico dos lotes das seis cultivares de trigo avaliadas.

Tabela 4.2. Valores médios de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em areia (EPA) e em campo (EPC), e índice de velocidade de emergência em areia (IVE) de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Cultivar	G	PC	EPA	EPC	IVE
	-----%-----				
1-Tbio Sintonia	88 b*	67 c	87 c	76 d	36 b
2-Tbio Sossego	94 a	86 a	91 ab	84 bc	42 a
3-Tbio Sinuelo	93 a	86 a	91 ab	87 ab	41 a
4-LG Oro	92 a	82 b	90 b	79 cd	39 ab
5-Tbio Toruk	94 a	86 a	93 a	90 a	42 a
6-CD 150	93 a	85 a	92 a	91 a	41 a
C.V.(%)	1,32	1,62	1,30	2,75	3,90

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

No teste de germinação (G) apenas o lote da cultivar 1 foi classificado como de qualidade inferior com 88 % de sementes germinadas, os demais lotes apresentaram percentual de germinação entre 92 e 94 %. Os testes de primeira contagem da germinação (PC) e a emergência de plântulas em areia (EPA) separaram os lotes em níveis de vigor de forma semelhante, e indicaram o lote da cultivar 1 de baixo vigor e o lote da cultivar 4 de vigor intermediário. O teste de emergência de plântulas em campo (EPC) classificou os lotes das cultivares 1 e 4 como de menor vigor, 2 e 3 de vigor intermediário e 5 e 6 de alto vigor. O índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas em areia foi menos eficiente em separar os lotes das cultivares em níveis de vigor, e indicou apenas o lote da cultivar 1 de vigor inferior ao das cultivares 2, 3, 5 e 6.

Houve diferenças significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre os lotes da cultivar CD 150 (grupo 2) para os testes de caracterização da qualidade inicial (Tabela 4.3).

Tabela 4.3. Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em areia (EPA) e em campo (EPC), e índice de velocidade de emergência (IVE) na caracterização da qualidade fisiológica inicial de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Fonte de Variação	Quadrados Médios				
	GL	G	PC	EPA	IVE
Lotes	4	32,83	1629,58	51,63	176,20
Erro	15	1,50	2,95	2,35	1,45
Teste F <sup>(Cal)</sup>	-	21,88**	552,40**	21,97**	121,52**
		GL	EPC	Teste F <sup>(Cal)</sup>	
Lotes		4	158,55	19,45**	
Bloco		3	3,73	0,46 <sup>ns</sup>	
Erro		12	8,15	-	

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; <sup>ns</sup> não significativo.

Na Tabela 4.4. estão relatados os resultados dos testes de desempenho fisiológico dos lotes dos cinco lotes da cultivar CD 150 de trigo avaliadas.

Tabela 4.4. Valores médios de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em areia (EPA) e em campo (EPC), e índice de velocidade de emergência em areia (IVE) de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Lote	G	PC	EPA	EPC	IVE
	-----%-----				
1	94 a*	85 a	92 a	91 a	41 a
2	94 a	85 a	91 a	92 a	41 a
3	87 b	52 b	84 c	79 b	26 c
4	90 b	44 c	87 bc	79 b	32 b
5	93 a	84 a	90 ab	87 a	39 a
C.V.(%)	1,34	2,46	1,73	3,33	3,38

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

O teste de germinação (G) indicou os lotes 3 e 4 de menor qualidade e os lotes 1, 2 e 5 de maior qualidade (Tabela 4.4). A primeira contagem da germinação (PC) diferenciou os lotes em três níveis de vigor, e indicou o lote 4 de menor vigor, o lote 3 de médio vigor e os lotes 1, 2 e 5 de alto vigor. O teste de emergência de plântulas em areia (EPA) e o índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) classificaram os lotes 3 e 4 de baixo vigor e os lotes 1, 2 e 5 de alto vigor. A emergência de plântulas em campo (EPC) separou os lotes em dois níveis de vigor de forma semelhante ao teste de qualidade inicial de germinação, e classificou os lotes 3 e 4 de baixo vigor e os lotes 1, 2 e 5 de alto vigor.

Os procedimentos avaliados para o teste de frio foram sensíveis para distinguir diferenças e indicar uma separação em níveis de vigor entre os lotes das cultivares do grupo 1. A Tabela 4.5 traz as informações referentes ao comportamento fisiológico das sementes das seis cultivares nas metodologias de teste de frio avaliadas.

Tabela 4.5. Resumo da análise de variância (quadrados médios) do teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP) em sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Fonte de Variação	GL	TFS		TFPS		TFP	
		QM	Teste F (Cal)	QM	Teste F (Cal)	QM	Teste F (Cal)
Cultivar (C)	5	439,37	95,14**	47,87	36,09**	74,02	29,36**
Temperatura(T)	1	238,52	51,65**	15,19	11,45*	0,19	0,07 <sup>ns</sup>
CxT	5	110,77	23,99**	12,74	9,60**	0,69	0,27 <sup>ns</sup>
Erro	36	4,62	-	1,33	-	2,52	-

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; <sup>ns</sup> não significativo.

Houve diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre os lotes das cultivares dentro de cada método testado: teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP). No entanto, apenas o teste de frio com solo e o teste de frio em rolo de papel com solo apresentaram diferenças significativas quanto às temperaturas testadas (3 e 5 °C), e interação entre os fatores temperatura e os lotes das cultivares do grupo 1 (Tabela 4.5).

Na Tabela 4.6 estão apresentados os dados médios do percentual de germinação das sementes do grupo 1 do teste de frio com solo (TFS), do teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e do teste de frio em rolo de papel (TFP) nas temperaturas de 3 e 5 °C.

Tabela 4.6. Valores médios do percentual de germinação obtidos para o teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP) nas temperaturas de 3 e 5 °C, em sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Cultivar	TFS		TFPS		TFP	
	3 °C	5 °C	3 °C	5 °C	3 °C	5 °C
1-Tbio Sintonia	75 cB	84 bA	83 bB	90 bA	85 bA	85 bA
2-Tbio Sossego	91 aA	93 aA	92 aA	93 aA	93 aA	92 aA
3-Tbio Sinuelo	93 aA	93 aA	93 aA	93 aA	92 aA	92 aA
4-LG Oro	86 bA	88 bA	92 aA	92 aA	90 aA	90 aA
5-Tbio Toruk	93 aA	93 aA	93 aA	93 aA	93 aA	92 aA
6-CD 150	92 aA	93 aA	93 aA	93 aA	93 aA	92 aA
C.V.(%)	2,43		1,26		1,75	

\*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna e maiúsculas na linha, em cada tratamento, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Para o teste de frio com solo verificou-se que a exposição das sementes a temperatura de 3 °C proporcionou a diferenciação dos lotes das cultivares em três níveis de vigor, indicando o lote da cultivar 1 de menor vigor, o 4 de vigor médio e os lotes das cultivares 2, 3, 5 e 6 de alto vigor. Para o mesmo procedimento, conduzido a 5 °C, os lotes das cultivares 1 e 4 foram classificados com vigor inferior aos demais. O teste de frio em rolo de papel com solo e o teste de frio em rolo de papel conduzidos a 3 e 5 °C indicaram apenas o lote da cultivar 1 de vigor inferior aos demais, coincidindo com os resultados do teste de germinação (Tabela 4.2). Houve redução do percentual de germinação do lote da cultivar 1 na temperatura de 3 °C no teste de frio com solo em relação a temperatura de 5 °C.

Verificou-se para o grupo 2 que os procedimentos testados para o teste de frio também separaram os lotes da cultivar CD 150 em níveis de vigor (Tabela 4.7).

Tabela 4.7. Resumo da análise de variância (quadrados médios) do teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP) em sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Fonte de Variação	GL	TFS		TFPS		TFP	
		QM	Teste F (Cal)	QM	Teste F (Cal)	QM	Teste F (Cal)
Lote (L)	4	330,23	54,58**	202,81	66,49**	118,41	42,54**
Temperatura(T)	1	193,60	32,00**	25,60	8,40*	0,40	0,14 <sup>ns</sup>
LxT	4	28,98	4,79**	5,79	1,90 <sup>ns</sup>	0,71	0,90 <sup>ns</sup>
Erro	30	6,05	-	3,05	-	2,78	-

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F; <sup>ns</sup> não significativo.

Houve diferenças significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre os lotes dentro de cada método. O efeito da temperatura foi significativo no teste de frio em solo (TFS) e no teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS). Para o teste de frio em papel (TFP) não houve diferença significativa das temperaturas testadas, assim como da sua interação com os lotes. O efeito da interação foi significativo ( $p \leq 0,01$ ) apenas para o teste de frio com solo.

Os percentuais de germinação obtidos para o teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP) das sementes do grupo 2 estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8. Valores médios do percentual de germinação obtidos para o teste de frio com solo (TFS), teste de frio em rolo de papel com solo (TFPS) e teste de frio em rolo de papel (TFP) nas temperaturas de 3 e 5 °C, em sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Lote	TFS		TFPS		TFP	
	3 °C	5 °C	3 °C	5 °C	3 °C	5 °C
1	92 aA	93 aA	93 aA	94 aA	93 aA	93 aA
2	90 aA	93 aA	92 aA	93 aA	93 aA	93 aA
3	75 bB	81 bA	79 bB	83 bA	83 bA	84 bA
4	78 bB	89 aA	90 aA	90 aA	91 aA	90 aA
5	92 aA	93 aA	91 aA	93 aA	92 aA	93 aA
C.V.(%)	2,81		1,95		1,85	

\*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna e maiúsculas na linha, em cada tratamento, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Observa-se que apenas o teste de frio com solo conduzido a 3 °C classificou os lotes 3 e 4 de vigor inferior (Tabela 4.8), como indicado nos testes de caracterização da qualidade inicial (Tabela 4.4). O teste de frio com solo conduzido na temperatura de 5 °C, assim como os testes de frio em rolo de papel com solo e o teste de frio em rolo de papel conduzidos a 3 e 5 °C classificaram apenas o lote 3 de vigor inferior. Os lotes 1, 2 e 5 apresentaram vigor elevado em todas as metodologias avaliadas para o teste de frio. Observa-se que houve redução do percentual de germinação das sementes dos lotes 3 e 4 quando submetidos a temperatura de 3 °C no teste de frio com solo e do lote 3 no teste de frio em rolo de papel com solo em relação a temperatura de 5 °C.

Os resultados obtidos são divergentes dos descritos por Hampton (1981), em que o teste de frio com o método do rolo de papel com incubação das sementes a 5 °C por 7 dias, seguido de 4 dias a 20 °C foi eficiente na avaliação do vigor de diferentes cultivares de trigo. Verifica-se na presente pesquisa, que os dados do percentual de germinação dos testes de frio conduzidos em rolo de papel em ambas as temperaturas apresentaram resultados elevados e semelhantes aos verificados no teste padrão de germinação, portanto, sem diferenciação do nível de vigor entre cultivares e lotes.

Da mesma forma, Menezes e Silveira (1995) observaram que o teste de frio em rolo de papel a 10 °C por 7 dias apresentou baixa sensibilidade para avaliar o vigor lotes de sementes de arroz com qualidade aproximada, sendo possível identificar apenas lotes com grandes diferenças entre si. No entanto, Cícero

e Vieira (1994) recomendam o teste de frio em rolo de papel com solo a 10 °C durante 7 dias para avaliação do vigor de sementes de arroz.

Os resultados deste trabalho se assemelham aos resultados obtidos por Fanan et al. (2006), onde os autores também não encontraram sensibilidade do teste de frio em rolo de papel conduzido a 5 °C para separar lotes de duas cultivares de trigo em níveis de vigor. Para os autores, os procedimentos do teste de frio recomendado para sementes de milho (5 ou 10 °C por 7 dias, com solo e rolo de papel) não foi eficaz para sementes de trigo, pois, como destacado por Popinigis (1985), as temperaturas mínimas de germinação de sementes de trigo (3 e 5 °C) são inferiores às toleradas para semente de milho (8 a 10 °C). Por outro lado, Samarah and Al-Kofahi (2008), concluíram que o teste de frio com solo a 5 °C por 7 dias, seguido de 7 dias a 20 °C foi um bom preditor do vigor de sementes de cultivares de cevada recomendadas para a região semiárida do Mediterrâneo.

Os dados dos coeficientes de correlação simples entre os testes de caracterização da qualidade inicial (germinação, primeira contagem da germinação, emergência de plântulas em areia e índice de velocidade de emergência) e os procedimentos do teste de frio (teste de frio com solo, teste de frio em rolo de papel com solo e teste de frio em rolo de papel a 3 e 5 °C) com a emergência de plântulas em campo estão apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9. Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) estimados entre o teste de emergência de plântulas em campo e as variáveis: germinação, primeira contagem de germinação, teste de frio com solo, teste de frio com rolo de papel e solo e teste de frio em rolo de papel de sementes de trigo de seis cultivares (grupo 1) e cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2).

Variáveis	Emergência de Plântulas em Campo	
	Grupo 1	Grupo 2
Germinação	0,78 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>*</sup>
Primeira Contagem de Germinação	0,78 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>*</sup>
Emergência de Plantulas em Areia	0,92 <sup>**</sup>	0,93 <sup>*</sup>
Índice de Velocidade de Emergência	0,84 <sup>*</sup>	0,94 <sup>*</sup>
Teste de Frio com Solo 3 °C	0,88 <sup>*</sup>	0,92 <sup>*</sup>
Teste de Frio Rolo de Papel e Solo 3 °C	0,76 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>
Teste de Frio em Rolo de Papel 3 °C	0,86 <sup>*</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
Teste de Frio com Solo 5 °C	0,90 <sup>*</sup>	0,80 <sup>ns</sup>
Teste de Frio Rolo de Papel e Solo 5 °C	0,85 <sup>*</sup>	0,80 <sup>ns</sup>
Teste de Frio em Rolo de Papel 5 °C	0,83 <sup>*</sup>	0,80 <sup>ns</sup>

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo test t; \* significativo a 5% de probabilidade, pelo test t; <sup>ns</sup> não significativo.

As cultivares do grupo 1 não apresentaram correlação entre os testes de germinação e primeira contagem da germinação com a emergência de plântulas em campo (Tabela 4.9). O teste de emergência de plântulas em areia apresentou a maior correlação ( $r = 0,92$ ) com a emergência de plântulas em campo. Os lotes do grupo 2 apresentaram correlação positiva e significativa ( $p \leq 0,05$ ) com todos os testes de caracterização da qualidade inicial.

Observa-se que, para o grupo 1, com exceção do procedimento do teste de frio em rolo de papel com solo na temperatura de 3 °C, todos os procedimentos apresentaram correlação positiva e significativa ( $p \leq 0,05$ ) com a emergência de plântulas em campo (Tabela 4.9). Já para o grupo 2, apenas o procedimento do teste de frio com solo na temperatura de 3 °C correlacionou-se positivamente com a emergência de plântulas em campo. Este fato evidencia a importância do estudo de testes de vigor em diferentes genótipos, assim como a comparação de lotes distintos de uma mesma cultivar.

Nota-se que a caracterização do vigor foi mais consistente no procedimento com solo a 3 °C, apresentando coeficientes de correlação

significativos com o teste de emergência de plântulas em campo, tanto para lotes de diferentes genótipos (grupo 1) quanto para diferentes lotes do mesmo genótipo (grupo 2). Observa-se que a redução da temperatura no período de incubação interfere significativamente no percentual de germinação de lotes de menor vigor.

Embora os resultados sugiram que o procedimento do teste de frio com solo a 3 °C seja confiável para avaliação do vigor de trigo, ressalta-se que o uso do solo apresenta maior dificuldade de padronização entre laboratórios, assim como na sua execução e manuseio em rotinas de análises. Assim, estudos que visem viabilizar a condução do teste para laboratórios de análise de sementes devem ser conduzidos utilizando principalmente materiais que facilitem a execução do teste.

Os resultados dessa pesquisa fornecem informações relevantes quanto à aplicabilidade do teste de frio para caracterização do vigor de sementes de trigo, sendo poucas as informações disponíveis na literatura. Destaca-se que o trigo é uma cultura que apresenta capacidade genética de germinar em baixas temperaturas, por apresentar temperatura basal próxima dos 5 °C. Os altos valores de correlação encontrados, mesmo não sendo todos significativos indicam que a exposição das sementes à baixas temperaturas no teste de frio apresentam potencial para fornecer informações sobre o vigor, requerendo, no entanto, de mais pesquisas. Estudos futuros podem ser conduzidos levando em consideração a avaliação do estresse em maiores períodos de incubação nas temperaturas já testadas ou inferiores a estas, assim como verificar seu efeito em um amplo número de genótipos, visando a recomendação para a espécie.

#### 4.4 CONCLUSÃO

O teste de frio com solo a 3 °C proporciona a melhor estratificação dos lotes em função do vigor, e apresenta maiores correlações com a emergência de plântulas em campo, tanto para lotes de diferentes cultivares quanto para lotes da mesma cultivar.

## 4.5 REFERÊNCIAS

- AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Seed Vigor Testing Handbook**. Contribution No. 32, Handbook on seed testing, AOSA, Washington, DC, USA, 2009.
- CICERO, S.M.; VIEIRA, R.D. Teste de frio. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020, cap. 6, p. 277-307.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.
- BRUNES, A.P.; ARAÚJO, A.S.; DIAS, L.W.; VILLELA, F.A.; AUMONDE, T.Z. Seedling length in wheat determined by image processing using mathematical tools. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 47, n. 2, p. 374-379, 2016.
- CASAROLI, D.; DANTON CAMACHO GARCIA, D.C.; MENEZES, N.L.; MUNIZ, M.F.B.; BAHRY, C.A. O teste de frio sem solo em sementes de abóbora. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1926-1926, 2006.
- CASEIRO, R. F.; MARCOS-FILHO, J. MÉTODOS ALTERNATIVOS DO TESTE DE FRIO PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE MILHO. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 459-466, 2000.
- CASEIRO, R. F.; MARCOS-FILHO, J. Procedimentos para condução do teste de frio em sementes de milho: pré-resfriamento e distribuição do substrato no interior da câmara fria. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 6-11, 2002.
- CASTRO, R.L.; MARSARO-JÚNIOR, A.L.; NASCIMENTO-JUNIOR, A.N.; CAIERÃO, E.; GUARIENTI, E.M.; BONA, F.D.; DALMAGO, G.A.; CUNHA, G.R.; MACIEL, J.L.N.; VARGAS, L.; VIEIRA, V.M. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2019 / XII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale**. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 240 p.
- CICERO, S.M.; VIEIRA, R.D. **Teste de frio**. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Ed.). Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.151-164.
- FANAN, S.; MEDINA, P.F.; LIMA, T.C.; MARCOS-FILHO, J.M. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerado e de frio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 152-158, 2006.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- HAMPTON, J.G. The relationship between field emergence, laboratory germination, and vigor testing of the New Zealand seed wheat lines. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, v. 9, p. 191-197, 1981.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; MARCOS-FILHO, J.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. 601p.

MAPA, 2019. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Brasil-Projeções do Agronegócio Brasil 2018/2019 a 2028/2029 Projeções de Longo Prazo.**

Brasília: MAPA. 2019. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2018-2019-2028-2029/view>>. Acesso em: 22 ago. 2019, 126 p.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015. 660p.

MIGUEL, M.H.; CICERO, S.M. Teste de frio na avaliação do vigor de sementes de feijão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1233-1243, 1999.

MIGUEL, M.H.; CARVALHO, M.V.; BECKERT, O.P.; MARCOS-FILHO, J. Teste de frio para avaliação do potencial fisiológico de sementes de algodão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 741-746, 2001.

SAMARAH, N.H.; AL-KOFAHI, S. Relationship of seed quality tests to field emergence of artificial aged barley seeds in the Semiarid Mediterranean region. **Jordan Journal of Agricultural Sciences**, v. 4, n. 3, p. 217-229, 2008.

## 5 ARTIGO C - ESTRESSE TÉRMICO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE TRIGO

### RESUMO

Diante da necessidade de padronização de métodos simples e eficientes, como uma alternativa aos testes de vigor existentes, e das condições de estresse, possíveis de ocorrer em campo durante a implantação da cultura, a avaliação da germinação em temperaturas sub e supra-ótimas pode ser considerada opção para avaliação do vigor das sementes de trigo. O objetivo foi avaliar a eficiência de temperaturas sub e supra ótimas para caracterização do vigor de diferentes lotes e cultivares de trigo. Foram utilizadas sementes de trigo das cultivares: Tbio Sintonia, Tbio Sossego, Tbio Sinuelo, LG Oro, Tbio Toruk e CD 150 (grupo 1) representadas por um lote cada e por cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2), diferenciados quanto a qualidade fisiológica. A caracterização inicial dos lotes foi realizada por meio da avaliação dos testes de germinação, primeira contagem da germinação, comprimento de raiz e parte aérea de plântula, massa seca de raiz e parte aérea de plântula, e emergência de plântulas em condições de campo. Para avaliação da eficiência do estresse por temperaturas na classificação dos lotes quanto ao vigor, estes foram colocados para germinar a 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 °C. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado para os testes conduzidos em laboratório e delineamento em blocos casualizados para a emergência de plântulas em campo. Adotou-se esquema fatorial 6 x 7 (6 cultivares e 7 temperaturas) para o grupo 1 e esquema fatorial 5 x 7 (5 lotes e 7 temperaturas) para o grupo 2, e a comparação de médias foi realizada pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi realizado o teste de correlação simples (r) entre as variáveis analisadas e o teste de emergência de plântulas em campo. As temperaturas baixas atrasam a germinação das sementes, principalmente as de menor vigor. As temperaturas altas reduzem o percentual de germinação e aumentam o de plântulas anormais, principalmente em lotes de menor vigor. As temperaturas de 15, 25 e 30 °C são eficientes para avaliar o potencial fisiológico de lotes e sementes de trigo na primeira contagem da germinação.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L., temperatura, vigor, germinação, estresses abióticos.

## THERMAL STRESS FOR ASSESSMENT OF THE PHYSIOLOGICAL POTENTIAL OF WHEAT SEEDS

### ABSTRACT

Given the need to standardize simple and efficient methods, as an alternative to existing vigor tests, and the stress conditions that may occur in the field during the crop season, the evaluation of germination at sub- and super-optimal temperatures can be considered an option for evaluating the vigor of wheat seeds. The objective was to evaluate the efficiency of sub-optimal and super-optimal temperatures to characterize the vigor of different wheat lots and cultivars. Wheat seeds of the following cultivars were used: Tbio Sintonia, Tbio Sossego, Tbio Sinuelo, LG Oro, Tbio Toruk, and CD 150 (group 1) represented by one lot each, and five lots of the CD 150 cultivar (group 2), differentiated in terms of physiological quality. The initial characterization of the lots was carried out by evaluating the germination tests, first germination count, seedling root and shoot length, seedling root and shoot dry mass, and plant emergence under field conditions. To evaluate the efficiency of temperature stress in classifying seed lots for vigor, they were placed to germinate at 5, 10, 15, 20, 25, 30, and 35 °C. A completely randomized design was used for the tests conducted in the laboratory and a randomized block design for seedling emergence in the field. A 6 x 7 factorial scheme (6 cultivars and 7 temperatures) was adopted for group 1 and a 5 x 7 factorial scheme (5 lots and 7 temperatures) for group 2, and the comparison of means was performed using the Tukey test at 5% probability. The simple correlation test ( $r$ ) was performed between the analyzed variables and the plant emergence test in the field. Low temperatures delayed seed germination percentage, especially those with less vigor. High temperatures reduced the percentage of germination and increased abnormal seedlings percentages, especially in less vigorous lots. Temperatures of 15, 25, and 30 °C are efficient to evaluate the physiological potential of wheat lots and seeds in the first germination count.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., temperature, vigor, germination, abiotic stresses.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o trigo tem se destacado como a cultura de inverno mais importante nos sistemas de produção agrícola da região Sul do Brasil. O cultivo do cereal vem se expandindo também para as regiões do Brasil Central, em sistema de sequeiro ou irrigado (CONAB, 2017). Dentre os inúmeros fatores relacionados à expansão da triticultura no país, destaca-se os esforços dos programas de melhoramento genético voltados ao desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes regiões (SCHEEREN et al., 2011), assim como, o aprimoramento do Zoneamento Agrícola de Risco Climático, que passou a definir em escala nacional os períodos de semeadura e os locais aptos à cultura (CUNHA et al., 2011).

A semeadura do trigo no Brasil, dependendo do local, ocorre entre os meses de março a julho na região Sul, época em que o solo pode apresentar baixas temperaturas. Já nas regiões Centro Sul e Central do Brasil, a semeadura ocorre entre os meses de janeiro a fevereiro, para as condições de sequeiro, e de abril a maio, para as condições de cultivo irrigado, épocas em que o solo pode apresentar temperaturas elevadas (CASTRO et al., 2018).

A temperatura afeta significativamente o processo de germinação de sementes de trigo (MANFRON et al., 1993). Esta influencia a velocidade e a porcentagem de germinação, interferindo principalmente na absorção de água pela semente, e em todas as reações bioquímicas e processos fisiológicos que levam à germinação (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Baixas temperaturas durante a germinação podem dificultar a embebição, prejudicar o crescimento do embrião, ou ainda, induzir danos a ele ou às plântulas, impedindo a conclusão do processo (GUAN et al., 2009). Altas temperaturas podem permitir a embebição, mas interrompem o crescimento do embrião e o estabelecimento da plântula (MATHEUS; LOPES, 2009). De acordo com Marini et al. (2012), estas diferenças de comportamento na germinação, em relação à temperatura, ocorrem em função da qualidade fisiológica da semente, ou seja, é dependente do seu grau de maturação no momento da colheita ou do progresso da deterioração das membranas.

Segundo Marcos-Filho (2015), a temperatura ótima para germinação situa-se, para maioria das espécies cultivadas, entre 20 e 30 °C, podendo variar de

acordo com o local de origem de cada espécie. Esta possibilita maior eficiência na porcentagem germinativa em conjunto com a maior velocidade de germinação. Não existindo, no entanto, uma temperatura ótima e uniforme para todas as espécies. Para o trigo, as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) recomendam a condução da germinação a 15 ou 20 °C, enquanto as Regras Internacionais para Análise de Sementes (ISTA, 2019) recomendam a temperatura de 20 °C.

A capacidade de a semente germinar de maneira rápida e uniforme, com o desenvolvimento de plântulas normais sob uma ampla condição de ambientes é definida como a manifestação do seu vigor (AOSA, 2018; ISTA, 2019). O vigor da semente tem influência marcante sobre todo o processo germinativo, desde a própria possibilidade de ocorrência da germinação, até outros aspectos, como a velocidade, a uniformidade, a germinação total e o tamanho e massa seca de plântulas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS-FILHO, 2015). Sbrussi e Zucareli (2014) sugeriram o estresse térmico como um método para avaliação do vigor de sementes estudando o efeito de diferentes temperaturas na germinação de sementes de milho, com alto e baixo vigor. Os autores relatam que sementes de alto vigor possuem maior desempenho germinativo sob uma ampla variação de temperaturas. No entanto, são escassos na literatura trabalhos que avaliam o desempenho germinativo de trigo sob diferentes temperaturas.

Sabendo que a temperatura influencia na viabilidade e no vigor da semente, a verificação da qualidade fisiológica através deste processo tem merecido atenção da pesquisa (MENDES et al., 2009). A avaliação da germinação a baixa temperatura (18°C) é um teste recomendado para avaliação do vigor das sementes de algodão (AOSA, 2009), e têm sido utilizado em outras culturas como a soja (KRZYZANOWSKI et al., 2020). Assim, diante da necessidade de padronização de métodos simples e eficientes, como uma alternativa aos testes de vigor existentes, e das condições de estresse possíveis de ocorrer em campo durante a implantação da cultura, a avaliação da germinação em temperaturas sub e supra-ótimas pode ser considerada opção para avaliação do vigor das sementes de trigo.

Nesse sentido, o objetivo foi avaliar a eficiência de temperaturas sub e supra ótimas para caracterização do vigor de diferentes lotes e cultivares de trigo.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Fisiologia do Núcleo de Tecnologia de Sementes e Grãos e no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Soja, Londrina/PR. Foram utilizadas sementes de trigo das cultivares: 1-Tbio Sintonia, 2-Tbio Sossego, 3-Tbio Sinuelo, 4-LG Oro, 5-Tbio Toruk e 6-CD 150 representadas por um lote cada (grupo 1) e por cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2). Os lotes foram divididos em quatro repetições por meio do homogeneizador e divisor de amostras *Boerner*, e as sementes foram armazenadas em câmara fria e seca (10 °C, 50-60% UR) durante toda a condução do experimento.

Para caracterização inicial do potencial fisiológico das sementes do grupo 1 e 2 foram realizados os seguintes procedimentos:

**Teor de água (TA):** foi obtido empregando-se o método da estufa a  $105 \pm 3$  °C, por 24 h (BRASIL, 2009) com duas subamostras por repetição, por lote.

**Germinação (G):** conduzido com quatro subamostras de 50 sementes por repetição, por lote. As sementes foram distribuídas em rolos de papel de germinação, tipo "Germitest", umedecidos com volume de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em gabinetes, dentro da câmara de germinação, ajustada para 20 °C. As avaliações foram realizadas no quarto (**Primeira Contagem da Germinação**) e oitavo dia após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

**Comprimento de raiz (CR) e de parte aérea (CPA) de plântula:** foram utilizadas 25 sementes por repetição, por lote. O papel germitest foi umedecido com água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa seca do substrato. As sementes foram dispostas no terço superior no sentido longitudinal do papel. Os rolos foram acondicionados em sacos plásticos e posicionados verticalmente no germinador por cinco dias a 20 °C no escuro. Após, foi efetuada a medida das plântulas normais (comprimento raiz e de parte aérea) com auxílio de régua milimetrada (KRZYZANOWSKI et al., 2020). Os resultados foram expressos em centímetros por plântula.

**Massa seca de raiz (MSR) e de parte aérea (MSPA) de plântula:** realizada com as plântulas normais obtidas no teste de comprimento de plântula. Estas foram colocadas em saco de papel e levadas à estufa com circulação de ar

forçado, onde permaneceram por 24 horas à temperatura de 80 °C (KRZYŻANOWSKI, et al., 2020). Após este período, a massa seca foi avaliada em balança com precisão de 0,0001 g, e os resultados expressos em miligrama por plântula.

**Emergência de plântulas em condições de campo (EPC):** o teste foi conduzido com quatro subamostras de 100 sementes por repetição, por lote. As sementes foram tratadas com fungicida e inseticida (Standak®) e distribuídas manualmente em sulcos de 4 m de comprimento, com 3 cm de profundidade, espaçados de 50 cm entre si. A contagem de plântulas emergidas foi efetuada aos 14 dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas emergidas (NAKAGAWA, 1994). Os dados de temperaturas máxima e mínima, precipitação pluvial e umidade relativa do ar, referentes ao período de avaliação do teste, estão apresentados na Figura 5.1. Devido a ausência de chuva, foram realizadas duas irrigações: no dia da instalação (12 mm) e no terceiro dia após a semeadura (10 mm).

Para avaliação da eficiência das temperaturas sub e supra ótimas na classificação do vigor de sementes de trigo foram utilizadas 50 sementes por repetição, por lote. As sementes foram distribuídas em rolos de papel de germinação umedecidos com volume de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco (BRASIL, 2009). Os rolos foram mantidos em gabinetes, dentro da câmara de germinação, ajustada para 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 °C com luz constante, sendo a temperatura de 20 °C considerada o padrão. Foi registrado o número de sementes germinadas aos quatro dias após a semeadura para todas as temperaturas, que correspondeu ao teste de primeira contagem da germinação. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Os dados obtidos na caracterização dos lotes e dos efeitos das diferentes temperaturas foram submetidos à análise de variância em delineamento inteiramente casualizado e em blocos casualizados para a emergência em campo. Para o estudo dos diferentes regimes de temperaturas adotou-se esquema fatorial 6 x 7 (6 cultivares e 7 temperaturas) para o grupo 1 e esquema fatorial 5 x 7 (5 lotes e 7 temperaturas) para o grupo 2. Os grupos 1 e 2 foram analisados separadamente. Para todas as características foi realizada análise de variância, e as medias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Foi realizada análise de correlação simples

de Pearson ( $r$ ) entre as características avaliadas em laboratório com a emergência de plântulas em condições de campo, por meio do software BioEstat 5.0.

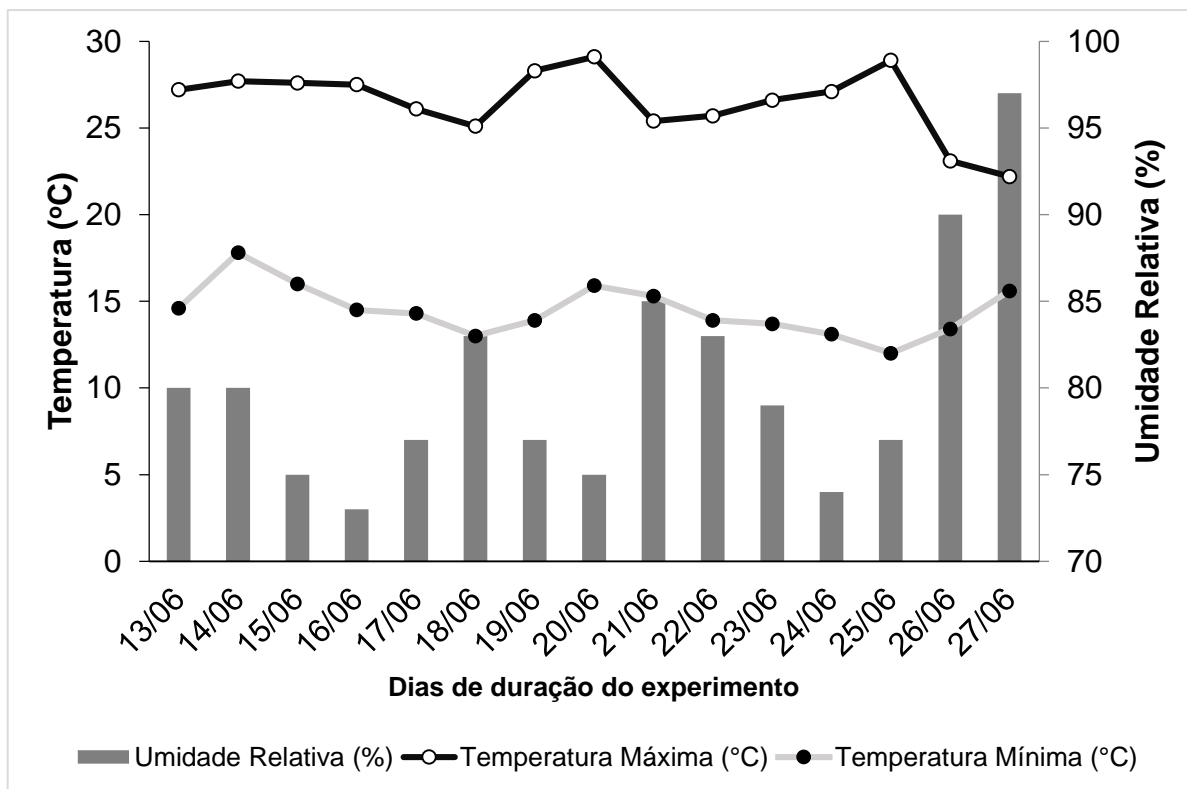


Figura 5.1. Temperaturas máxima e mínima e umidade relativa do ar observadas no período de 13 a 27 de junho de 2019, em Londrina, PR, durante condução do teste de emergência de plântulas de trigo em campo.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância demonstrou diferenças significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre os lotes das cultivares do grupo 1 nos testes de caracterização da qualidade inicial das sementes (Tabela 5.1).

Tabela 5.1. Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), emergência de plântulas em campo (EPC), comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), massa seca de raiz (MSR), massa seca de parte aérea (MSPA) de plântulas provenientes de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Fonte de Variação	Quadrados Médios						
	GL	G	PC	CR	CPA	MSR	MSPA
Cultivares	5	18,44	187,38	9,49	4,65	0,00	0,00
Erro	18	1,88	3,26	0,46	0,07	1,50	3,18
Teste F (Cal)	-	9,84**	57,40**	20,58**	62,34**	14,46**	50,83**

	GL	EPC	Teste F (Cal)
Cultivares	5	141,07	26,12**
Bloco	3	3,83	0,71 <sup>ns</sup>
Erro	15	5,40	-

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; <sup>ns</sup> não significativo.

Observa-se que, com exceção do lote da cultivar 1, todos os lotes foram semelhantes e considerados de alta qualidade no teste de germinação (G) (Tabela 5.2). Entretanto, o lote da cultivar 4 não diferiu estatisticamente do lote da cultivar 1. O teste de primeira contagem da germinação (PC) classificou o lote da cultivar 1 de baixo vigor em relação aos lotes das cultivares 2, 3, 4, 5 e 6 que apresentaram alto vigor. A emergência de plântulas em campo (EPC) identificou os lotes das cultivares 1 e 4 como de menor vigor, o lote da cultivar 2 de vigor médio e os lotes das cultivares 3, 5 e 6 como de alto vigor.

Tabela 5.2. Valores médios de plântulas normais obtidas nos testes de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em campo (EPC), comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plântulas provenientes de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Cultivar	G	PC	EPC	CR	CPA	MSR	MSPA
	-----%-----			-----cm-----		-----mg-----	
1-Tbio Sintonia	88 b*	69 c	76 d	15,0 a	5,3 cd	5,9 a	4,7 b
2-Tbio Sossego	92 a	87 a	84 bc	14,0 ab	5,7 c	4,5 b	4,0 c
3-Tbio Sinuelo	93 a	85 a	87 ab	13,4 b	6,8 b	4,9 b	4,8 b
4-LG Oro	91 ab	82 b	79 cd	10,6 c	4,8 d	4,0 b	3,9 c
5-Tbio Toruk	93 a	86 a	90 a	13,2 b	7,5 a	4,6 b	5,3 a
6-CD 150	93 a	86 a	91 a	14,3 ab	7,0 ab	5,8 a	5,4 a
C.V.(%)	1,50	2,19	2,75	5,05	4,43	7,86	3,83

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os lotes das cultivares 1, 2 e 6 apresentaram maior comprimento de raiz (CR) e maior vigor, enquanto os lotes das cultivares 3 e 5 obtiveram médio vigor e o lote da cultivar 4 demonstrou baixo vigor, com menor comprimento de raiz. O comprimento de parte aérea de plântulas (CPA) oriundas dos lotes das cultivares 5 e 6 apresentaram maior vigor, o lote da cultivar 3 apresentou vigor médio, seguido dos lotes das cultivares 1, 2 e 4 de menor vigor. A massa seca de raiz de plântulas (MSR) separou os lotes das cultivares do grupo 1 em dois níveis de vigor, sendo os lotes das cultivares 1 e 6 de alto vigor e os demais de menor vigor. Por outro lado, a avaliação da massa seca da parte aérea das plântulas (MSPA) classificou os lotes das cultivares em três níveis de vigor: 5 e 6 de alto vigor, 1 e 3 de médio vigor e 2 e 4 de baixo vigor.

Pela análise de variância dos dados do grupo 2, observa-se diferenças significativas entre os lotes da cultivar CD 150 para os testes de caracterização da qualidade inicial (Tabela 5.3).

Tabela 5.3. Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), emergência de plântulas em campo (EPC), comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plântulas provenientes de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Fonte de Variação	Quadrados Médios						
	GL	G	PC	CR	CPA	MSR	MSPA
Lotes	4	24,63	1464,18	2,49	2,47	5,37	0,00
Erro	15	2,08	4,42	0,34	0,06	1,40	2,42
Teste F (Cal)	-	11,82**	331,51**	7,25**	40,41**	3,82**	45,34**

	GL	EPC	Teste F (Cal)
Lotes	4	158,55	19,45**
Bloco	3	3,73	0,46 <sup>ns</sup>
Erro	12	8,15	-

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; <sup>ns</sup> não significativo.

Na Tabela 5.4 estão relatados os resultados dos testes de desempenho fisiológico dos cinco lotes da cultivar de trigo CD 150 avaliados.

Tabela 5.4. Valores médios de plântulas normais obtidas nos testes de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência de plântulas em campo (EPC), comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plântulas provenientes de sementes de cinco lotes de trigo da cultivar CD 150 (grupo 2).

Lote	G	PC	EPC	CR	CPA	MSR	MSPA
	-----%			-----cm-----		-----mg-----	
1	93 a*	86 a	91 a	14,3 a	7,0 a	5,7 ab	5,4 b
2	93 a	86 a	92 a	14,5 a	7,3 a	6,0 ab	5,6 ab
3	88 b	47 c	79 b	14,8 a	5,9 b	6,4 a	4,8 c
4	90 b	55 b	79 b	12,8 b	5,5 b	5,4 b	4,6 c
5	93 a	86 a	87 a	14,6 a	6,9 a	6,2 ab	5,8 a
C.V.(%)	1,58	2,94	3,33	4,13	3,78	6,29	2,97

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

O teste de germinação (G) classificou os lotes 3 e 4 de qualidade

inferior e os lotes 1, 2 e 5 de qualidade superior. A emergência de plântulas em campo (EPC) e o comprimento da parte aérea de plântulas (CPA) apontaram a inferioridade de vigor dos lotes 3 e 4 (Tabela 5.4). A primeira contagem da germinação (PC) estratificou os lotes em três níveis de vigor, indicando os lotes 1, 2 e 5 de alto vigor, o lote 4 de vigor intermediário e o lote 3 de baixo vigor. A medida do comprimento da raiz de plântulas (CR) e a massa seca de raiz (MSR) indicaram apenas o lote 4 de baixo vigor. A massa seca da parte aérea de plântulas (MSPA) classificou os lotes 3 e 4 de baixo vigor, o lote 1 de vigor intermediário e os lotes 2 e 5 de alto vigor.

As diferenças observadas entre as médias das avaliações fisiológicas obtidas pelos testes de comprimento e massa seca de raiz e parte aérea de plântulas do grupo 1, podem estar relacionadas às características de cada cultivar, e não apenas ao vigor das sementes. Esses testes apresentaram divergências quanto à caracterização dos lotes quando comparado aos demais testes de vigor. Esse fato não foi observado para o grupo 2, os quais apresentaram resultados similares na classificação dos lotes (Tabela 5.4). Diferenças semelhantes entre comprimento e massa seca de raiz e parte aérea de plântulas em diferentes cultivares foram observadas em resultados apresentados por Abati et al. (2018) na caracterização inicial de sementes de trigo com alto e baixo vigor.

Os dados médios da análise de variância dos testes de primeira contagem da germinação, nas diferentes temperaturas, de seis cultivares do grupo 1 estão apresentados na Tabela 5.5. Observa-se que houve efeitos significativos ( $p \leq 0,01$ ) de lotes das cultivares, das temperaturas testadas e da interação entre os lotes com as temperaturas.

Tabela 5.5. Resumo da análise de variância dos testes de primeira contagem da germinação nas temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25, 30, e 35 °C em sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	Teste F <sup>(Cal)</sup>
Cultivar (C)	5	676,57	237,46**
Temperatura (T)	6	39571,94	13888,76**
C x T	30	328,28	115,22**
Erro	126	2,85	-

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Não houve ocorrência de plântulas normais para serem computadas no quarto dia após a instalação do teste de germinação nas temperaturas de 5 e 10 °C (Tabela 5.6).

Tabela 5.6. Valores médios de plântulas normais obtidas na primeira contagem dos testes de germinação nas temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 °C de sementes de seis cultivares de trigo (grupo 1).

Cultivar	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
	-----%-----						
1-Tbio Sintonia	0 aE*	0 aE	58 cD	69 cC	87 bA	74 bB	18 cdE
2-Tbio Sossego	0 aE	0 aE	81 abC	87 aB	92 aA	78 abC	31 bD
3-Tbio Sinuelo	0 aE	0 aE	81 abC	86 aB	93 aA	81 aC	22 cD
4-LG Oro	0 aE	0 aE	79 bB	82 bB	91 abA	69 cC	15 dD
5-Tbio Toruk	0 aD	0 aD	83 aBC	86 aB	94 aA	81 aC	0 eD
6-CD 150	0 aE	0 aE	84 aB	86 aB	94 aA	79 aC	65 aD
C.V.(%)	3,34						

\*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

As temperaturas de 15, 20 e 30 °C foram semelhantes em separar os lotes das cultivares em níveis de vigor, e indicaram os lotes das cultivares 1 e 4 como de menor vigor. Temperaturas abaixo da ótima recomendada para germinação tendem a reduzir a velocidade do processo de embebição (ZUCARELI et al., 2011), podendo dificultar a reorganização das membranas celulares (CARVALHO et al., 2009). Sendo estes processos, segundo Grzybowski et al. (2015), influenciado pelo vigor e pelo cultivar.

Observa-se que o percentual de germinação aumentou de acordo com o aumento da temperatura, a partir dos 15 °C, e atingiu o maior percentual aos 25 °C, onde o lote da cultivar 1 apresentou menor vigor. A temperatura de 35 °C mostrou-se mais drástica para todos os lotes das cultivares do grupo 1, levando ao decréscimo no potencial germinativo. Não houve sementes germinadas no lote da cultivar 5, enquanto o lote da cultivar 6 apresentou o maior percentual de germinação. Estudando o efeito da temperatura na germinação de sementes de algodão em mesa termogradiente, Krzyzanowski e Delouche (2011) constataram que a faixa de temperatura ótima para germinação se encontra entre 28 e 30 °C, e que acima da faixa de 32 a 34 °C o percentual de germinação foi reduzido drasticamente.

Houve efeitos significativos ( $p \leq 0,01$ ) dos lotes da cultivar CD 150, das temperaturas testadas e da interação entre os lotes com as temperaturas (Tabela 5.7).

Tabela 5.7. Resumo da análise de variância dos testes de primeira contagem da germinação nas temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25, 30, e 35 °C de sementes de cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2).

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	Teste F <sup>(Cal)</sup>
Lote (L)	4	3002,06	863,02**
Temperatura (T)	6	26381,55	7583,92**
Lote x Temperatura	24	391,55	112,56**
Erro	139	3,47	-

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Na Tabela 5.8 estão relatados os resultados dos testes de desempenho fisiológico dos cinco lotes da cultivar trigo CD 150 avaliadas.

Tabela 5.8. Valores médios de plântulas normais obtidas na primeira contagem dos testes de germinação nas temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 °C de sementes de cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2).

Lote	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
	-----%						
1	0 aE*	0 aE	84 aB	86 aB	94 aA	79 aC	65 aD
2	0 aE	0 aE	83 aB	86 aB	94 aA	78 aC	63 abD
3	0 aF	0 aF	39 cD	47 cC	86 cA	58 cB	25 cE
4	0 aF	0 aF	47 bD	55 bC	90 bcA	68 bB	28 cE
5	0 aE	0 aE	81 aB	85 aB	91 abA	77 aC	57 bD
C.V.(%)	3,74						

\*Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Observa-se que, assim como os lotes das cultivares, também não houve plântulas normais para avaliação da primeira contagem da germinação no quarto dia após a instalação do teste de germinação nas temperaturas de 5 e 10 °C para os diferentes lotes da mesma cultivar. Isso ocorre, pois segundo Carvalho e Nakagawa (2012), temperaturas inferiores à ótima tendem a reduzir a velocidade de germinação das sementes.

As temperaturas de 15, 20, 25 e 30 °C separaram da mesma forma os lotes do grupo 2 em três níveis de vigor, indicando os lotes 1, 2 e 5 de alto vigor, o lote 4 de vigor intermediário e o lote 3 de baixo vigor. A temperatura de 35 °C indicou os lotes 3 e 4 de baixo vigor e o lote 5 de médio vigor.

Assim como observado para as cultivares do grupo 1, houve aumento do número de plântulas, com início nos 15 °C, de acordo com o aumento da temperatura até 25 °C (Tabela 5.8). A partir de 30 °C o percentual de plântulas normais começou a decair. Esse fato se justifica pois, em temperaturas supra-ótimas ocorre maior velocidade do processo germinativo, mas somente as sementes mais vigorosas conseguem germinar, determinando assim, uma redução na porcentagem de germinação (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Os lotes da cultivar CD 150 foram mais tolerantes à temperatura de 35 °C em relação as cultivares 1, 2, 3, 4 e 5 do grupo 1 (Tabela 5.6). No entanto, observa-se que o efeito da alta temperatura foi mais drástica nos lotes 3 e 4, classificados como de menor vigor pelos testes de caracterização da qualidade inicial das sementes (Tabela 5.8). Segundo Socolowiski e Takaki (2004), cada espécie possui um espectro de temperatura limitante e ótima, não somente para o percentual final de germinação como também para a velocidade de germinação em que esta irá ocorrer.

Existe diferença entre cultivares para a tolerância a baixas e altas temperaturas. De acordo com Tobeh e Jamaati-e-Somarin (2012), a maioria das espécies cultivadas comerciais são sensíveis ao estresse ambiental decorrente da oscilação da temperatura durante a germinação. Entretanto, para os autores, existem variações genéticas dentro de cada espécie e cultivares relacionadas. Sendo a adaptação ao estresse associada à ajustes metabólicos através da modulação de diferentes enzimas (YAN et al., 2001; EHSANPOUR e AMINI, 2003).

Avaliando o estresse de calor e o grau de tolerância de genitores e populações segregantes, Cargnin et al. (2006) constataram que houve diferença entre os genótipos de trigo quanto à tolerância ao calor em sementes submetidas à germinação a 35 °C. Em cultivares de arroz, Mertz et al. (2009) também observaram diferenças entre cultivares submetidas à germinação a baixa temperatura (13 °C).

Os dados dos coeficientes de correlação simples entre os testes de caracterização da qualidade inicial (germinação, primeira contagem da germinação, comprimento de raiz e de parte aérea, massa seca da parte aérea e primeira

contagem de germinação a 15 °C, a 20 °C, a 25 °C, a 30 °C e a 35 °C com a emergência de plântulas em campo dos grupos 1 e 2 estão apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9. Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) estimados entre o teste de emergência de plântulas em campo e as variáveis: germinação, primeira contagem de germinação, comprimento de parte aérea e raiz de plântulas, massa seca de raiz e de parte aérea de plântulas e primeira contagem da germinação a 15, 20, 25, 30 e 35 °C de sementes de trigo de seis cultivares (grupo 1) e cinco lotes da cultivar CD 150 (grupo 2).

Variáveis	Emergência de Plântulas em Campo	
	Grupo 1	Grupo 2
Germinação	0,91**	0,91*
Primeira Contagem de Germinação	0,80*	0,94**
Comprimento de Raiz	0,11 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
Comprimento de Parte Aérea	0,91**	0,97**
Massa Seca de Raiz	0,03 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
Massa Seca de Parte Aérea	0,67 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>
Primeira Contagem de Germinação 15 °C	0,80*	0,96**
Primeira Contagem de Germinação 20 °C	0,80*	0,95**
Primeira Contagem de Germinação 25 °C	0,94**	0,90*
Primeira Contagem de Germinação 30 °C	0,81*	0,90*
Primeira Contagem de Germinação 35 °C	0,34 <sup>ns</sup>	0,98**

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo test t; \* significativo a 5% de probabilidade, pelo test t; <sup>ns</sup> não significativo.

Na avaliação da qualidade inicial dos lotes dos grupos 1 e 2, apenas os testes de germinação, primeira contagem e comprimento de parte aérea apresentaram correlação com a emergência em campo. Para o grupo 1, apenas a temperatura de 35 °C não apresentou correlação significativa com a emergência de plântulas em campo. Para o grupo 2, todas as temperaturas apresentaram correlação entre o percentual de germinação na primeira contagem e a emergência em campo.

Os resultados da análise de correlação evidenciam que a primeira contagem apresenta correlação linear com a emergência de plântulas em campo. Ressalta-se que a obtenção de resultados de forma rápida por meio da primeira

contagem é vantajosa para uma rotina de um laboratório de análises de sementes. Este parâmetro está de acordo com o descrito por Marcos-Filho (2015) como um dos requisitos ideais para um bom teste de vigor. O teste de primeira contagem da germinação é recomendado para diversas culturas variando a quantidade de dias e temperatura de acordo com a espécie, sendo recomendado para trigo a temperatura de 20 °C por um período de quatro dias (BRASIL, 2009). Dessa forma, os resultados da presente pesquisa indicam que a primeira contagem da germinação nas temperaturas de 15, 25 e 30 °C pode ser usada como parâmetro para avaliação do vigor de sementes de trigo. É importante salientar que as temperaturas sub e supra ótimas de 15 e 30 °C poderiam se aproximar mais das condições de ambiente durante a época de semeadura do trigo, dependendo da área de cultivo. Visto que, a temperatura de 25 °C favoreceu o máximo percentual de germinação dos lotes de sementes.

Os resultados obtidos ressaltam a importância da temperatura no processo germinativo de sementes de trigo, bem como da importância do uso de sementes de alto vigor e do conhecimento das características das cultivares na semeadura. Observa-se que o estresse proveniente de baixas e altas temperaturas influenciam diretamente no percentual germinativo de sementes menos vigorosas, permitindo a estratificação de lotes quanto ao potencial fisiológico.

Desta forma, métodos que avaliem o vigor de sementes por meio do estresse térmico merecem atenção de pesquisas futuras, podendo ser aprimorados para avaliação do vigor de sementes de trigo, uma vez que, considerando as características individuais das cultivares, o vigor é responsável pela germinação das sementes em faixas de temperaturas não ideais para a cultura. Assim, estes podem fornecer informações relevantes para o gerenciamento da instalação da cultura, permitindo o direcionamento de lotes de menor vigor para as regiões mais favoráveis (SBRUSSI; ZUCARELI, 2014). Ainda, podem também serem aplicados em áreas mais quentes em que a cultura vem se expandindo.

Além disso, a avaliação do vigor por meio de testes que utilizem a germinação como parâmetro facilita a padronização de metodologias, por não exigir equipamentos específicos ou treinamento especializado, podendo ser conduzido em germinadores ou câmaras de germinação já existentes em laboratórios de análise de sementes.

#### 5.4 CONCLUSÃO

As temperaturas de 15, 25 e 30 °C são eficientes para avaliar o potencial fisiológico de lotes e sementes de trigo na primeira contagem da germinação, além da temperatura de 20 °C.

## 5.5 REFERÊNCIAS

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Seed vigor testing handbook**. Lincoln, 2009. 105p. (Contribution, 32).

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Rules for testing seeds**. Association of Official Seed Analysts. AOSA, Washington, DC, USA, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.

CASTRO, R.L.; MARSARO-JÚNIOR, A.L.; NASCIMENTO-JUNIOR, A.N.; CAIERÃO, E.; GUARIENTI, E.M.; BONA, F.D.; DALMAGO, G.A.; CUNHA, G.R.; MACIEL, J.L.N.; VARGAS, L.; VIEIRA, V.M. **Informações técnicas para trigo e triticales - safra 2019 / XII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticales**. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 240 p.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do trigo**. 2017. Disponível em:

<[https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17\\_04\\_25\\_11\\_40\\_00\\_a\\_cultura\\_do\\_trigo\\_o\\_versao\\_digital\\_final.pdf](https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_o_versao_digital_final.pdf)>. Acesso em: 19 ago. 2019.

CUNHA, G.R. da; PASINATO, A.; PIMENTEL, M.B.M.; HAAS, J.C.; MALUF, J.R.T.; PIRES, J.L.F.; DALMAGO, G.A.; SANTI, A. Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e época de semeadura. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. **Trigo no Brasil: bases para competição competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, p. 27-40, 2011.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GUAN, Y.; HU, J.; WANG, X.; SHAO, C. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. **Seed Science Center**, Crosschecked, v. 10, n. 6, p. 427-433, 2009.

ISTA - International Seed Testing Association. **International Rules for Seed Testing**. Edition 2019. ISTA, Bassersdorf, Switzerland, 2019, 300p.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. 601p.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; GOMES-JUNIOR, F.G. Teste de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. p. 79-127.

MANFRON, P.A.; LAZZAROTTO, C.; MEDEIROS, S.L.P. TRIGO - Aspectos agrometeorológicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 3, n. 2, p. 233-239, 1993.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015. 660p.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C., VIEIRA, R.D., FRANÇA NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. (Ed.). **Vigor de sementes: Conceitos e Testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 3, p. 185-237.

MARINI, P.; MORAES, C.L.; MARINI, N.; MORAES, D.M.; AMARANTE, L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de arroz submetidas ao estresse térmico. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 722-730, 2012.

MATHEUS, M. T.; LOPES, J. C. Temperaturas cardinais para a germinação de sementes de *Erythrina variegata* L. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 115-122, 2009.

MENDES, C. R.; MORAES, D.M.; LIMA, M.G.S.; LOPES, N.F. Respiratory activity for the differentiation of vigor on soybean seeds lots. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 171-176, 2009.

OHLSON, O. C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; CAIEIRO, J.T.; PANOBIANCO, M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**. v. 32, n. 4, p. 118-124, 2010.

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, P.L.; CAIERÃO, E.; SILVA, M.S.; BONOW, S. Melhoramento de Trigo no Brasil. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. **Trigo no Brasil: bases para competição competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, p. 427-452, 2011.

## 6 ARTIGO D - ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA DO TESTE DE TETRAZÓLIO PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE TRIGO

### RESUMO

Para ser eficiente na avaliação do vigor de sementes de trigo, o teste de tetrazólio requer ajustes no preparo das sementes, assim como de maior detalhamento na descrição das subclasses de vigor e identificação de fatores que reduzem a qualidade das sementes. Os objetivos do trabalho foram adequar a metodologia do teste de tetrazólio descrito na literatura com base no preparo das sementes para coloração, descrição das subclasses de vigor e detecção de danos responsáveis pela redução da qualidade das sementes de trigo. Foram utilizados sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150. A qualidade fisiológica inicial dos lotes foi avaliada por meio dos testes de germinação, primeira contagem da germinação, envelhecimento acelerado e emergência de plântulas em campo. Para o teste de tetrazólio foram avaliados os seguintes ajustes de acordo com a metodologia disposta na literatura atual: pré-condicionamento de duas subamostras de 50 sementes entre papel toalha umedecido durante 16 h a 25 °C. Após foi realizado um corte longitudinal deixando a semente intacta na extremidade distal, utilizando-se as duas metades da semente para avaliação. As sementes foram coloridas em solução de tetrazólio (0,075%) a 40 °C por 2 h. A avaliação do vigor foi realizada por meio da separação das sementes em classes de vigor (viáveis e vigorosas, viáveis e não vigorosas, não viáveis e mortas), realizando também a descrição detalhada das subclasses, e avaliação da possibilidade de detecção de danos responsáveis pela redução da qualidade das sementes, como deterioração por umidade, danos mecânicos, entre outros. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com análise de variância dos dados e comparação de médias realizada pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi realizado o teste de correlação simples (r) entre as variáveis analisadas e o teste de emergência de plântulas em campo. A utilização das duas metades da semente para avaliação confere maior assertividade nos resultados do teste de tetrazólio em sementes de trigo; as classes de vigor podem ser subdivididas em subclasses para facilitar a classificação das sementes.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L., vigor, viabilidade, deterioração, testes rápidos.

## ADEQUACY OF THE TETRAZOLIUM TEST METHODOLOGY FOR ASSESSING THE VIGOR OF WHEAT SEEDS

### ABSTRACT

To be efficient in assessing wheat seed vigor, the tetrazolium test requires adjustments in seed preparation, as well as greater detail in the description of vigor subclasses and identification of factors that reduce seed quality. The objectives of the work were to adapt the methodology of the tetrazolium test described in the literature based on the preparation of seeds for coloration, description of vigor subclasses and detection of damages responsible for reducing the quality of wheat seeds. Seven lots of wheat seeds of cultivar CD 150 were used. The initial physiological quality of the lots was evaluated by means of germination tests, first germination count, accelerated aging and seedling emergence in the field. For the tetrazolium test, the following adjustments were evaluated according to the methodology set out in the current literature: preconditioning of two subsamples of 50 seeds between moistened paper towels for 16 h at 25 °C. Afterwards, a longitudinal cut was performed, leaving the seed intact at the distal end, using the two halves of the seed for evaluation. Seeds were colored in a tetrazolium solution (0.075%) at 40 °C for 2 h. Vigor evaluation was performed by separating the seeds into vigor classes (viable and vigorous, viable and non-vigorous, non-viable and dead), also performing a detailed description of the subclasses, and evaluating the possibility of detecting damage responsible for the reduction in seed quality, such as deterioration due to moisture, mechanical damage, among others. A completely randomized design was used, with analysis of data variance and comparison of means performed by the Tukey test, at 5% probability. The simple correlation test ( $r$ ) was performed between the analyzed variables and the seedling emergence test in the field. The use of two halves of the seed for evaluation provides greater assertiveness in the results of the tetrazolium test in wheat seeds; vigor classes can be subdivided into subclasses to facilitate seed classification.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., vigor, viability, deterioration, rapid tests.

## 6.1 INTRODUÇÃO

Em um programa de controle de qualidade de sementes a avaliação do potencial fisiológico é geralmente realizada por meio do teste de germinação, que pode levar dias, semanas ou até meses para ser concluído, no caso de espécies que apresentam dormência (MARCOS-FILHO, 2015a). Para sementes de trigo, os resultados do teste podem ser obtidos entre 7 e 8 dias (BRASIL, 2009; AOSA, 2018). Esta situação é indesejável para laboratórios de empresas produtoras de sementes que necessitam de meios de avaliações rápidos que possam antecipar as tomadas de decisões. Assim, o teste de tetrazólio tem assumido posição de destaque, principalmente por fornecer resultados rápidos e estimar a viabilidade em menos de 24 horas, inclusive de sementes dormentes (AOSA, 2010). As primeiras tentativas de uso e posterior padronização do teste foram baseadas apenas na avaliação da viabilidade, mas com a evolução das pesquisas, é considerado atualmente uma das mais valiosas técnicas também na análise do vigor de sementes.

O teste de tetrazólio é caracterizado por ser uma avaliação bioquímica, baseada na variação da coloração dos tecidos vivos, em presença de solução de 2, 3, 5 trifênil tetrazólio, indicando a atividade de enzimas desidrogenases que catalisam as reações respiratórias na mitocôndria. Durante a respiração celular, há liberação de íons de hidrogênio, que reagem com o sal de tetrazólio (incolor e difusível), formando uma substância de cor vermelha e insolúvel, denominada formazan, que delimita os tecidos vivos da semente. Dessa maneira, a reação revela os tecidos vivos pela formação da coloração vermelha, os deteriorados com coloração vermelho escuro, e tecidos mortos, onde não ocorre respiração, não colorem (AOSA, 2010; FRANÇA-NETO, 2018).

A avaliação da qualidade fisiológica por meio do teste de tetrazólio tem sido difundida para algumas espécies. São descritos no Manual do Teste de Tetrazólio publicado pela Associação Oficial dos Analistas de Sementes (AOSA, 2010), métodos para avaliação da viabilidade de sementes de 110 famílias, compreendendo mais de 500 espécies de plantas. Além da avaliação da viabilidade, existem atualmente manuais específicos que contemplam em detalhe a metodologia de execução do teste para avaliação do vigor de sementes de milho, algodão, feijão, amendoim e soja (AOSA, 2018; FRANÇA-NETO, 2018).

A metodologia para condução do teste de tetrazólio está bem

estabelecida para sementes de soja, sendo considerado o teste mais utilizado nos laboratórios particulares no Brasil, com reconhecimento internacional (MARCOS-FILHO, 2015b). Além de avaliar a viabilidade e o vigor dos lotes de semente de soja de forma rápida, o teste de tetrazólio também fornece o diagnóstico das causas pela redução da qualidade, como deterioração por umidade, danos mecânicos, de percevejos, de secagem, de estresse hídrico e de geada (COSTA et al., 2007). Segundo Marcos-Filho (2015a), o trabalho conduzido com a soja além de proporcionar um avanço considerável no reconhecimento desses sintomas em sementes da espécie, também está servindo como base para o detalhamento da interpretação de testes conduzidos com outras espécies.

No processo de avaliação do teste, os critérios estabelecidos para a coloração dos tecidos além de serem utilizados na caracterização da viabilidade das sementes, podem distinguir dentro do grupo de sementes viáveis as classes de alto e baixo vigor. Assim, para as sementes de soja, ocorre a classificação conforme as classes: 1 a 3 (sementes viáveis e vigorosas), 4 a 5 (sementes viáveis e não vigorosas), 6 a 7 (sementes não viáveis) e 8 (sementes mortas) (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). A separação é realizada também em sementes de milho, no entanto, com o estabelecimento de três classes: 1 representada pelas sementes viáveis e vigorosas, 2 pelas sementes viáveis e não vigorosas e 3, constituída pelas sementes não viáveis (DIA; BARROS, 1995; BARROS; DIAS, 1999; FRANÇA-NETO et al, 2020).

Para a condução do teste de tetrazólio em sementes de trigo são indicados na literatura procedimentos para análise da viabilidade das sementes (BRASIL, 2009; AOSA, 2010). No que diz respeito ao uso do teste para avaliação do vigor, foram recomendadas por Carvalho et al. (2012; 2013) a classificação das sementes em quatro categorias: 1 (viáveis e vigorosas), 2 (viáveis e não vigorosas), 3 (não viáveis) e 4 (mortas). No entanto, o método proposto necessita de ajustes no preparo das sementes e na avaliação das mesmas após a coloração, através do uso das duas metades da semente, visando a redução da subjetividade durante a condução do teste. Além disso, o detalhamento na descrição das subclasses, assim como a possibilidade de detecção de danos responsáveis pela redução da qualidade das sementes, como deterioração por umidade, temperatura, danos mecânicos, entre outros, como conhecidos para cultura da soja, podem contribuir para maior eficiência do teste. Dessa forma, mais informações são necessárias para

padronização e recomendação do teste para a cultura do trigo.

Considerando a necessidade de metodologias adequadas para avaliação rápida do vigor de sementes de trigo e com base nos estudos realizados por Carvalho et al. (2012; 2013), o teste de tetrazólio apresenta características promissoras para sua padronização. Neste sentido, os objetivos do trabalho foram adequar a metodologia do teste de tetrazólio descrito na literatura com base no preparo das sementes para coloração, descrição das subclasses de vigor e detecção de fatores responsáveis pelos danos e redução da qualidade das sementes de trigo.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Fisiologia do Núcleo de Tecnologia de Sementes e Grãos e no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Soja, em Londrina - PR. Foram utilizadas sementes de trigo (*Triticum aestivum* L.) da cultivar CD 150 representada por 7 lotes. Os lotes recebidos foram divididos em quatro repetições por meio do homogeneizador e divisor de amostras *Boerner*, e as sementes foram armazenadas em câmara fria e seca (10 °C, 50-60% de umidade relativa - UR) durante toda a condução do experimento.

Para caracterização inicial do potencial fisiológico das sementes foram realizados os seguintes procedimentos:

**Teor de água (TA):** foi obtido empregando-se o método da estufa a  $105 \pm 3$  °C, por 24 h (BRASIL, 2009) com duas subamostras por repetição, por lote.

**Germinação (G):** conduzido com quatro subamostras de 50 sementes por repetição, por lote. As sementes foram distribuídas em rolos de papel de germinação, tipo "Germitest", umedecidos com volume de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em gabinetes, dentro da câmara de germinação, ajustada para 20 °C. As avaliações foram realizadas no quarto (**Primeira Contagem da Germinação**) e oitavo dia após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

**Envelhecimento acelerado (EA):** as sementes foram distribuídas sobre telas de inox, em camada única, colocadas dentro de caixa de plástico (11,0 x 11,0 x 3,5 cm), contendo no fundo 40 mL de água e mantidas a temperatura de 43 °C por 48 h (OHLSON et al., 2010), no interior de uma câmara de envelhecimento. Após o envelhecimento, quatro subamostras de 50 sementes por repetição, por lote foram submetidas ao teste de germinação, conforme metodologia já descrita. Após o período de envelhecimento foi determinado o teor de água das sementes pelo método de estufa (BRASIL, 2009) para verificar a qualidade de condução do teste quanto à uniformidade de embebição e de deterioração das sementes (MARCOS-FILHO, 2020). Os resultados foram expressos em percentual de plântulas normais germinadas após o quarto dia do teste de germinação.

**Emergência de plântulas em campo (EPC):** o teste foi conduzido com quatro subamostras de 100 sementes por repetição, por lote. As sementes

foram tratadas com fungicida e inseticida (Standak®) e distribuídas manualmente em sulcos de 4 m de comprimento, com 3 cm de profundidade, espaçados de 50 cm entre si. A contagem de plântulas emergidas foi efetuada aos 14 dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas emergidas (NAKAGAWA, 1994). Os dados de temperaturas máxima e mínima, precipitação pluvial e umidade relativa do ar, referentes ao período de avaliação do teste, estão apresentados na Figura 6.1. Devido à ausência de chuva, foram realizadas irrigações no dia da semeadura (12 mm) e no terceiro dia após a semeadura (10 mm).

**Teste de tetrazólio (TZ):** A proposta de padronização do teste foi realizada com base em ajustes realizados na metodologia descrita por Carvalho et al. (2013). Dessa forma, os seguintes procedimentos foram ajustados:

1) Preparo das sementes: duas subamostras de 50 sementes, por repetição, por lote foram pré-condicionadas entre papel toalha umedecido com a quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do papel, durante 16 h a 25 °C (AOSA, 2010). Carvalho et al. (2013) recomendam o uso de uma das metades da semente para avaliação, realizado um corte em bissecção longitudinal ao longo do embrião e do endosperma. No entanto, esse parâmetro foi avaliado utilizando-se a semente inteira. Decorrido o período de condicionamento foi realizando um corte longitudinal deixando a semente intacta na extremidade distal, utilizando-se as duas metades da semente para avaliação (Figura 6.2) (AOSA, 2010).

Após o corte, as sementes foram emersas em solução de cloreto de 2,3,5 trifênil tetrazólio, em copo de plástico (50 mL) colocadas para colorir a 40 °C em estufa termoelétrica, na concentração 0,075% por duas horas no escuro (CARVALHO et al, 2013). Após a coloração, as sementes foram lavadas, imersas em água e mantidas em refrigeração (5 a 10 °C) até o momento da avaliação, a qual foi realizada no mesmo dia.

2) Interpretação do teste: a avaliação do vigor foi realizada com auxílio de uma lupa de mesa com luz led (3D12D HL 200 - DICALAB®), por meio da separação das sementes em classes de vigor (1-viáveis e vigorosas, 2-viáveis e não vigorosas, 3-não viáveis e 4-mortas) como sugerido por Carvalho et al. (2013), realizando também a descrição e organização das distintas subclasses; e avaliação da possibilidade de detecção de danos responsáveis pela redução da qualidade das sementes, como deterioração por umidade, temperatura, danos mecânicos, entre

outros.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado para os testes laboratoriais e blocos casualizados para emergência em campo. Foi realizada análise de variância dos dados e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$  %), utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Foi realizada análise de correlação simples de Pearson ( $r$ ) com os dados obtidos em laboratório e a emergência de plântulas em campo por meio do software BioEstat 5.0.

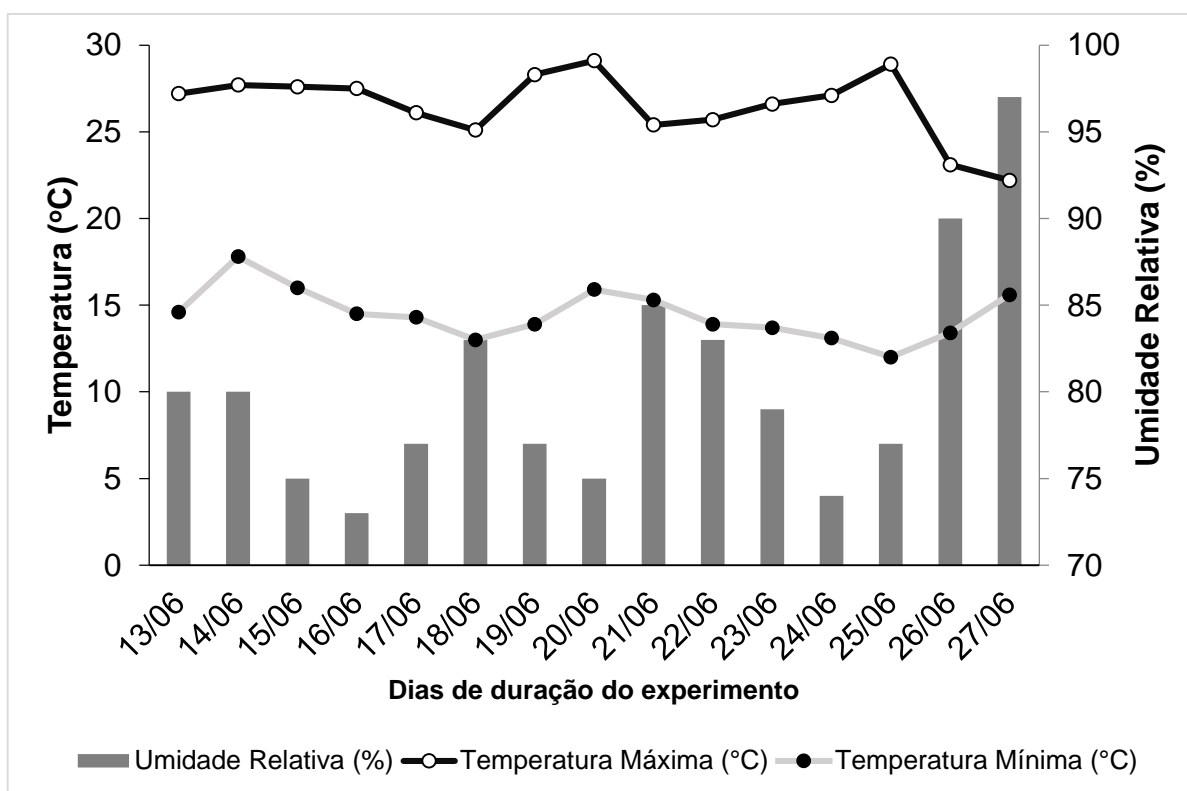


Figura 6.1. Temperaturas máxima e mínima e umidade relativa do ar observadas no período de 13 a 27 de junho de 2019, em Londrina, PR, durante condução do teste de emergência de plântulas de trigo em campo.

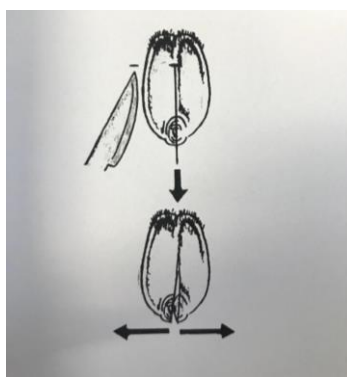


Figura 6.2. Corte longitudinal da semente de trigo deixando a semente intacta na

extremidade distal para avaliação no teste de tetrazólio utilizando duas metades da semente. Fonte: AOSA (2010).

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à análise de variância indicaram que houve diferença estatística significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre os lotes nos testes utilizados na avaliação da qualidade inicial (Tabela 6.1).

Tabela 6.1. Resumo da análise de variância das variáveis germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), teste de envelhecimento acelerado (EA) e emergência de plântulas em campo (EPC) de sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150.

Fonte de Variação	Quadrados Médios			
	GL	G	PC	EA
Lotes	6	48,61	1388,05	1384,33
Erro	21	9,04	3,23	18,76
Teste F <sup>(Cal)</sup>	-	5,37**	430,25**	73,78**
		EPC	Teste F <sup>(Cal)</sup>	
Lotes	6	165,89	25,66**	
Bloco	3	2,71	0,42 <sup>ns</sup>	
Erro	18	6,46	-	

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; <sup>ns</sup> não significativo.

Os teores de água inicial das sementes foram similares para os sete lotes, apresentando variação de 0,8 % (Tabela 6.2). Essa variação, de baixa amplitude, indica que não houve interferência do teor de água das sementes nos resultados obtidos nos testes de vigor. Este fato é importante para a confiabilidade das avaliações (MARCOS-FILHO, 2015b) e para padronização de testes (COIMBRA et al., 2009).

Tabela 6.2. Valores médios do percentual de germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e emergência de plântulas em campo (EPC) de sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150.

Lote	TA	G	PC	EA	EPC
	-----%-----				
1	10,2	97 a	87 ab	97 a	91 ab
2	10,4	89 b	46 d	47 d	79 c
3	10,8	97 a	90 a	92 ab	94 a
4	10,1	97 a	87 ab	96 a	92 ab
5	10,4	92 ab	55 c	70 c	79 c
6	10,9	94 a	85 b	83 b	87 b
7	10,8	96 a	90 a	95 a	94 a
C.V.(%)	-	3,18	2,32	5,22	2,89

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

O teste de germinação (G) classificou os lotes 1, 3, 4, 6 e 7 de qualidade superior, o 5 intermediária e o lote 2 de qualidade inferior. Os testes de primeira contagem da germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e emergência de plântulas em campo (EPC) classificaram de maneira semelhante os lotes 2 e 5 de menor vigor em relação aos lotes 1, 3, 4, 6 e 7.

Inicialmente ao teste de tetrazólio foi realizado o ajuste no preparo das sementes para coloração, utilizando-se as duas metades da semente para a condução do teste, possibilitando a observação de toda a estrutura do eixo embrionário no momento da avaliação. Este parâmetro é recomendado pela Associação Oficial dos Analistas de Sementes para avaliação da viabilidade de sementes de trigo, publicado no Manual do Teste de Tetrazólio (AOSA, 2010).

Na Figura 6.3 observa-se as estruturas do embrião separadas em cada metade da semente após o corte longitudinal deixando a semente intacta na extremidade distal, que resulta em uma apresentação melhor da semente para a interpretação do teste. Nota-se que mesmo o corte sendo realizado longitudinalmente no meio da semente, este pode não ser simétrico e acabar induzindo o avaliador ao erro durante a avaliação, quando se observa apenas as estruturas de uma das metades.

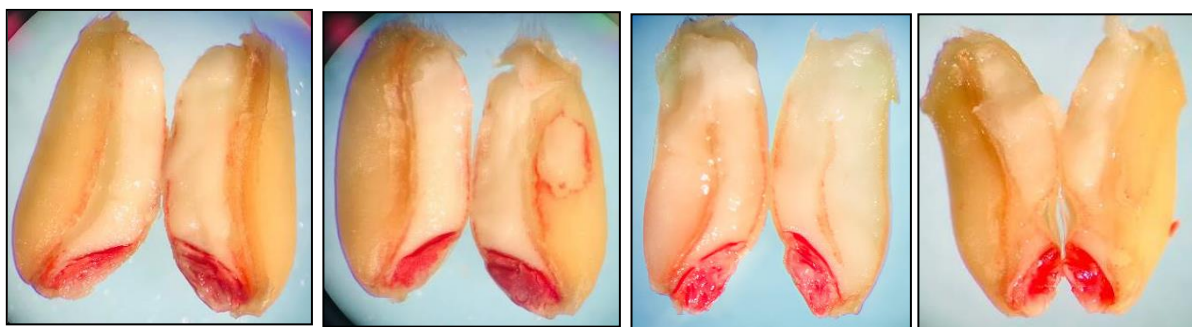


Figura 6.3. Corte longitudinal da semente de trigo para avaliação no teste de tetrazólio utilizando duas metades da semente.

Posteriormente, foram estudadas as classes pré-estabelecidas por Carvalho et al. (2013) para a obtenção dos dados da viabilidade e de vigor pelo teste de tetrazólio. Com base nas classes já estabelecidas foram organizadas as subclasses de vigor descritas na Tabela 6.3, a qual foi utilizada como base para análise individual de cada semente. Foram computadas como sementes viáveis (TZ VIABILIDADE) as incluídas nas classes de sementes 1 (viáveis e vigorosas) e 2 (viáveis e não vigorosas); e como potencialmente vigorosas (TZ VIGOR) as incluídas apenas na classe 1 (viáveis e vigorosas). Nas classes 3 e 4 foram incluídas as sementes não viáveis e mortas, respectivamente. Na Figura 6.4 estão ilustradas as subclasses estabelecidas no estudo.

Tabela 6.3. Classes e subclasses de vigor para avaliação do teste de tetrazólio em sementes de trigo.

CLASSE	SUBCLASSES: DESCRIÇÃO
<b>1- VIÁVEIS E VIGOROSAS</b>	<p>A – Sementes perfeitas que apresentam coloração rosa brilhante, uniforme e superficial, sem lesões do embrião.</p> <p>B – Sementes com embrião de coloração rosa brilhante, uniforme e superficial, que apresentam pequenas áreas com coloração mais intensa.</p> <p>C – Sementes com embrião de coloração rosa brilhante, uniforme e superficial, que apresentam pequenas áreas esbranquiçadas ou pontos deteriorados nas extremidades do escutelo, mas sem atingir a região central.</p>
<b>2- VIÁVEIS E NÃO VIGOROSAS</b>	<p>A – Sementes que apresentam danos atingindo a radícula e/ou coleorriza, mas com a região do mesocótilo (raízes seminais) intacta.</p> <p>B – Sementes que apresentam danos ou regiões descoloridas nas extremidades do escutelo, mas sem atingir regiões vitais do embrião.</p> <p>C – Sementes com coloração mais intensa uniforme e superficial em toda região do embrião.</p> <p>D – Sementes com embrião parcialmente colorido, desde que os tecidos do embrião e escutelo estejam firmes e brilhantes.</p> <p>E – Sementes com coloração mais intensa uniforme e superficial nas regiões do coleóptilo, da plúmula, do mesocótilo, da radícula e da coleorriza, com escutelo de coloração mais clara com contorno de coloração mais escura.</p>
<b>3- NÃO VIÁVEIS</b>	<p>A – Sementes com intensa coloração do embrião e com mais de <math>\frac{3}{4}</math> da radícula não colorida.</p> <p>B – Sementes com áreas descoloridas na plúmula, região do coleóptilo, radícula, coleorriza e porção inferior do escutelo.</p> <p>C – Sementes com eixo embrionário descolorido e com a escutelo colorido.</p> <p>D – Sementes com embrião parcialmente colorido e com escutelo descolorido.</p> <p>E – Sementes com escutelo totalmente descolorido.</p>
<b>4- MORTAS</b>	<p>A – Sementes com embrião não colorido, com aspecto esbranquiçado ou acinzentado.</p> <p>B – Sementes com embrião ausente.</p>

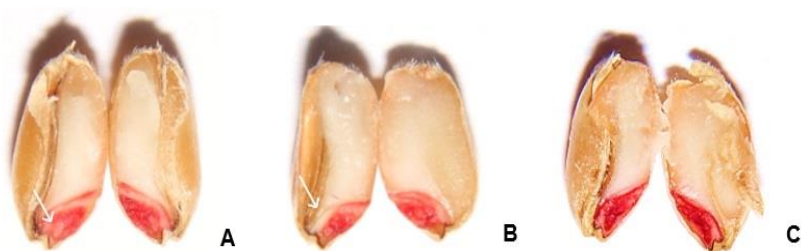
**Classe 1****Classe 2****Classe 3****Classe 4**

Figura 6.4. Sementes de trigo: classe 1 (subclasses A, B e C), classe 2 (subclasse A, B, C, D e E), classe 3 (subclasses A, B, C, D e E) e classe 4 (subclasse A e B).

Os resultados da análise de variância estão descritos na Tabela 6.4.

Tabela 6.4. Resumo da análise de variância do teste de tetrazólio (TZ VIABILIDADE e TZ VIGOR) em sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150.

Fonte de Variação	Quadrados Médios		
	GL	TZ VIABILIDADE	TZ VIGOR
Tratamento	6	51,24	404,57
Erro	21	5,43	2,00
Teste F <sup>(Cal)</sup>	-	9,44**	202,28**

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Observa-se que houve diferença entre os lotes das sete cultivares de trigo na avaliação da viabilidade e do vigor das sementes por meio do teste de tetrazólio. O teste de viabilidade das sementes apresentou resultados semelhantes aos do teste de germinação (Tabelas 6.5 e 6.2) e indicou os lotes 1, 3, 4 e 7 de qualidade superior, 5 e 6 intermediária e o lote 2 de qualidade inferior. Da mesma forma, a eficiência do teste de tetrazólio também foi observada na avaliação da viabilidade de sementes de trigo (CARVALHO et al., 2012-2013), triticale (SOUZA et al., 2010), arroz (CARVALHO et al., 2017; 2019).

Tabela 6.5. Valores médios do percentual de sementes viáveis (TZ VIABILIDADE) e vigorosas (TZ VIGOR) obtidos por meio do teste de tetrazólio em sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150.

Lote	TZ VIABILIDADE	TZ VIGOR
	-----%-----	
1	96 a	93 ab
2	84 b	63 d
3	97 a	97 a
4	99 a	97 a
5	91 ab	69 c
6	92 ab	91 b
7	96 a	95 ab
C.V.(%)	2,49	1,64

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Para os dados de vigor houve separação dos lotes de maneira semelhante ao dos testes de primeira contagem da germinação (PC),

envelhecimento acelerado (EA) e emergência de plântulas em campo (EPC) (Tabela 6.5). Os lotes 1, 3, 4, e 7 foram classificados de alto vigor, o lote 6 de médio vigor e os lotes 2 e 5 de baixo vigor.

Os coeficientes de correlação entre os resultados dos testes de germinação, primeira contagem da germinação, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas em campo e viabilidade e vigor obtidos por meio do teste de tetrazólio encontram-se na Tabela 6.6.

Tabela 6.6. Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) estimados entre os testes de germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA), emergência de plântulas em campo (EC) e viabilidade (TZVIA) e vigor (TZVIG) obtidos por meio do teste de tetrazólio em sete lotes de sementes de trigo da cultivar CD 150.

	G	PC	EA	EC	TZVIA	TZVIG
G	1					
PC	0,94**	1				
EA	0,98**	0,94**	1			
EC	0,93**	0,95**	0,90**	1		
TZVIA	0,97**	0,88*	0,96**	0,87*	1	
TZVIG	0,95**	0,99**	0,94**	0,96**	0,90**	1

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo test t.

Verifica-se que houve correlação positiva e altamente significativa ( $r = 0,97^{**}$ ) entre os resultados de germinação e a viabilidade avaliada pelo teste de tetrazólio. Da mesma forma, o vigor das sementes avaliado pelo teste de tetrazólio apresentou correlação positiva e altamente significativa com os testes de primeira contagem ( $r = 0,99^{**}$ ), envelhecimento acelerado ( $r = 0,94^{**}$ ) e emergência de plântulas em campo ( $r = 0,96^{**}$ ). Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho et al. (2013) que obtiveram alta correlação ( $r = 1,00^{**}$ ) entre os resultados do vigor avaliado pelo teste de tetrazólio e emergência de plântulas em campo em sementes de trigo.

Em complemento à metodologia existente, os resultados da presente pesquisa indicam que o ajuste no preparo das sementes antes da coloração, utilizando-se as duas metades da semente para avaliação, conferem maior assertividade para avaliação do teste de tetrazólio em sementes de trigo. Mesmo as observações do ajuste no preparo das sementes não terem sido comparadas estatisticamente com o estabelecido por Carvalho et al. (2013), foi possível observar

que o uso das duas metades da semente favoreceu a leitura do teste, pois a semente cortada, colocada para colorir, e as metades separadas apenas no momento da leitura reduz a subjetividade durante a avaliação. Dessa forma, é possível observar de maneira mais assertiva todas as estruturas do embrião, uma vez que o uso de uma metade apenas pode levar à uma falsa interpretação do resultado, pois o corte pode não ser totalmente simétrico em todas as sementes.

Da mesma forma, com base no estudo das classes de vigor pré-estabelecidas, a observação individual de cada semente durante as avaliações permitiu incluir mais detalhes à descrição das classes existentes, assim como organizá-las em subclasses, fornecendo resultados promissores para avaliação do vigor de sementes de trigo. O maior detalhamento das características dentro de cada classe é importante para reduzir a subjetividade por parte do analista durante a classificação das sementes no teste.

Diferentemente do detalhamento que já é realizado no teste de tetrazólio para soja (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018), não foi possível identificar os fatores responsáveis pelos danos e redução da qualidade das sementes, como deterioração por umidade e danos mecânicos, como exemplos. Todas as alterações resultantes do processo de deterioração observadas no embrião como um todo e suas partes, são decorrentes de condições ambientais de produção e armazenamento, portanto, existe um efeito pronunciado de temperatura e umidade relativa do ambiente na deterioração. Provavelmente toda a deterioração julgada nas diferentes classes é subsequente de dano por umidade, visto que não foi observado trincas decorrentes de dano mecânico imediato e nem de lesões de coloração vermelho escura, caso tenham ocorrido recentemente, ou por lesões brancas com tecidos flácidos, ou não recentes, que caracterizam o dano mecânico latente.

Assim, outros estudos podem ser conduzidos direcionando amostras de sementes a esses danos, como uma forma de obtenção de resultados mais precisos, pois danos específicos como os citados são mais incomuns de serem encontrados ao acaso. Ressalta-se que nas amostras de sementes em estudo, foram observados em algumas sementes danos no escutelo, caracterizado pela sua coloração mais clara com contorno de coloração mais escura, como descrito na classe 2 E (Figura 6.3), sendo este relacionado à altas temperaturas (DON; McLAREN, 2005).

#### 6.4 CONCLUSÕES

A utilização das duas metades da semente para avaliação confere maior assertividade nos resultados do teste de tetrazólio em sementes de trigo.

As classes de vigor podem ser subdivididas em subclasses para facilitar a classificação das sementes.

## 6.5 REFERÊNCIAS

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Rules for testing seeds**. Association of Official Seed Analysts. AOSA, Washington, DC, USA, 2018.

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Tetrazolium Testing Handbook**. Washington, DC, 2010. 414p. (Contribution, 29).

BARROS, A.S.R.; DIAS, M.C.L.L. O teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica das sementes de milho. **Informativo ABRATES**, Londrina. v. 5, n. 2, p. 159, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

CARVALHO, T.C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; OHLSON, O.C.; PANOBIANCO, M. Improved assessment of wheat seeds vigor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 6, p. 608-614, 2012.

CARVALHO, T.C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; OHLSON, O.C.; PANOBIANCO, M. Tetrazolium test adjustment for wheat seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 25, n. 3, p. 361-367, 2013.

CARVALHO, I.L.; MENEGHELLO, G.E.; DE TUNES, L.M.; JÁCOME, C.C.; SOARES, V.N. Methodological adjustments to the tetrazolium test in rice. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 39, n. 1, p. 041-049, 2017.

CARVALHO, I.L.; MENEGHELLO, G.E.; TUNES, L.M.; COSTA, C.J.; SOARES, V.N. Preparo da semente de arroz para execução do teste de tetrazólio. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 1, p. 51-63, 2019.

COIMBRA, R.A.; MARTINS, C.C.; TOMAZ, C.A. E NAKAGAWA, J. Testes de vigor utilizados na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho-doce (sh2). **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2402-2408, 2009.

COSTA, N.P.; FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. Metodologia alternativa para o teste de tetrazólio em semente de soja - Série Sementes. **Circular Técnica 39**, Londrina, Paraná, 2007. 8p.

DIAS, M.C.L.L.; BARROS, A.S.R. Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de milho. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999, cap. 8, p. 8.4-10.

DON, R.; MCLAREN, G. **ISTA Tetrazolium Vigour Comparative Test**. Seed Testing International, n. 129 April 2005.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. **Metodologia do teste de tetrazólio**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 108p. (Documentos 406).

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; DIAS, M.C.L.L.; BARROS, A.S.R. Teste de tetrazólio em sementes de milho. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; MARCOS-FILHO, J.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. 601p.

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

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015b. 660p.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C., VIEIRA, R.D., FRANÇA NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. (Ed.). **Vigor de sementes: Conceitos e Testes**. Londrina: ABRATES, 2020. cap. 4, p. 185-237.

SOUZA, C.R.; OHLSON, O.C.; GAVAZZA, M.I.A.; PANOBIANCO, M. Tetrazolium test for evaluating triticale seed viability. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 163-169, 2010.