

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ENVELHECIMENTO  
ACELERADO E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM  
SEMENTES DE SORGO SACARINO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Joner Silveira Dalcin**

**Santa Maria, RS, Brasil**



**CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ENVELHECIMENTO  
ACELERADO E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SEMENTES  
DE SORGO SACARINO**

**Joner Silveira Dalcin**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

**Orientador: Prof. Dr. Ubirajara Russi Nunes**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dalcin, Joner Silveira  
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ENVELHECIMENTO ACELERADO E  
ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SEMENTES DE SORGO SACARINO /  
Joner Silveira Dalcin.-2015.  
154 p.; 30cm

Orientador: Ubirajara Russi Nunes  
Coorientadores: Rogério Luiz Backes, Marcos Paulo  
Ludwig  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, RS, 2015

1. Sorghum bicolor 2. Condutividade elétrica 3.  
Envelhecimento acelerado 4. Enzimas 5. Qualidade  
fisiológica I. Nunes, Ubirajara Russi II. Backes, Rogério  
Luiz III. Ludwig, Marcos Paulo IV. Título.

---

© 2015

Todos os direitos reservados a Joner Silveira Dalcin. A reprodução de artes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Appel, n. 455, Bairro de Nossa Senhora de Fátima, Santa Maria, RS. CEP: 97015-030; Fone (055) 99328402.

E-mail: joner\_dalcin@yahoo.com.br

---



**Universidade Federal De Santa Maria  
Centro De Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ENVELHECIMENTO  
ACELERADO E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SEMENTES DE  
SORGO SACARINO**

Elaborado por

**Joner Silveira Dalcin**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA**



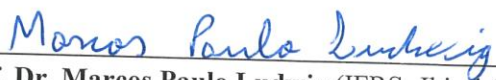
---

**Prof. Dr. Ubirajara Russi Nunes**  
(Presidente/orientador)



---

**Prof. Dr. Rogério Luiz Backes (UFMS)**



---

**Prof. Dr. Marcos Paulo Ludwig (IFRS- Ibirubá)**

Santa Maria, 24 de julho de 2015.



## **Dedicatória**

### **Memorial a terra**

A terra dá e a terra tira...  
Assim é o ciclo do viver que a gente aprende  
Dia após dia, verdejando à sua maneira,  
Se entrega inteira pro suor que a gente vende

A terra é assim e a gente usa...  
Casco de boi pisa primeiro, depois corta  
Cada semente que se enterra e bem fecunda  
É um sinal que a terra ainda não tá morta

Longe da terra, tanta gente...  
Espera o dia de pisar suas botas nela  
De pouco adianta desejar, sem ter porquê  
Nem merecer erguer um rancho sobre ela

Perto da terra, nestes campos...  
Tropas vicejam pra um sustento tão comum  
De pouco adianta olhar o trigo florescer  
Sem perceber que ele é o pão de cada um

Assim é a terra, sem nos cobrar...  
Até o dia que nos planta qual semente  
Quem foi da terra, volta pra ela  
Pra desejar ser planta boa ou semente

A terra dá, a gente tira...  
Assim é o ciclo do viver que não se esquece  
Por soberana, sabe bem dos seus sentidos  
Só mesmo ela pra cobrar o que merece.

Luiz Marengo

### **Dedico este trabalho**

A Deus e Nossa Senhora Aparecida,  
aos meus pais Francisco e Neusa  
à minha irmã Tássia  
e à minha namorada, companheira Fernanda,  
pelo amor, carinho e apoio de todos.





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e Nossa Senhora Aparecida, que com sua graça amor e cuidado, nos mostram o caminho certo e a viver a vida do melhor jeito possível e ser mais humano uns com os outros.

Aos meus pais Francisco e Neusa, meu eterno agradecimento pelo amor e carinho, por permitir, dar suporte e sempre incentivar a realização de tudo que estivesse relacionado à educação, em especial, deste curso de mestrado.

À minha namorada Fernanda Ramos pelo amor, carinho, ajuda e apoio durante o trabalho.

À minha irmã Tássia pelo apoio, amizade e por sempre acreditar em mim.

Em especial, ao professor Ubirajara Russi Nunes, pela oportunidade de realizar o mestrado através da acolhida inicial, pois não tinha orientador, pela orientação, paciência, ensinamentos e principalmente pela amizade que construímos ao longo do curso.

À professora Luciane Tabaldi pela ajuda, ensinamentos, amizade e atenção que nunca deixou de oferecer, mesmo com todas suas tarefas e a toda sua equipe pelo grande auxílio para uma parte muito importante do meu trabalho.

Ao professor Alberto Cargnelutti Filho pelo auxílio em toda a estatística do trabalho e principalmente pelos conselhos quanto ao trabalho e para mim.

Ao professor Sandro Luis Petter pelo auxílio durante o desenvolvimento do projeto e pela disponibilidade sempre que solicitado.

Ao professor Rogério Luiz Backes pela sua disponibilização para a banca, pela amizade construída e pelos conselhos e ajuda quando solicitado.

Ao professor Marcos Ludwig por aceitar participar da banca examinadora, sem mesmo me conhecer.

Ao amigo Fernando Haesbaert pela ajuda na estatística quando precisei de imediato.

Aos amigos e colegas do Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes: Tiéle Fernades, Juceli Muller, Roberto Carbonera, Lovane Fagundes, Ingrid Cabrera, Rodrigo Roso, Mariane Comiran, Silvia Nunes, Eduardo Ludwig, Vitor Linn, Ricardo de Melo, Vagner Carvalho, Fabio Furh, Fabio Knebel, Ana Paula Mezzalira e todos demais pelo acolhimento, amizade e ajuda durante a execução dos trabalhos.

Aos funcionários do Laboratório de Sementes de Produção, em especial o Nilson Mattioni.

Aos funcionários de campo João Colpo, Hildo, Beto, Joel e Roger pela ajuda, companheirismo e acolhida.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade.

Ao CNPq pelo apoio financeiro através da bolsa concedida.

Enfim, a todas as pessoas que não foram mencionadas, mas que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

**Muito obrigado!**



“El hombre comienza a valer cuando aprende a entender y a respetar la tierra que pisa.”

**Atahualpa Yupanqui.**



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### **CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ENVELHECIMENTO ACELERADO E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SEMENTES DE SORGO SACARINO**

AUTOR: JONER SILVEIRA DALCIN  
ORIENTADOR: UBIRAJARA RUSSI NUNES  
LOCAL E DATA DE DEFESA: SANTA MARIA, 24 DE JULHO DE 2015.

O objetivo do presente trabalho foi analisar a qualidade das sementes de sorgo sacarino e suas relações bioquímicas e fisiológicas pelos testes de condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e atividade das enzimas. Foram analisadas sementes de quatro lotes de cada cultivar BRS 506 e F-19 separadamente. A qualidade física e fisiológica foram avaliadas através do grau de umidade, peso de mil sementes e dos testes de germinação, primeira contagem da germinação, comprimento de radícula e parte aérea, massa seca, teste de frio e emergência de plântulas a campo e, posteriormente foram submetidas aos seguintes experimentos: i: condutividade elétrica massal com variações no tempo de embebição (2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas), temperatura (20, 25 e 30°C), número de sementes (25 e 50), volume de água (50 e 75 mL); ii: condutividade elétrica individual com variações no tempo de embebição (2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas); iii: envelhecimento acelerado artificial utilizando-se variações na temperatura (41, 43 e 45°C) e no tempo de armazenamento (48, 96 e 120 horas); e iv: atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e guaiacol peroxidase (POD) para raiz e parte aérea. Os experimentos foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado e foram avaliados através da comparação de médias pelo teste de Scott-Knott para as enzimas e teste de Tukey para as demais variáveis. Os resultados obtidos nos testes de condutividade elétrica permitem concluir que: a) foi possível detectar apenas o lote de menor qualidade fisiológica da cultivar F-19, principalmente nas combinações utilizando a temperatura de 20°C, 75 mL e 25 sementes; b) não houve estratificação dos lotes pela qualidade fisiológica na cultivar BRS 506 em função da semelhança entre os lotes; c) o teste de condutividade elétrica individual foi eficiente em detectar o lote de menor qualidade fisiológica para as duas cultivares, sendo possível realizá-lo em 24 horas nas duas cultivares. Os resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado e atividade das enzimas permitem concluir que: a) o envelhecimento acelerado foi sensível em detectar diferenças entre os lotes e sua relação com a qualidade fisiológica; b) a temperatura de 43°C e 96 horas se relacionaram melhor com o potencial de qualidade fisiológica dos lotes; c) a atividade das enzimas foi específica em cada órgão da plântula, havendo menor atividade da SOD nas raízes e maior atividade na parte aérea, e na enzima POD, maior atividade nas raízes e menor atividade na parte aérea; d) a qualidade dos lotes de sementes de cada cultivar influenciou na atividade das enzimas SOD e POD; e) 45°C e 96 horas foi prejudicial para as enzimas diminuindo a atividade.

**Palavras-chave:** Qualidade. *Sorghum bicolor*. Testes. Vigor.



## ABSTRACT

Master Degree Dissertation  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **ELECTRICAL CONDUCTIVITY, ACCELERATED AGING AND ENZYME ACTIVITY IN SWEET SORGHUM SEEDS**

AUTHOR: JONER SILVEIRA DALCIN

ADVISER: UBIRAJARA RUSSI NUNES

LOCATION AND DATE OF PRESENTATION: Santa Maria, July 24<sup>th</sup>, 2015.

The objective of this study was to analyze the quality of sweet sorghum seeds and their biochemical and physiological relationships by the tests of electrical conductivity, accelerated aging and activity of enzymes. Four seed lots were analyzed for each cultivar BRS 506 and F-19 separately. The physical and physiological quality were evaluated by the moisture content, weight of a thousand seeds and germination, first count of germination, length of radicle and aerial portion, dry weight, cold test and seedling emergence in the field and later were subjected to the following experiments: i: electrical conductivity mass with variations in immersion time (2, 4, 6, 8, 12 and 24 hours), temperature (20, 25 and 30 ° C), number of seeds (25 and 50), water volume (50 ml and 75); ii: Individual electrical conductivity variations in the soaking time (2, 4, 6, 8, 12 and 24 hours); iii: artificial accelerated aging using variations in temperature (41, 43 and 45 ° C) and storage time (48, 96 and 120 hours); and iiiii: activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD) and guaiacol peroxidase (POD) to root and aerial portion. The experiments were conducted in a completely randomized design and were assessed by comparison of means by the Scott-Knott test for enzymes and Tukey test for the other variables. The results obtained in electrical conductivity conclude that: a) it was possible to detect only the low vigor lot of the F-19 cultivar, especially in combinations using a temperature of 20 ° C, 75 mL and 25 seeds; b) there was no stratification of lots by the physiological quality on BRS 506 depending on the similarity between batches; c) the individual electrical conductivity test was efficient in detecting the lot of low physiological quality for both cultivars, and it can be accomplish in 24 hours in both cultivars. The results of the accelerated aging test and enzyme activity can be concluded that: a) the accelerated aging was sensitive to detect differences between the lots and their relation to physiological quality; b) at a temperature of 43 ° C and 96 hours were related with the best potential physiological quality of the lots; c) the enzyme activity was specific for each seedling body, with lower activity of SOD in roots and increased activity in the aerial portion, and POD enzyme, increased activity in the roots and lower activity in the aerial portion; d) the quality of the lots of each cultivar seeds influenced the activity of enzymes SOD and POD; e) 45 ° C and 96 hours was detrimental to the enzymes decreasing their activity.

**Keywords:** Quality. *Sorghum bicolor*. Tests. Vigor.





## LISTA DE TABELAS

### CAPITULO I

- Tabela 1- Médias de grau de umidade e peso de mil sementes de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino BRS 506 e F-19. Santa Maria, UFSM, 2015. .... 51
- Tabela 2- Caracterização inicial em sementes de sorgo sacarino com as médias para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS) e emergência a campo (EC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. .... 53
- Tabela 3- Caracterização inicial em sementes de sorgo sacarino com as médias para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS) e emergência a campo (EC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015. .... 54
- Tabela 4- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 20°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. .. 56
- Tabela 5- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 25°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. .. 58
- Tabela 6- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 30°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. .. 62
- Tabela 7- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 20°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015. .... 65
- Tabela 8- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 25°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015. .... 67
- Tabela 9- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50

sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 30°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015. ....70

Tabela 10- Médias de condutividade elétrica individual ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{semente}^{-1}$ ) em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, utilizando tempos de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas na temperatura de 25°C para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. ....74

Tabela 11- Médias de condutividade elétrica individual ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{semente}^{-1}$ ) em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, utilizando tempos de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas na temperatura de 25°C para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015. ....77

## CAPITULO II

Tabela 1- Médias de umidade e peso de mil sementes de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino BRS 506 e F-19. Santa Maria, UFSM, 2015.....96

Tabela 2- Caracterização inicial em sementes de sorgo sacarino com as médias para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS), emergência de plântulas a campo (EC), de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015....97

Tabela 3- Caracterização inicial em sementes de sorgo sacarino com as médias para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS), emergência de plântulas a campo (EC), de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015. ....98

Tabela 4- Teste de envelhecimento acelerado com as respectivas médias da primeira contagem das plântulas normais de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino utilizando as temperaturas de 41°C, 43°C e 45°C, nos tempos de exposição de 48, 96 e 120 horas para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015. ....99

Tabela 5- Teste de envelhecimento acelerado com as respectivas médias da primeira contagem das plântulas normais de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino utilizando as temperaturas de 41°C, 43°C e 45°C, nos tempos de exposição de 48, 96 e 120 horas para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. ....104

Tabela 6- Médias da primeira contagem de plântulas normais (PC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, referentes à testemunha (sem envelhecimento acelerado) das enzimas, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. ....110

Tabela 7- Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) ( $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{proteína}$ ), na parte aérea e em raízes de plântulas de quatro lotes de sementes de duas cultivares de sorgo sacarino BRS 506 e F-19, após o teste de envelhecimento acelerado com a combinação de temperatura de

41, 43 e 45°C durante o período de exposição de 48 e 96 horas. UFSM, Santa Maria, 2015.  
..... 112

Tabela 8- Atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) ( $\text{U. mg}^{-1}$  proteína), na parte aérea e em raízes de plântulas de quatro lotes de sementes de duas cultivares de sorgo sacarino BRS 506 e F-19, após o teste de envelhecimento acelerado com a combinação de temperatura de 41, 43 e 45°C durante o período de exposição de 48 e 96 horas. UFSM, Santa Maria, 2015.  
..... 121



## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A- Resumo da análise de variância da caracterização da qualidade fisiológica inicial para o experimento de condutividade elétrica massal e individual, para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS), emergência de plântulas a campo (EC), de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. 152

Apêndice B- Resumo da análise de variância da caracterização da qualidade fisiológica inicial para o experimento do envelhecimento acelerado, para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS), emergência de plântulas a campo (EC), de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para as cultivares BRS 506 e Fepagro F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. .... 152

Apêndice C- Resumo da análise de variância da condutividade elétrica massal (CEM) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. .... 153

Apêndice D- Resumo da análise de variância da condutividade elétrica individual (CEI) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. .... 154

Apêndice E- Resumo da análise de variância da primeira contagem de plântulas normais (PC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, referentes ao experimento de envelhecimento acelerado, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. .... 154

Apêndice F- Resumo da análise de variância da primeira contagem de plântulas normais (PC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, referentes à testemunha (sem envelhecimento acelerado) das enzimas, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015..... 154

Apêndice G- Resumo da análise de variância da atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e guaiacol peroxidase (POD) da raiz e parte aérea, de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015. .... 155



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>26</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>30</b>
<b>2.1 A cultura do sorgo.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2 Qualidade fisiológica e alterações bioquímicas em sementes.....</b>	<b>32</b>
<b>3 CAPÍTULO I: TESTES DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA MASSAL E INDIVIDUAL E SUAS RELAÇÕES COM A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO SACARINO.....</b>	<b>44</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>47</b>
3.2.1 Caracterização inicial dos lotes de sementes de sogo sacarino.....	48
3.2.2 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes pelo teste de condutividade elétrica massal e individual.....	50
3.2.3 Análise estatística.....	50
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>3.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>79</b>
<b>3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>
<b>4 CAPÍTULO II: TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SEMENTES DE SORGO SACARINO.....</b>	<b>86</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>88</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>90</b>
4.2.1 Avaliação da qualidade física e fisiológica das sementes de sorgo sacarino.....	90
4.2.2 Caracterização inicial dos lotes de sementes de sogo sacarino.....	90
4.2.3 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes pelo teste de envelhecimento acelerado.....	92
4.2.4 Determinação da atividade das enzimas antioxidantes.....	93
4.2.5 Análise estatística.....	94
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>95</b>
<b>4.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>126</b>



<b>4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>126</b>
<b>5 RECOMENDAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS.....</b>	<b>137</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>139</b>
<b>7 APÊNDICES .....</b>	<b>152</b>

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma espécie que foi domesticada ao longo das gerações. Atualmente é possível obter diferentes cultivares e híbridos com características específicas para cada local, melhoradas, evoluídas quanto ao porte e a produtividade de grãos, forragem e caldo. É considerado o quinto cereal mais cultivado no mundo (EMBRAPA, 2003).

Possui adaptação aos locais quentes e secos, onde, normalmente a produtividade de grãos ou forragem das culturas é restrita e a possibilidade de alcançar altas produções com outros cereais é muito baixa. Estas características de maior adaptabilidade a locais extremos, provavelmente, deve-se ao fato, de que sua origem é no continente africano, na qual possuem clima muito quente e seco (CARVALHO et al., 2000; EMBRAPA, 2003).

Na safra 2014/15 a área semeada com a cultura de sorgo no Brasil, foi de 751.000 hectares, atingindo uma produção de 2.013.900 toneladas e produtividade de 2.682 kg ha<sup>-1</sup>. No Rio Grande do Sul, para a safra passada 2013/14, este levantamento revelou que a área semeada foi de 14.400 hectares, com produção de 39.000 toneladas de grãos e produtividade de 2.708 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). Estas estimativas demonstram que é uma cultura com potencial para aumentar a produtividade e a área de semeadura.

O sorgo se encaixa como uma alternativa de produção num sistema integrado que visa diversificação e rotação de culturas. Além disso, é uma opção diferenciada pela sua versatilidade de usos, para produção de biocombustível (etanol), colas, tintas, extração de açúcar de seus colmos, consumo animal na forma de silagem, pastejo direto e na mistura de rações (EMBRAPA, 2003).

Neste contexto, Macedo (2007) comenta que no Brasil o etanol correspondeu a 40,6% do combustível utilizado para veículos leves (total de 19,2 milhões de veículos em 2005). Um estudo de Macedo (2006) revela que ao longo dos anos as emissões de poluentes podem ser reduzidas e que existe uma grande diferença entre os diversos biocombustíveis e as matérias-primas utilizadas. O sorgo sacarino na África demonstrou um dos melhores desempenhos de balanço de energia, perdendo apenas para a cana-de-açúcar, validando a característica de ser uma alternativa viável como biocombustível.

Entretanto, apresentar-se apenas como uma cultura alternativa e promissora em seu cultivo e com boas características agronômicas não é o suficiente. O mercado deve oferecer

sementes de qualidade que garantam bom desempenho e produção no campo. Existem vários aspectos importantes em relação às sementes, destacando-se como uma das principais, a qualidade fisiológica. Sementes que possuem alto potencial fisiológico são capazes de tolerar condições ambientais menos favoráveis. Conseqüentemente aspectos importantes como germinação e a emergência, tornam-se mais uniformes em condições de campo. Eventos desejáveis para o sucesso do estabelecimento e do estado de plantas, além disso, é o início promissor para garantir maiores produtividades (MARCOS FILHO, 2005; MARCOS FILHO; CICERO; SILVA, 1987).

Em um processo de rotina, o teste mais comum utilizado é a germinação. O objetivo principal concentra-se em avaliar a qualidade das sementes. Porém, o alto grau de padronização e as condições ótimas adotadas que podem superestimar o potencial fisiológico das sementes (BRASIL, 2009; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; MARCOS FILHO, 2005).

Dessa forma, faz-se necessário realizar testes que proporcionem às sementes expressar todo seu potencial, em diferentes condições que se aproximem da realidade a campo. Através de informações mais específicas e relevantes que possibilitem aos lotes de sementes a adequada estratificação em diferentes níveis de vigor. O teste de vigor deve trazer informação adicional da qualidade da semente. Além do teste de vigor, a realização de outros testes bioquímicos, como a condutividade elétrica e testes de estresse, como o envelhecimento acelerado, podem fornecer informações adicionais que facilitem a discriminação dos lotes de sementes quanto a sua qualidade fisiológica (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999; MARCOS FILHO, 2005; MCDONALD, 1975; MCDONALD, 1999).

Matthews e Bradnock (1967) estudaram detalhadamente a metodologia do teste bioquímico da condutividade elétrica, atualmente utilizado amplamente em diversas espécies e padronizado para as sementes de ervilha. Vários outros autores realizaram o teste mostrando ser eficiente para avaliar vigor de sementes indiretamente. Todavia, diversos fatores como o genótipo e a característica peculiar de cada tegumento podem influenciar nos resultados, na maior ou menor liberação dos lixiviados para o meio, podendo, ou não, ser eficiente para determinada espécie em estudo (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999; MATTHEWS; POWELL, 1981; RECH; VILLELA; TILLMANN, 1999).

No método massal utiliza-se uma amostra de sementes e o valor determinado baseia-se na média da condutividade da massa de sementes. Contudo, se houver sementes deterioradas em relação à amostra, o valor da condutividade pode ser elevado, mascarando o resultado e aumentando a variação entre as repetições. Através do método individual, analisa-se a

condutividade individualmente para cada semente, facilitando de maneira eficiente a interpretação dos resultados (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999). Várias pesquisas vêm sendo realizadas com a utilização do teste de condutividade elétrica em culturas como pimenta (VIDIGAL et al., 2008), pimentão (OLIVEIRA; NOVEMBRE, 2005), tomate (RODO et al., 1998), aveia preta (MENEZES et al., 2007), amendoim (VANZOLINI; NAKAGAWA, 1999) e milho (ROSA et al., 2000).

O teste de envelhecimento acelerado foi inicialmente desenvolvido com a finalidade de estimar a longevidade de sementes armazenadas. Entretanto, sua utilização foi ampliada com vários estudos, em diferentes culturas e principalmente na tentativa de padronização (DELOUCHE; BASKIN, 1973). Segundo AOSA (1983), nesse teste as sementes são submetidas às condições extremas de alta temperatura e umidade relativa elevada por um período relativamente curto, posteriormente são colocadas para germinação. Apenas lotes de sementes que possuírem alto vigor manterão suas características de viabilidade. McDonald e Phannendranath (1978) desenvolveram o procedimento mais recomendado para esse teste, muito utilizado atualmente por diversos pesquisadores. No entanto, inúmeras modificações e tentativas de aprimoramento da metodologia, vêm sendo realizadas e associadas em inúmeras espécies.

A determinação das variáveis de temperatura e período de exposição, a serem utilizadas no teste, pode ser difícil de estabelecer. Mesmo variações pequenas como 0,5 °C podem afetar o resultado do teste (TEKRONY, 2003). Alguns autores estudando o efeito do envelhecimento acelerado em sementes de sorgo estabeleceram diferentes variáveis de temperatura e período de armazenamento, mostrando a variabilidade e sensibilidade existente no teste (IBRAHIM; TEKRONY; EGLI, 1993; MIRANDA; NOVEMBRE; CHAMMA, 2001; SOUZA; MARCOS FILHO, 1975).

Essas alterações de temperatura e períodos de armazenamento durante o teste de envelhecimento acelerado aumentam a deterioração das sementes e provocam alterações em sistemas enzimáticos. A detecção da atividade enzimática ocorre logo após o período inicial de embebição. A partir desse momento, muitas transformações ocorrem no processo de deterioração das sementes e determinadas enzimas atuam especificamente. Durante o envelhecimento é detectada a atividade das proteases, que hidrolisam a mobilização de proteínas, acompanhando o aumento das taxas respiratórias e degradação de biomoléculas. Ocorre liberação de radicais livres que atuam na degradação de membranas, sendo necessário enzimas que removam os produtos tóxicos do complexo antioxidante, como as peroxidases, superóxido dismutase (SOD) e catalase. O aumento da atividade dessas enzimas demonstra

maior deterioração dessas sementes em função da necessidade destas atuarem de forma mais intensa (MARCOS FILHO, 2005; MCDONALD, 1999).

Informações que contemplem estes dados, no objetivo principal de utilizar testes bioquímicos, como a condutividade elétrica individual e massal, e testes de resistência ao estresse, como o envelhecimento acelerado, e a relação com a qualidade fisiológica e atividade enzimática que ocorre antes e durante o processo de germinação e posteriormente no desenvolvimento das plântulas, ainda são incipientes e sem definição de metodologias para a cultura do sorgo sacarino.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O crescimento populacional com o passar dos anos resultou em uma crescente demanda por alimentos. A necessidade de aumentar a produção determinou metas, em que os produtores tem-se esforçado para conseguir superar seus índices ao longo de cada safra planejando alcançar altos rendimentos, geralmente associados a: altos custos de produção que o mercado impõe, atrelados frequentemente aos preços flutuantes dos produtos (FAO, 2003).

De acordo com o relatório de perspectivas agrícolas da FAO (2014), a dieta das pessoas no mundo é baseada em cereais, havendo a necessidade de aumentar a utilização de proteínas, óleos e açúcar, conforme o desenvolvimento, urbanização e aumento dos rendimentos. A produção mundial de cereais deverá ser 15% maior em 2023, em relação ao período de 2011-2013. Em contra partida, as oleaginosas e culturas que possam ser utilizadas como biocombustíveis terão um crescimento em torno de 26% nos próximos dez anos.

Essa relação de crescimento da população e necessidade de alimentar os habitantes causou preocupação no mundo inteiro e vem sendo foco de estudos para garantir que não haja fome no mundo, futuramente. Atualmente entende-se que a fome não é só uma questão de produção de alimentos, mas da má distribuição ao redor do mundo. Estimativas mostram que a população mundial poderá atingir em 2050 nove bilhões de habitantes. Frente a esse cenário, as áreas de produção de grãos e demais culturas utilizadas como matéria-prima, para alimentação humana e animal já ocuparam quase a totalidade de área disponível. A alternativa viável diante dessa situação baseia-se na tentativa de produzir mais na mesma área, utilizando como auxílio, métodos e manejos que proporcionem altos rendimentos (CENSUS BUREAU, 2004; EVANS, 1993; FONTANA, 2015).

### 2.1 A cultura do sorgo

O sorgo moderno [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] provém de uma espécie selvagem, nativa do velho mundo, o [*Sorghum vulgare* Pers.] originário da África, chegou à China antes da era Cristã, mais tarde, fez o seu caminho para as partes ocidentais do mundo, via Ásia, através das rotas de navios de escravos e comércio de especiarias (FAO, 1995).

Não representa a principal cultura dentre as maiores do mundo. No entanto, ocupa a posição de quinto cereal mais cultivado no globo, evidenciando sua importância agrícola. Pertencente à família das Poaceae, possui ciclo anual, planta de dia curto e de estação quente e ciclo vegetativo em torno de 100 dias variando conforme genótipo. Possui uma característica muito importante, comum em algumas espécies desta família, o metabolismo C4, que confere maior eficiência no aproveitamento de água e adaptabilidade a locais secos e quentes (EMBRAPA, 2003).

Pode ser cultivado com sucesso em diferentes regiões dos trópicos e locais semi-áridos, onde outras culturas não se desenvolvem, sendo altamente adequado para cultivo em áreas de sequeiro. Com a irrigação, pode proporcionar altos rendimentos. Durante os períodos muito secos, o sorgo sacarino pode entrar em dormência, retomando seu crescimento quando os níveis de umidade suficiente voltar (GNANSOUNOU; DAURIAT; WYMAN, 2005).

O cultivo de sorgo é possível em todos os continentes. Em clima tropical, sub-tropical, semi-árido, regiões temperadas, bem como solos pobres em fertilidade. É conhecido como a cana do deserto e também "o camelo entre as culturas" para as suas características de resistência à seca (SANDERSON et al., 1992).

Morfologicamente, possui características, de planta ereta e altura podendo ultrapassar os 3 metros. Sistema radicular ramificado, profundo, colmo robusto e medula macia. Folhas largas e planas de 40 a 60 cm de comprimento por 4 a 7 cm de largura. Panícula ereta, compacta, multiflora, ovalada e elíptica de 10 a 30 cm de comprimento por 4 a 10 cm de diâmetro. Seu fruto em termos botânicos é denominado cariopse, onde o pericarpo está fundido com o tegumento da semente (BURKART et al., 1969; NUNES, 2015).

Segundo Silva (2010), os sorgos são classificados agronomicamente em quatro grupos. Destacam-se o forrageiro para pastejo/corte verde/fenação; vassoura; granífero; forrageiro para silagem e/ou sacarino. É considerado fonte renovável de energia e alternativa de biocombustível na produção de álcool. Lipinski e Kresovich (1982), em seus estudos, afirmam que a cana-de-açúcar, a beterraba açucareira e o sorgo sacarino, são as culturas de maior destaque e potencial como fonte de biocombustíveis limpos.

O sorgo sacarino possui características semelhantes à cana-de-açúcar, pois o açúcar é armazenado nos colmos e ainda fornece bagaço para a indústria. Além disso, apresenta algumas vantagens como o cultivo a partir de sementes e ciclo bem menor em relação à cana-de-açúcar (TEIXEIRA; JARDINE; BEISMAN, 1997).

Nas décadas de 70 e 80 foram conduzidos trabalhos pela Embrapa Milho e Sorgo em parceria com a Embrapa Clima Temperado, em que avaliaram diversas variedades, porém,

houve uma lacuna posteriormente, com a carência de trabalhos que avaliem o potencial de novas cultivares, bem como a avaliação da qualidade fisiológica de sementes (EMYGDIO, 2011).

Diante das vantagens em comparação com algumas culturas e características desejáveis, o cultivo do sorgo sacarino em diferentes locais e a produção de sementes com qualidade a partir dos diferentes genótipos disponíveis no mercado, justificam maiores esforços em seu estudo.

## **2.2 Qualidade fisiológica e alterações bioquímicas em sementes**

A tecnologia de produção visa manter ou elevar a produtividade agrícola, através de programas de melhoramento genético avançados, na tentativa de obter cultivares adaptados às diversas condições de cultivo. Entretanto, a utilização de práticas culturais modernas dentro de um sistema de produção, não são suficientes para elevar a produção, pois o potencial pode ser limitado pelo genótipo. Muitos avanços são disponibilizados para os produtores, via sementes, ou seja, a transferência de todo o potencial genético começa pelo uso de sementes selecionadas com alto potencial de qualidade (MARCOS FILHO, 2005).

A semente tem sua qualidade avaliada pelo somatório dos atributos genético, físico, fisiológico e sanitário. Determinados pela análise de uma amostra representativa de um lote. Estas características irão afetar posteriormente todas as atividades da semente, desde o início de sua germinação e durante seu crescimento e desenvolvimento até o momento em que a planta não necessite mais utilizar as reservas da semente. Esses fatores poderão interferir, quando semeadas nas condições de ambiente e na capacidade de gerar plantas de alto potencial (AOSA, 1983).

Após a maturidade fisiológica, as sementes perdem o vínculo biológico com a planta mãe e a partir dessa etapa, passam a sofrer um processo contínuo e irreversível de deterioração ou envelhecimento. Informações mais precisas deste processo, tem se tornado um dos principais motivos de estudo de tecnólogos da área de sementes, pois é por meio dessas pesquisas que o desenvolvimento de métodos de determinação do potencial fisiológico dos lotes ou vigor de sementes tem sido alcançados, na finalidade de refinar a demanda por materiais que proporcionem maior segurança na semeadura e armazenamento (CUSTÓDIO, 2005; HAMPTON; COOLBEAR, 1990).



A qualidade física das sementes é caracterizada pela presença ou não de outros componentes físicos presentes no lote de sementes. São constituintes de um lote, sementes puras, sementes de outras espécies, silvestres ou cultivadas, palha, partes da planta e outros materiais inertes. A condição física também é caracterizada pelo grau de umidade, tamanho, cor, densidade, aparência, danos mecânicos e danos causados por insetos e infecções por doenças. A qualidade fisiológica das sementes compreende sua capacidade para desenvolver funções vitais, como germinação, vigor e longevidade (POPINIGIS, 1977; POPINIGIS, 1985).

O teste padrão de germinação é muito utilizado em laboratórios e fornece informações relevantes sobre a qualidade da semente, entretanto, apresenta limitações quanto à capacidade de diferenciação dos lotes e a estratificação em níveis de vigor, além da demora na obtenção dos resultados. Tal fato tem impulsionado o desenvolvimento de testes rápidos de vigor que sejam principalmente, confiáveis, rápidos e agilizem a tomada de decisões (HAMPTON; COOLBEAR, 1990; KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999; MARCOS FILHO, 2005; MCDONALD, 1975; MCDONALD, 1999).

Vigor de uma semente ou lote, não é determinado apenas por uma característica, mas através de um conjunto de características que determinam o desempenho das sementes. Vários pesquisadores tem estudado alternativas que demonstrem da melhor forma possível, a qualidade fisiológica dos lotes de sementes, na tentativa de adequar metodologias de testes rápidos para avaliação do vigor para diversas culturas. Apenas um único teste germinativo, fisiológico ou bioquímico, não é apropriado para avaliar a qualidade das sementes de uma espécie, mesmo sob diversas condições. Portanto, as avaliações do potencial fisiológico das sementes em laboratório devem ser baseadas no conjunto de resultados de diferentes testes (HAMPTON; COOLBEAR, 1990; MARCOS FILHO 1990; MARCOS FILHO, 1994b; PERRY, 1981; VIEIRA; CARVALHO; SADER, 1994).

Diante disso, percebe-se que existe a demanda da indústria de sementes, por testes rápidos que avaliem o comportamento de lotes quanto à viabilidade ou vigor e que sejam utilizados na rotina de laboratórios (CUSTÓDIO, 2005). Atualmente os testes mais estudados e desenvolvidos pelos pesquisadores avaliam principalmente os eventos iniciais da sequência de deterioração, proposta por Delouche e Baskin (1973) baseando-se na redução das atividades respiratórias e biossintéticas (teste de tetrazólio) ou na permeabilidade das membranas celulares, envolvendo parâmetros relacionados à liberação de metabólitos durante a embebição das sementes (teste de condutividade elétrica). Conforme a International Seed Testing Association (2004) alguns desses testes são utilizados com sucesso nos laboratórios e

o esforço para que resultados obtidos no teste de condutividade elétrica para ervilha e envelhecimento acelerado para soja realizado por Powell e Kruse (2001), por exemplo, fossem cada vez mais utilizados para gerar confiabilidade nos resultados e incluídos então na recomendação das Regras Internacionais para Análise de Sementes.

No teste de condutividade elétrica as sementes liberam para o meio de solução eletrólitos, através do processo de embebição. Esses lixiviados em maior quantidade indicam a baixa qualidade da semente, pois a permeabilidade das membranas pode estar afetada por diversos fatores que podem prejudicar a qualidade da semente, refletindo assim o grau de integridade das membranas celulares. Portanto a quantidade de eletrólitos lixiviados e o vigor estão diretamente ligados e sementes que possuem alta qualidade fisiológica liberam menos eletrólitos durante a embebição indicando maior seletividade das membranas e capacidade de reestabelecimento da integridade das membranas da semente (MATTHEWS; POWELL, 1981; VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

O teste de condutividade elétrica é classificado como um teste bioquímico e têm mostrado recentemente resultados satisfatórios para várias espécies, como em sorgo (SOARES et al., 2010), feijão (SILVA et al., 2014), azevém (LOPES; FRANKE, 2010), brócolis (MAGRO et al., 2011) e até mesmo espécies não agrícolas como a *Bowdichia virgilioides* popularmente chama de sucupira-parda (DALANHOL et al., 2014). Contudo, não são encontradas em todas as espécies, eficiência do teste de condutividade elétrica, através da perda de eletrólitos e vigor ou viabilidade em comparação com a qualidade fisiológica dos lotes ou com outros parâmetros estudados (ABREU et al., 2011).

A base teórica da condutividade elétrica esta ligada diretamente à permeabilidade das membranas e tem mostrado boa correlação com a qualidade fisiológica dos lotes de sementes e seu comportamento a campo, através da emergência de plântulas no campo, com resultados promissores em sementes de canola por exemplo. Entretanto, outros exemplos de utilizações são encontrados na literatura, como indicador do grau de dormência em sementes de amendoim, ou na cultura da ervilha avaliando o efeito da nutrição da planta mãe, sobre vigor da semente produzida, verificado através da condutividade dos lixiviados (ÁVILA et al., 2005; HADAVIZADEH; GEORGE, 1988; SWAMY; NARASIMHA REDDY, 1977).

Vários fatores podem afetar os resultados do teste, tais como, genótipo, idade da semente, período de embebição, grau de umidade, número de sementes, qualidade e quantidade da água e temperatura, além da calibração do aparelho utilizado. Gaspar e Nakagawa (2002) estudando a condutividade elétrica em função do período e da temperatura de embebição para sementes de milho concluíram que é possível reduzir o período de

embebição das sementes até mesmo para duas horas e que a temperatura adequada para realização do teste foi 25°C. Todavia, os resultados podem ser variáveis, como encontrado por Carvalho et al. (2009) que conseguiram demonstrar correlação do teste de condutividade elétrica, com outros testes de vigor para o período de 120 minutos de embebição e temperaturas de 32°C ou de 40°C, equiparando-se ao período de 24 horas, tradicionalmente utilizado no teste de condutividade elétrica em sementes de soja.

O teste de condutividade elétrica tem sido realizado com 24 horas de condicionamento, pela recomendação da International Seed Testing Association (ISTA), Matthews e Powell (1981), Association of Official Seed Analysts (AOSA, 1983) e por Vieira e Carvalho (1994). Em espécies de sementes grandes, como ervilha e soja, é recomendado o período de embebição de 24 horas, proposto respectivamente por Krzyanowski et al. (1991) e Vieira e Krzyanowski (1999). O tempo de embebição é um fator importante, visto que, menores tempos na utilização do teste podem auxiliar de maneira eficiente os laboratórios de rotina, trazendo resultados rápidos e que tenham boa relação com a qualidade fisiológica da semente na estratificação dos lotes em níveis de vigor. Silva et al. (2014) na cultura do feijão, conseguiram reduzir o tempo de imersão utilizando exclusivamente os cotilédones a partir de duas horas de imersão, ou com sementes inteiras, utilizando-se cinco horas de embebição.

Marques, Paula e Rodrigues (2002) avaliando o efeito do número de sementes e do volume de água na condutividade elétrica em sementes de *Dalbergia nigra*, uma espécie florestal, obtiveram resultados satisfatórios na eficiência do teste para diferenciação dos lotes podendo ser conduzido com amostras de 50 sementes, embebidas por pelo menos 36 horas em 75ml de água deionizada, na temperatura de 25°C. Barbosa et al. (2012) estudando a condutividade elétrica em função do teor de água inicial de sementes de amendoim, concluíram que a condutividade é influenciada pelo teor de água, havendo estabilização quando elas estão com umidade entre 10 e 14%, mostrando que todos esses fatores comentados recentemente, podem ser variáveis distintas e que interferem no resultado do teste, aliado à espécie e genótipo.

Outro fator importante e que pode ser desfavorável na condução do teste da condutividade elétrica é a dependência da regulagem do aparelho em relação à temperatura da solução que as sementes são postas para posteriormente iniciar o processo de embebição, pois a temperatura de embebição deve ser mais próxima possível da temperatura ambiente, e as amostras para avaliação retiradas da câmara de embebição devem ser suficientes para não ultrapassar 15 minutos durante a avaliação. Esse efeito específico da temperatura pode estar relacionado com a alteração na viscosidade da água que altera consideravelmente os valores

de condutividade elétrica (LOEFFLER; TEKRONY; EGLI, 1988; MURPHY; NOLAND, 1982).

O insucesso desse teste pode estar relacionado também ao genótipo utilizado, associado à características do tegumento. Trabalhando com hortaliças, Marcos Filho (2001), em sua revisão sobre vigor dessas sementes, explica que muitas vezes esse grupo apresenta resultados insatisfatórios na detecção de diferenças no vigor provavelmente em função do tamanho e formas diferenciadas. Além disso, em um estudo realizado por Marchi e Cícero (2002), resultados negativos no teste de condutividade elétrica podem ser encontrados quando existe a presença de patógenos e tratamento de sementes.

Quanto à condução, tem a possibilidade de realizar o método massal ou individual, não diferindo entre si quanto ao princípio básico. Como já foi exposto, no método massal utiliza-se uma amostra de sementes e o valor determinado baseia-se na média da condutividade da massa de sementes. Contudo, se houver sementes que estejam deterioradas em relação à amostra, o valor da condutividade pode ser consideravelmente elevado mascarando o resultado e aumentando a variação entre as repetições. Para minimizar tais problemas, surgiu o método individual facilitando a interpretação dos resultados (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

A determinação da condutividade elétrica individual de sementes, de acordo com Steere, Levensgood e Bondie (1981) pode solucionar problemas observados no método massal, que contém amostras de sementes com qualidade variável, contemplando sementes danificadas, infectadas ou que apresentam variações na capacidade de lixiviação. Ainda segundo mesmos autores, esse teste é eficiente não apenas para classificar lotes em diferentes níveis de qualidade fisiológica do vigor, mas também para determinar a estimativa da germinação. Dias e Marcos Filho (1996) comentam que existe a necessidade de mais estudos utilizando o teste de condutividade elétrica individual, para aplicação desta técnica na rotina de laboratórios de análise de sementes, proposto por Hepburn, Powell e Matthews (1984) que concluíram que a condutividade elétrica individual não forneceu informações consistentes sobre o potencial de qualidade dos lotes, apresentando eficiência variável de acordo com a espécie.

Na literatura são encontradas poucas informações em relação ao teste de condutividade elétrica individual e em poucas espécies, com resultados variáveis. Resultados encontrados por Costa e Carvalho (2006) na cultura do café, mostraram eficiência do teste na separação de lotes de sementes de café em diferentes níveis de qualidade fisiológica, além de definir o ponto de partição para o teste individual. Semelhantemente, Mertz et al. (2012)

encontraram eficiência e rapidez do teste de condutividade elétrica individual possibilitando o ranqueamento de lotes a partir do período de três horas de embebição das sementes de trigo.

Entretanto, Souza et al. (2007) em sua metodologia proposta no estudo, averiguou que os dados não foram consistentes para a avaliação de lotes de sementes de mamona da cultivar IAC 80, pois o método não foi eficiente em separar lotes com diferentes níveis de qualidade de acordo com os testes tradicionais de vigor. Do mesmo modo, resultados inconsistentes foram observados por Mattioni et al. (2015) determinando o ponto de partição de sementes normais encontraram limitações do método em estimar a germinação de sementes de soja, pois, as características de cada lote influenciaram individualmente levando a diferenças entre a germinação estimada e o teste padrão.

A determinação de um teste de vigor deve ser realizada em condições desfavoráveis ou medindo-se o declínio de alguma função biológica ou fisiológica. O teste de envelhecimento acelerado contempla esses requisitos e tem sido um dos mais utilizados em sementes de várias culturas com ampla aplicação e como um teste adicional para determinar vigor de sementes, trazendo benefícios a todos os segmentos da produção de grandes e pequenas culturas. Inicialmente o teste foi desenvolvido com a finalidade de estimar a longevidade de sementes armazenadas, entretanto, sua utilização foi ampliada em vários estudos e culturas, principalmente na tentativa de sua padronização (DELOUCHE; BASKIN, 1973; MCDONALD, 1995; SÁ, 1994; TEKRONY, 1995).

Segundo Association of Official Seed Analysts (1983), nesse teste as sementes são submetidas às condições extremas de alta temperatura e umidade relativa elevada por um período relativamente curto ou não dependendo da espécie, posteriormente são colocadas para germinação. Apenas lotes de sementes que possuem alto vigor irão manter suas características de viabilidade quando submetidos a essas condições, do contrário, diminuirão sua viabilidade.

Marcos Filho (1999b) comenta o princípio do teste e sua importância na utilização em avaliar o potencial fisiológico de sementes, com base na aceleração da taxa de deterioração das sementes em relação à exposição, nas diferentes temperaturas e umidade relativa do ar elevadas, das quais são consideradas as mesmas variáveis que ocorrem no ambiente e causam diferentes intensidades na velocidade de deterioração. Tradicionalmente, nas condições ambientais, sementes mais vigorosas deterioram mais lentamente do que sementes menos vigorosas apresentando diferença na redução da viabilidade. O potencial de conservação de sementes está ligado diretamente ao envelhecimento, e por essa razão, é considerado um dos testes mais sensíveis para avaliar a qualidade fisiológica de sementes, dentre os testes de vigor.

A condução do teste de envelhecimento acelerado artificial pode ser afetada por diversos fatores que contribuem para proporcionar diferenças nos lotes que irão auxiliar na estratificação em níveis de vigor ou afetar o comportamento das sementes após o período de estresse. Dentre os fatores que mais interferem nesse processo destacam-se a interação entre temperatura e período de exposição das sementes no armazenamento e os estudos concentram-se em avaliar vigor das sementes nas combinações mais adequadas para diferentes espécies (MARCOS FILHO, 2005).

Na literatura não foram encontrados trabalhos que avaliassem o potencial fisiológico de sementes de sorgo do grupo sacarino através de testes de vigor, como proposto no estudo em questão. Sendo que as variáveis temperatura e tempo de permanência das sementes na câmara, ainda não estão estabelecidas para todas as espécies cultivadas e, especificamente, para sementes de sorgo não há consenso quanto a esses fatores. Porém, estudos para outros grupos de sorgo, com outros objetivos na área de sementes mostram resultados promissores para a espécie, como para o sorgo granífero (NETTO et al., 1977) no estudo da qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*) danificadas após armazenamento utilizando 42°C por 96 horas. Maeda e Sawazaki (1982) estudando os fatores que afetam a qualidade de sementes de diferentes cultivares comerciais de sorgo granífero em diferentes locais, utilizando como um dos testes de vigor o envelhecimento acelerado na temperatura de 42°C por 48 horas. Petrini, Fernandez e Zonta (1988) no estudo de testes de vigor para prever a emergência de diferentes cultivares de sorgo granífero e sacarino, na utilização de 42 e 45°C e períodos de exposição de 48, 72, 96 e 120 horas, com 100% de umidade no teste de envelhecimento acelerado. Para o sorgo forrageiro, onde Vazquez, Bertolin e Spegiorin (2011) avaliaram a qualidade fisiológica pelos testes de condutividade elétrica e envelhecimento acelerado nas variações no período de exposição (72, 96 e 120 horas) e na temperatura (41 e 43°C). Sorgo granífero, utilizando 42°C e 100% de umidade relativa do ar, por um período de 96 horas (TORRES, 1997).

Souza e Marcos Filho (1975) no estudo dos métodos para avaliar vigor de sementes de sorgo, concluíram que o teste de envelhecimento acelerado foi eficiente, entretanto, consideraram drásticos os períodos estudados de 120 e de 168 horas, a 42°C. Por outro lado, Ibrahim, Tekrony e Egli. (1993) estudaram três temperaturas (41, 43 e 45°C) e três períodos de exposição (24, 48 e 72 horas), para sementes de sorgo tratadas e não tratadas; os lotes foram efetivamente separados em níveis de vigor nas condições de 43°C/72 horas e 45°C/48 horas, mostrando também alta correlação com a emergência das plântulas em campo. Porém, recomendaram 72 horas de exposição à temperatura de 43°C, independentemente das

sementes serem tratadas ou não. Miranda, Novembre e Chamma (2001) encontraram um resultado semelhante, conferindo eficiência do teste em separar os lotes em níveis de vigor nas combinações 41°C/96 horas e 43°C/72 horas.

Também são encontrados estudos em outras culturas como em abóbora, 41°C/48h (CASAROLI et al., 2006); beterraba, 42°C/24h (SILVA; VIEIRA, 2006); brócolis, 45°C/48h (FESSEL et al., 2005) e rabanete, 41°C/72h (ÁVILA; VILLELA; ÁVILA, 2006). Para o grupo do sorgo sacarino foram encontrados trabalhos como Martins et al. (2014) avaliando a qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino em função do espaçamento e densidade de plantas, na combinação de 42°C por 96 horas para o teste de envelhecimento acelerado. May et al. (2013) estudaram o sorgo sacarino, porém, avaliaram o efeito de fito-hormônios no desenvolvimento vegetativo e germinação das sementes, ficando restrito apenas ao teste de germinação para analisar a qualidade fisiológica de sementes.

Outro aspecto fundamental citado na literatura para o teste de envelhecimento acelerado é a diferença na absorção de água pelas sementes expostas a atmosfera úmida e as variações acentuadas que podem ocorrer no teor de água. Os estudos demonstram que espécies de sementes pequenas, têm revelado resultados pouco consistentes devido à variação acentuada do teor de água das amostras, após o envelhecimento acelerado. Em função disso, tem sido realizados estudos para descobrir alternativas na condução do teste que minimizem esses efeitos em sementes pequenas, com a substituição da água por soluções saturadas de sais, que não foi utilizado no estudo em questão. Sementes pequenas são comumente encontradas em espécies olerícolas que mostram resultados satisfatórios com exemplos encontrados em sementes de maxixe e sementes de rabanete (ÁVILA; VILLELA; ÁVILA, 2006; POWELL, 1995; TORRES; MARCOS FILHO, 2001).

Nesse método são utilizados sais que saturam a solução, como exemplo NaCl, KCl e NaBr, na tentativa de obter umidades relativas específicas com cada sal, na verificação se o método retarda a absorção de água das sementes de uma determinada espécie, como observado por Jianhua e McDonald (1996) em sementes de *Impatiens walleriana* Hook. espécie ornamental popularmente conhecida como beijo, verificando eficiência do método em avaliar o vigor das sementes. De qualquer maneira para ambos os testes de envelhecimento acelerado, com e sem utilização de sais, a metodologia ainda não está padronizada para todas as culturas e espécies de interesse dos pesquisadores e, principalmente o período e a temperatura de armazenamento das sementes e suas relações fisiológicas, continuam sendo o principal fator a ser determinado no estudo em questão para a cultura do sorgo sacarino, justificando os esforços do trabalho na avaliação do potencial de qualidade das sementes.

Aliado a isso, o estresse causado pelas combinações de temperatura e tempo de armazenamento, aplicados no teste de envelhecimento acelerado, causam modificações na estrutura das células da semente e somente lotes com qualidade irão manter sua viabilidade, seu padrão de vigor e a capacidade de germinar após o processo, como comentado anteriormente. Em meio a esse processo, alterações fisiológicas e bioquímicas se intensificam na semente danificando suas células e por fim aumentando a deterioração (MARCOS FILHO, 2005).

Conforme estudos de Wilson e McDonald (1986) no trabalho avaliando a peroxidação lipídica no envelhecimento acelerado e Basavarajappa, Shetty e Prakash (1991) avaliando deterioração das membranas associado ao envelhecimento acelerado em sementes de milho, as causas da deterioração podem ser inúmeras, desde a evidência por danos genéticos, perda da integridade do sistema de membranas, redução da capacidade seletiva, peroxidação de lipídios, lixiviação de solutos, mudanças na atividade respiratória das sementes, modificações na atividade enzimática e síntese de proteínas, além de alterações fisiológicas pela diminuição do poder germinativo, com aumento de plântulas anormais, redução de crescimento, emergência desuniforme, maior susceptibilidade a ataques patogênicos, redução na produtividade, diminuição do potencial de armazenamento e até morte das sementes.

Os sintomas mais evidentes da deterioração ocorrem durante a germinação e desenvolvimento inicial das plântulas, entretanto, anteriormente a essas manifestações muitas outras ocorrem a nível estrutural e bioquímico, detectadas somente com testes mais sofisticados que exigem aparelhos específicos para sua determinação. As alterações fisiológicas, metabólicas ou bioquímicas que ocorrem com o aumento da deterioração são diversas, dentre as mais citadas, são as mudanças na atividade respiratória e no metabolismo de reservas, as modificações na atividade enzimática e na síntese de proteínas, o acúmulo de substâncias tóxicas, os danos à integridade do DNA e os sistemas de membranas, a peroxidação de lipídios e a lixiviação de solutos. Essas alterações podem causar diversos prejuízos às sementes e nas plântulas com possível redução do vigor e aumento de plântulas anormais (CARDOSO, 2004; COOLBEAR, 1995; MARCOS FILHO, 2005; MCDONALD, 1999; SANTOS; MENEZES; VILELLA, 2004).

A perda de integridade das membranas das sementes é um dos primeiros eventos da deterioração que ocorre afetando a permeabilidade, a compartimentalização e a separação dos sistemas metabólicos. Diversas enzimas atuam no sistema de membranas e mudanças acentuadas na estrutura da semente acarretam em desordem fisiológica e bioquímica dos processos, além disso, ocorrem reduções na produção de ATP, na síntese de proteínas, ácidos



nucleicos e degeneração cromossômica. Dentre elas destacam-se a superóxido dismutase, catalase, peroxidase removedoras de radicais livres e de peróxidos, bem como a malato desidrogenase, fosfatase ácida, glutamato desidrogenase, que funcionam como indicadores de deterioração, pelo seu envolvimento no metabolismo celular e por diminuírem os efeitos de radicais livres tóxicos, que podem influenciar negativamente na histologia e fisiologia de sementes de inúmeras espécies (BASU, 1995; BEWLEY; BLACK, 1994; VIEIRA, 2009).

Curiosamente, a teoria dos radicais livres no envelhecimento, tem sua origem nas ciências médicas mais de meio século atrás (HARDMAN, 1956). Posteriormente, foi introduzida na ciência das sementes, quando Kaloyereas (1958) argumentou que a oxidação lipídica poderia levar a consequente perda de viabilidade de sementes. O papel da atividade de radicais livres na deterioração de sementes ortodoxas e recalcitrantes, como resultado da secagem, tem sido apoiado, por evidências de estudos durante um período superior a duas décadas atrás, até os dias de hoje (CHAITANYA; NAITHANI, 1992; HENDRY et al., 1992; LEPRINCE et al., 1994; LI; SUN, 1999; NTULI; NTULI; PAMMENTER, 2014; NTULI et al., 2010; NTULI; PAMMENTER; BERJAK, 2013). Berjak e Pammenter (2008) sugeriram que o recente interesse pode ser um resultado da implicação de espécies ativas e reativas de oxigênio, em uma rede de sinalização intracelular, com a necessidade de maiores estudos nessa área, principalmente na tentativa de elucidar relações entre os eventos celulares através de métodos específicos no estudo do DNA.

Essas enzimas atuam de forma benéfica nas plantas e inclusive no alvo de estudo que são as sementes. Em sua maioria, os seres vivos utilizam o oxigênio em seus processos metabólicos, para os que são aeróbicos, porém, no estado molecular o  $O_2$  é pouco reativo e com o metabolismo aeróbico inevitavelmente são formadas espécies reativas de oxigênio (EROs) como o radical ânion superóxido ( $O_2^-$ ), dotado de baixa capacidade oxidativa, peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), capaz de romper a membrana nuclear e causar danos ao DNA. O radical hidroxil (OH), com baixa capacidade de difusão, mas com alta reatividade, provocando lesões em uma série de moléculas em meio celular, todos tóxicos às células e capazes de danificar constituintes celulares, tais como, proteínas, DNA's e membranas. Esses radicais são capazes de atuar especificamente até mesmo em organelas intracelulares, como a mitocôndria, cloroplastos e peroxissomos (FOYER; NOCTOR, 2000; HENDRY, 1993; HOEKSTRA et al., 1996; SCANDALIOS; ACEVEDO; RUZSA, 2000).

Vários trabalhos demonstram que as EROs são extremamente reativas e citotóxicas, onde o OH e  $O_2^-$  podem ser tão reativos, que suas produções devem ser minimizadas rapidamente. O  $H_2O_2$  quando em alta concentração na célula, inibe a fixação de carbono, uma

vez que muitas enzimas do ciclo de Calvin são extremamente sensíveis ao  $H_2O_2$ , ainda mais quando associados à presença de íons metálicos como o Fe, por exemplo. Nessa associação, ativam uma sequência de reações que levam a formação de OH na reação de Haber-Weiss, muito prejudicial pelo seu potencial oxidativo, atacando macromoléculas, que sofrerão grandes danos celulares pela peroxidação lipídica, desnaturação protéica, e mutação no DNA que poderão levar a disfunções irreversíveis e por fim morte celular (BOWLER; VANMONTAGU; INZÉ, 1992; SCANDALIOS; ACEVEDO; RUZSA, 2000).

São inúmeros os fatores que podem contribuir para aumentar a formação dos níveis de EROs, radiação UV, luminosidade intensa, herbicidas, ataque de patógenos, certas injúrias, hiperoxia, ozônio, flutuações na temperatura, seca, metais pesados, concentração elevada de sais, poluição do ar e outras. Para minimizar esse processo, os antioxidantes ou enzimas que atuam no complexo antioxidante mantem em baixo nível celular essas EROs, impedindo que maiores danos ocorram nas células. A alteração nas membranas celulares é um dos componentes no complexo de mudanças bioquímicas e fisiológicas que ocorrem durante a deterioração das sementes. Para esse processo de inativação das EROs ser efetivo, a ação de diversas enzimas é fundamental em um organismo em equilíbrio e destacam-se as enzimas superóxido dismutase, catalase, ascorbato peroxidase, dehidroascorbato redutase, monodehidroascorbato redutase, glutathione redutase, glutathione peroxidase, dentre outras (FOYER; NOCTOR, 2003; MALLICK; MOHN, 2000; SCANDALIOS, 1994).

A superóxido dismutase (SOD) dentre as enzimas é considerada a primeira linha de defesa contra os danos causados pelas EROs, e como o próprio nome, atua dismutando o  $O_2^-$  em  $H_2O_2$ , por isso sua atividade interfere no mecanismo central de defesa das plantas, pois diminui a concentração dessas duas EROs na reação de Haber-Weiss evitando a formação do radical OH. Além disso, são consideradas metaloenzimas que ocorrem em três diferentes formas moleculares, contendo os metais Mn, Fe ou Cu/Zn como grupos prostéticos (ALSCHER; ERTURK; HEATH, 2002; FRIDOVICH, 1986; LEÓN et al., 2002).

A enzima guaiacol peroxidase atua de forma semelhante a catalase, porém, peroxidases são hemeoproteínas de oxirredutase específicas para acceptor de hidrogênio, estando presentes em células animais, em diversos microrganismos e em tecidos vegetais. Também podem atuar em locais específicos na célula, como no núcleo, mitocôndrias, ribossomos, paredes celulares e membranas celulares (ALFENAS, 1998; FRIC, 1976; HOAGLAND, 1990). A equação geral de reações catalisadas por peroxidases, não pode ser formulada, pois depende do tipo de substrato, entretanto, é comum encontrar como principal função das peroxidases e isso inclui a guaiacol peroxidase, a catálise da oxidação e biossíntese

de lignina, gerando  $H_2O_2$  a partir de NADH, oxidação de compostos fenólicos e inibição de crescimento através da oxidação do ácido indol-3-acético (BERGMEYER; GAWEHN; GRASSL, 1974; FRY, 1986; GOLDBERG; LÊ; CATESSON, 1985; HOAGLAND, 1990).

Alguns trabalhos recentes que avaliam as atividades do complexo enzimático nas sementes de diferentes espécies e relacionam a qualidade fisiológica, são encontrados na literatura, mostrando eficiência do complexo enzimático, quando ocorre estresse oxidativo em determinados tratamentos. Estudos como o de Carvalho et al. (2014) avaliando as alterações isoenzimáticas em sementes de soja, em diferentes condições de armazenamento, perceberam que, em sementes armazenadas em condições não controladas, ocorreu queda de atividade dos sistemas isoenzimáticos malato desidrogenase, álcool desidrogenase, esterase, isocitrato liase, superóxido dismutase e peroxidase, principalmente após seis meses. Já no armazenamento em câmara fria e seca, essas atividades foram mantidas, além de que, os genótipos de soja apresentaram diferentes níveis de tolerância ao armazenamento.

Maia et al. (2012) estudando a atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi, sob diferentes níveis de salinidade, atribuíram a redução do alongamento das raízes sob salinidade, em parte, a sincronia entre o aumento da atividade de peroxidase de fenóis e redução nas atividades de catalase e peroxidase de ascorbato. Em sementes de arroz, onde Marini et al. (2013) avaliando os indicativos da perda de qualidade de sementes de arroz, sob diferentes temperaturas através da atividade enzimática e respiratória, e ainda, averiguando a relação entre esses parâmetros, como indicativo do processo de deterioração de sementes, encontraram resultados positivos na utilização desses parâmetros mostrando alta relação com a qualidade fisiológica de arroz, sendo que temperaturas superiores a  $25^{\circ}C$  depreciam a qualidade fisiológica das sementes.

A análise da atividade de enzimas antioxidantes têm sido estudada em diferentes áreas do estudo de plantas para avaliar estresses bióticos e abióticos em diversas espécies como pinhão-manso (CAI et al., 2011), cevada (MEI; SONG, 2010), sementes e plântulas de alfafa (CAKMAK et al., 2010). Entretanto, não foram encontrados trabalhos que explorem a relação entre a qualidade fisiológica de diferentes lotes de sementes pelos testes de condutividade elétrica e envelhecimento acelerado e suas relações fisiológicas e bioquímicas através da avaliação da atividade enzimática nas variáveis propostas nesse estudo.

### 3 CAPÍTULO I

## TESTES DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA MASSAL E INDIVIDUAL E SUAS RELAÇÕES COM A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO SACARINO

### Resumo

Os testes rápidos como a condutividade elétrica são importantes ferramentas utilizadas para avaliação do potencial de qualidade fisiológica de sementes de diversas espécies, além de fornecerem resultados consistentes quanto à estratificação de diferentes lotes de sementes em níveis de vigor, com rapidez e confiabilidade. Entretanto, informações desse caráter não foram encontradas na literatura para cultura do sorgo sacarino. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar as relações da qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino através dos testes de condutividade elétrica massal e individual. Foram analisadas sementes de quatro lotes das cultivares BRS 506 e F-19. Inicialmente as sementes foram caracterizadas quanto a sua qualidade física, através do grau de umidade, peso de mil sementes; fisiológica pelos testes de germinação, primeira contagem da germinação, comprimento de radícula e parte aérea, massa seca, teste frio e emergência de plântulas a campo. Posteriormente, foram submetidas aos experimentos de condutividade elétrica massal com variações no tempo de embebição (2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas), temperatura (20, 25 e 30°C), número de sementes (25 e 50), volume de água (50 e 75 mL) e condutividade elétrica individual com variações no tempo de embebição (2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas), para avaliar a viabilidade de aplicação dos mesmos em função da qualidade de sementes de sorgo sacarino. Os experimentos foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado e foram avaliados através da comparação de médias pelo teste de Tukey. Os resultados obtidos permitem concluir que: a) foi possível detectar apenas o lote de menor qualidade fisiológica da cultivar F-19, principalmente nas combinações utilizando a temperatura de 20°C, 75 mL e 25 sementes; b) não houve estratificação dos lotes pela qualidade fisiológica na cultivar BRS 506 em função da semelhança entre os lotes; c) o teste de condutividade elétrica individual foi eficiente em detectar o lote de menor qualidade fisiológica para as duas cultivares, sendo possível realizá-lo em 24 horas nas duas cultivares.

**Palavras-chave:** Testes. Germinação. *Sorghum bicolor*. Vigor.

## **ELECTRICAL CONDUCTIVITY TEST MASS AND INDIVIDUAL AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SWEET SORGHUM SEEDS**

### **Abstract**

Rapid tests such as electrical conductivity are important tools used to evaluate potential physiological quality of the seeds of several species, and provide consistent results on the stratification of different seed lots into force levels, quickly and reliably. However, this character information is missing in the literature for the sweet sorghum. Thus, the aim of this study was to evaluate the relationship of the physiological quality of sweet sorghum seeds through the mass and individual electrical conductivity tests. Four seed lots were analyzed from the cultivars BRS 506 and F-19. Initially the seeds were characterized as their physical quality by moisture content, weight of a thousand seeds; physiological by germination, first count of germination, root and aerial portion length, dry weight, cold test and seedling emergence in the field. Subsequently, they were subjected to mass conductivity experiments with variations in immersion time (2, 4, 6, 8, 12 and 24 hours), temperature (20, 25 and 30° C), number of seeds (25 and 50), water volume (50 and 75 mL) and individual electrical conductivity with variations in immersion time (2, 4, 6, 8, 12 and 24 hours) to evaluate the application feasibility of this depending on the quality of sweet sorghum seeds. The experiments were conducted in a completely randomized design and were assessed by comparison of means by Tukey test. The results showed that: a) it was possible to detect only the low physiological quality lot of cultivar F-19, especially in the combinations using the temperature 20° C, 75 ml and 25 seeds; b) there was no stratification of lots by the physiological quality on BRS 506 depending on the similarity between batches; c) the individual electrical conductivity test was efficient in detecting the lot of low physiological quality for both cultivars, and it can be accomplish in 24 hours for both cultivars.

**Keywords:** Tests. Germination. *Sorghum bicolor*. Vigor.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista as exigências do mercado nacional e internacional dos produtos agrícolas, é imprescindível o emprego de insumos de qualidade para atingir altas produtividades. Para tanto, a avaliação da qualidade fisiológica das sementes é um processo de grande importância no setor produtivo por proporcionar maior segurança na utilização dos diferentes lotes no momento da semeadura (DIAS; FILHO, 1996).

Através do emprego da metodologia adequada, a avaliação da qualidade fisiológica das sementes possibilita a estimativa do vigor, do desempenho em campo e descarte de lotes de qualidade inferior, diminuindo risco e prejuízos aos produtores. Dentro deste cenário, o desenvolvimento de métodos que estimem o potencial fisiológico dos lotes ou vigor de sementes é fundamental, uma vez que após a maturidade fisiológica, as sementes passam por processos contínuos e irreversíveis de envelhecimento e deterioração, influenciando negativamente sua qualidade (CUSTÓDIO, 2005).

O teste de germinação possibilita a avaliação do potencial fisiológico das sementes, fornecendo resultados referentes às plântulas normais produzidas por um lote, de acordo com as recomendações das Regras para Análise de Sementes-RAS (BRASIL, 1992). Contudo, em lotes que apresentam germinação semelhante, este teste não apresenta a capacidade de avaliar o estágio de deterioração das sementes, não detectando diferenças quanto ao comportamento a campo (FRANZIN et al., 2004).

Os testes que avaliam vigor das sementes fornecem índices mais sensíveis do potencial fisiológico quando comparados ao teste de germinação (AOSA, 1983). Entre os testes de vigor existentes, o teste de condutividade elétrica é considerado um dos mais importantes pela International Seed Testing Association (1995) destacando-se pela sua base teórica consistente, objetividade, rapidez, facilidade de execução e possibilidade de padronização por conta da sua reprodutibilidade. Este teste baseia-se no fato de que o decréscimo na germinação e no vigor é diretamente proporcional ao aumento da lixiviação de eletrólitos, que ocorre à medida que a semente envelhece, aumentando sua deterioração e perda na integridade dos sistemas de membrana na célula (CUSTÓDIO, 2005; SANTOS; PAULA, 2005).

O teste de condutividade elétrica tem sido utilizado para avaliar vigor, potencial de emergência e armazenamento de espécies como, por exemplo, soja e trigo (MATTIONI et al., 2015; MERTZ et al., 2012). Porém, como todo teste, os resultados podem ser afetados por fatores como: características da própria semente (tamanho e genótipo, danos mecânicos,

injúrias por insetos); temperatura de embebição, tratamento químico; grau de umidade, qualidade e volume da água (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

O teste de condutividade elétrica pode ser conduzido de forma massal ou individual. Steere et al. (1981) propôs a determinação da condutividade elétrica individual de sementes, a qual foi desenvolvida visando corrigir problemas existentes na avaliação massal, especialmente em amostras que contém sementes danificadas ou que apresentam variações na capacidade de lixiviação. Através deste teste é possível classificar lotes em diferentes níveis vigor em função da qualidade fisiológica, como também, determinar a estimativa da germinação de maneira eficaz (MATTIONI et al., 2015).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as relações fisiológicas com o potencial de qualidade de diferentes lotes de sementes de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) através dos testes bioquímicos de condutividade elétrica massal e individual.

### **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes localizado no Departamento de Fitotecnia na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, RS. Foram usadas sementes de duas cultivares de sorgo sacarino e de quatro lotes de cada cultivar. A cultivar BRS 506 foi desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, e a cultivar F-19 pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Fepagro. As sementes utilizadas no trabalho foram produzidas na safra 2012/2013 na área experimental da Fitotecnia, da UFSM.

As panículas foram colhidas, manualmente, e colocadas em estufa com circulação forçada de ar, regulada a 45°C até a obtenção de umidade em torno de 12%. A seguir foram debulhadas e colocadas em sacos de papel e armazenadas em câmara fria e seca (T=15°C e UR=40%) para a realização das etapas posteriores.

### 3.2.1 Caracterização inicial dos lotes de sementes de sogo sacarino

Os lotes foram provenientes do experimento da safra 2012/2013 e a formação destes ocorreram de forma aleatória, de acordo com os tratamentos de espaçamento e épocas de semeadura de cada cultivar. A cultivar F-19 foi composta pelos: **lote 1** (época de semeadura em novembro no espaçamento de 50 cm); **lote 2** (época de semeadura em dezembro no espaçamento de 42 cm); **lote 3** (época de semeadura em dezembro no espaçamento de 70 cm) e **lote 4** (época de semeadura em novembro no espaçamento de 42 cm). A cultivar BRS 506 foi composta pelos: **lote 1** (época de semeadura em outubro no espaçamento de 70 cm); **lote 2** (época de semeadura em dezembro no espaçamento de 70 cm); **lote 3** (época de semeadura em novembro no espaçamento de 70 cm) e **lote 4** (época de semeadura em dezembro no espaçamento de 50 cm).

As amostras de sementes de cada cultivar e lote foram avaliadas inicialmente, quanto às características físicas e fisiológicas, que compreendem a caracterização inicial do potencial de qualidade dos lotes, através da realização dos seguintes testes:

**Peso de mil sementes:** obtido por oito subamostras (repetições) de 100 sementes pesadas em balança de precisão (0,001 g) de acordo com metodologia descrita nas Regras para Análises de Sementes-RAS (BRASIL, 2009). O resultado foi expresso em miligramas.

**Grau de umidade:** para a determinação da umidade foi utilizado o método padrão da estufa a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas. Para cada tratamento duas subamostras de aproximadamente cinco gramas de sementes foram separadas, acondicionadas em recipientes metálicos e colocadas em estufa. Após esse período, retiraram-se os recipientes da estufa, tampados rapidamente e pesados em balança analítica com precisão de 0,001g. A percentagem de umidade foi calculada com base na diferença entre o peso úmido e seco, aplicando-se a fórmula proposta pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) e o resultado final expresso pela média aritmética em percentagens das subamostras.

**Teste de germinação:** composto por oito repetições de 50 sementes distribuídas uniformemente sobre duas folhas de papel filtro e coberta com uma terceira folha: as folhas foram previamente umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. Após a semeadura, os rolos foram acondicionadas em sacos plásticos e levados para a câmara de germinação do tipo B.O.D, sob luz constante e temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ . As contagens



foram realizadas no quarto e no décimo dia e os resultados expressos em percentagem de plântulas normais, conforme Brasil (2009).

**Comprimento de raiz e de parte aérea:** avaliou-se o comprimento médio da raiz e parte aérea que foram obtidas a partir da semeadura de oito repetições de 20 sementes. As sementes foram semeadas em duas linhas desencontradas no terço superior do papel filtro. Os rolos contendo as sementes permaneceram em câmara de germinação por sete dias, à temperatura de 25°C, quando então, o comprimento da raiz e o comprimento de parte aérea de 10 plântulas normais foram medidos com o auxílio de uma régua milimétrica. O comprimento médio de cada parte foi obtido somando as medidas de cada repetição e dividindo pelo número de plântulas normais mensuradas, com resultados expressos em centímetros, conforme descrito por Nakagawa (1999).

**Massa seca de plântulas:** foram empregadas oito repetições de 10 plântulas normais, retiradas ao acaso, provenientes do teste anterior, mantidas em sacos de papel, em estufa a  $60\pm 5^\circ\text{C}$ , até a obtenção de massa constante (48 horas). Em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão 0,001g. A massa obtida foi dividida pelo número de plântulas normais componentes, sendo os resultados expressos em miligramas por plântula ( $\text{mg plântula}^{-1}$ ) conforme Nakagawa (1999).

**Teste de frio sem solo:** realizado com oito repetições de 50 sementes, que foram semeadas em papel filtro. Os rolos de papel filtro com as sementes foram acondicionados em sacos plásticos e vedados com fita crepe, posteriormente colocados em câmara regulada previamente à temperatura de 10°C, onde permaneceram por cinco dias. Após este período os rolos foram colocados em germinador regulado a 25°C e as avaliações realizadas após cinco dias. Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais, conforme recomendação de Brasil (2009).

**Emergência de plântulas em campo:** As sementes dos lotes utilizadas para esse teste ficaram armazenadas em câmara fria por aproximadamente 6 meses depois de realizado os outros testes que compunham a caracterização inicial. As sementes foram semeadas no solo em canteiros de emergência de plântulas do Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes. A unidade experimental foi constituída por 50 sementes em sulcos de 1 cm de profundidade, espaçados de 5 cm, com oito repetições para cada tratamento. As avaliações da contagem de plântulas emergidas foram feitas aos 7 dias após semeadura.

### **3.2.2 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes pelo teste de condutividade elétrica massal e individual**

O teste de condutividade massal foi conduzido através da avaliação de oito repetições. Posteriormente, as sementes foram colocadas para embeber em recipientes plásticos. Aplicou-se variações no número de sementes, volume de água, temperatura e ainda variação do tempo de embebição. Utilizou-se o número de 25 e 50 sementes. O volume de água utilizado para a embebição foi de 50 e 75 mL e para a temperatura, adotou-se as temperaturas de 20, 25 e 30°C, respectivamente durante 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas de embebição.

Em seguida, realizou-se a leitura da condutividade elétrica da solução de embebição, sem agitação, através do condutivímetro modelo Digimed DM 31, previamente calibrado, com eletrodo de constante 1,0 e resultados expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (VIEIRA, 1994). A cada leitura o eletrodo foi lavado com água deionizada e seco com papel toalha, a fim de se evitar a condução de resíduos de um frasco para o outro.

Para a realização do teste de condutividade da solução de forma individual, utilizou-se o Analisador Automático de Sementes (SAD 9000-S). Este aparelho dispõe de uma bandeja com 100 alvéolos, colocando-se uma semente por alvéolo e 5 mL de água deionizada. A seguir, as bandejas foram colocadas em germinador, a temperatura constante de 25°C e as leituras realizadas em seis períodos de embebição (2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas), para cada lote e cultivar. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{semente}^{-1}$ .

### **3.2.3 Análise estatística**

Os resultados da determinação de peso de mil sementes e grau de umidade não foram submetidos à análise estatística. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado para todos os testes realizados. Os testes para determinação da qualidade fisiológica das sementes, na caracterização inicial, foram conduzidos com oito repetições de 50 sementes, avaliando os efeitos de lote, separadamente para cada cultivar.

No experimento de condutividade elétrica massal utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com oito repetições, separadamente em cada cultivar. Os

tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 4x3x2x2x6 (4 lotes, 3 temperaturas, 2 volumes de água, 2 números de semente e 6 períodos de embebição)

O experimento de condutividade elétrica individual utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com oito repetições, avaliando-se o efeito de lotes, separadamente em cada cultivar, nos períodos de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas.

A fim de atender as pressuposições do modelo matemático, os resultados expressos em porcentagem formam transformados em arco-seno  $\sqrt{x/100}$ , com a porcentagem representando as sementes germinadas ou plântulas normais obtidas pelos testes. Os dados foram submetidos a análise de variância e (Teste F) a 5% de probabilidade de erro pelo Software Sisvar<sup>®</sup> (FERREIRA, 1999), e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro também pelo Software Sisvar<sup>®</sup>.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em experimentos para avaliar a qualidade fisiológica de sementes, inicialmente é necessário avaliar a umidade e o peso de mil sementes para determinar a uniformidade dos lotes. Nota-se que existe uniformidade no grau de umidade para as duas cultivares, sendo que a cultivar BRS 506 apresentou uma pequena variação de 0,38 pontos percentuais e a cultivar F-19 variação de 0,68 (Tabela 1), todas inferiores à amplitude máxima aceita que é de 1 a 2 pontos percentuais (MARCOS FILHO; CICERO; SILVA, 1987). Esses resultados corroboram com Soares et al. (2010), que também encontraram variação máxima de 0,7 pontos percentuais para a cultura do sorgo.

Tabela 1- Médias de grau de umidade e peso de mil sementes de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino BRS 506 e F-19. Santa Maria, UFSM, 2015.

Lotes	BRS 506		F-19	
	Grau de umidade (%)	Peso de mil sementes (g)	Grau de umidade (%)	Peso de mil sementes (g)
1	13,24	20,07	12,70	20,82
2	13,15	19,41	12,65	20,76
3	12,89	20,08	12,28	19,76
4	12,86	19,78	12,96	19,43

Segundo Marcos Filho (1999), os testes de condutividade elétrica e envelhecimento acelerado conduzidos no laboratório em condições controladas, podem sofrer alterações, em função de diferenças acentuadas nos pontos percentuais de umidade, que é de extrema importância para a padronização de um método e na busca de resultados uniformes. Essas alterações provocam desuniformidade na velocidade de umedecimento das sementes durante o processo de embebição, podendo alterar significativamente a intensidade de deterioração das sementes. Da mesma forma, na determinação do peso de mil sementes, não houve diferenças acentuadas nos valores para as duas cultivares e principalmente entre os lotes, confirmando a uniformidade e qualidade das sementes de sorgo sacarino.

Pelos resultados observados na Tabela 2, que compõem a caracterização inicial dos quatro lotes de sementes de sorgo sacarino cultivar F-19, verifica-se que não houve diferença significativa, para a porcentagem de germinação (G), primeira contagem (G), comprimento de epicótilo (CE), massa seca (MS) e emergência a campo (EC), diferindo somente no teste de frio (Frio) e comprimento de radícula (CR). Em vista disso, sugere-se que os lotes são semelhantes entre si e que possuem alto potencial de desempenho.

O teste de emergência a campo confirmou a semelhança entre os lotes observados nos outros testes, mostrando sua eficiência na caracterização dos lotes quanto à qualidade fisiológica, pois, conforme Marcos Filho (1999), para um teste de vigor ser eficiente deve proporcionar uma classificação dos lotes em diferentes níveis de vigor, de maneira proporcional à da emergência das plântulas a campo. Além disso, segundo esse mesmo autor, é importante e coerente a comparação de lotes de sementes com germinação semelhante. Diferenças entre lotes observadas em testes de vigor podem ser explicadas, pelo fato, de que as primeiras alterações nos processos bioquímicos associados à deterioração ocorrem, geralmente, antes que sejam verificados declínios na capacidade germinativa (DELOUCHE; BASKIN, 1973).

O teste de frio e o comprimento de radícula indicaram diferença significativa para o lote 4 com pior desempenho e o lote 3 com melhor desempenho, não diferindo dos lotes 1 e 2 que apresentaram comportamento intermediário (Tabela 2). Resultados que demonstram a influência do teste de frio foram encontrados por Costa et al. (2011) avaliando o desempenho de cultivares de sorgo através do teste de frio, porém, com solo, onde a temperatura baixa reduziu a capacidade de germinação das sementes.

Tabela 2- Caracterização inicial em sementes de sorgo sacarino com as médias para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS) e emergência a campo (EC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	G (%)	PC (%)	Frio (%)	CE (cm)	CR (cm)	MS (g)	EC (%)
1	91 a	86 a	86 ab	7,42 a	13,95 ab	1,44 a	85 a
2	89 a	82 a	81 ab	6,83 a	14,30 ab	1,55 a	85 a
3	90 a	87 a	88 a	7,33 a	14,98 a	1,51 a	85 a
4	87 a	83 a	80 b	6,99 a	13,63 b	1,54 a	81 a
Média	89,60	84,80	84,10	7,10	14,22	1,50	83,93
C.V.(%)	4,99	6,10	6,38	9,40	6,60	7,60	6,15

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p>0,05$ .

Na Tabela 3, estão descritas as médias dos testes que compõem a caracterização inicial dos quatro lotes de sementes de sorgo sacarino cultivar BRS 506. Houve diferença estatística significativa apenas para o teste de primeira contagem da germinação (PC), para os demais testes não houve diferença. O lote 2 apresentou melhor desempenho através da primeira contagem e o lote 4 com pior desempenho, não diferindo dos lotes 1 e 3 que apresentaram comportamento intermediário.

Prima-se que lotes de sementes com germinação semelhantes são considerados, por Marcos Filho (1999), importantes e coerentes para posteriores comparações com demais testes de vigor, pois parte-se do princípio que lotes devem ser uniformes e estratificados através de outros testes de vigor que façam essa diferenciação. Vale ressaltar que todos os lotes apresentaram percentagem média de plântulas normais superiores à mínima estabelecida para comercialização que é de 80% (BRASIL, 2013), com exceção do lote 4 da cultivar BRS 506 que obteve média de 79% de germinação, não comprometendo o estudo. De modo igual à cultivar anterior, o teste de emergência a campo confirmou a semelhança entre os lotes, observados nos outros testes de vigor, mostrando sua eficiência na caracterização dos lotes quanto à qualidade fisiológica.

Tabela 3- Caracterização inicial em sementes de sorgo sacarino com as médias para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS) e emergência a campo (EC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	G (%)	PC (%)	Frio (%)	CE (cm)	CR (cm)	MS (g)	EC (%)
1	85 a	82 ab	77 a	7,51 a	13,15 a	1,46 a	81 a
2	87 a	84 a	82 a	7,57 a	14,19 a	1,42 a	77 a
3	82 a	76 ab	79 a	7,61 a	14,32 a	1,42 a	77 a
4	79 a	73 b	75 a	7,32 a	14,12 a	1,36 a	74 a
Média	83,50	79,20	78,50	7,50	13,94	1,41	77,25
C.V.(%)	7,64	9,13	7,23	5,98	8,87	7,49	8,29

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p > 0,05$ .

Os lotes, de maneira geral, são semelhantes e apenas o teste de germinação não foi capaz de identificar os lotes que ocupam posições extremas, visto como coerente e normal. Através da análise comparativa dos dados, com a utilização dos testes de vigor como a primeira contagem da germinação na cultivar BRS 506 e o teste de frio e comprimento de raiz na cultivar F-19, foi possível a separação dos lotes quanto à qualidade fisiológica, classificando-os em posições em relação ao desempenho nos testes. Dutra e Pitombeira (2014) avaliando quatro lotes de sementes de uma cultivar de sorgo granífero, encontraram resultados semelhantes com um padrão adequado de umidade dos lotes, porém, obtiveram na caracterização inicial, através dos testes de germinação, primeira contagem da germinação, emergência de plântulas e índice de velocidade de emergência, a diferenciação dos lotes quanto à qualidade fisiológica.

Entretanto, outros testes, como a condutividade elétrica massal, podem fornecer resultados que expressem diferenças entre os lotes, com rapidez, identificando lotes de diferentes qualidades. A metodologia utilizada pode sofrer variações, ressaltando a importância da utilização de diferentes testes de vigor para avaliar a qualidade fisiológica de sementes (MARCOS FILHO et al., 1984).

Os resultados dos testes de condutividade elétrica massal e individual estão apresentados nas Tabelas 4 a 11. O teste de condutividade elétrica massal envolveu combinações de número de sementes, volume de água e temperatura nos diferentes tempos de embebição. Na Tabela 4, estão descritas as médias das leituras de condutividade elétrica massal utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas,

número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 20°C para cultivar F-19.

Utilizando-se a combinação de 50 mL e 25 sementes (Tabela 4), nota-se que no período de 2 horas de embebição não houve estratificação entre os lotes, todavia, Dutra e Pitombeira (2014) identificaram em 2 horas de embebição, diferença entre os lotes para sementes de sorgo granífero, igualmente encontradas na caracterização inicial dos lotes de sementes. Isso demonstra que dentro da mesma espécie, no caso *Sorghum bicolor*, ocorrem resultados divergentes quando se utiliza sementes de diferentes grupos de sorgo (granífero, forrageiro, sacarino, etc). É importante salientar que os valores de condutividade elétrica revelam a qualidade das sementes através da quantidade de eletrólitos liberados para a solução de embebição. Valores altos de condutividade elétrica podem indicar que as sementes do lote podem estar em um processo maior de deterioração, do contrário, indicam que as sementes possuem alta qualidade fisiológica, em função das membranas celulares estarem organizadas ou possuem a capacidade de se reorganizar, indicando um processo menos avançado de deterioração (MARCOS FILHO, 2005).

A partir do período de 4 horas de embebição houve diferença estatística entre os lotes, mantendo comportamento semelhante até o período de 12 horas. Durante o período de embebição de 4, 6, 8 e 12 horas, o lote 2 apresentou os maiores valores de condutividade elétrica, diferindo dos demais lotes. Os lotes 1, 3 e 4 não diferiram entre si. No período de embebição de 24 horas houve diferenças mais acentuadas entre os lotes, classificando o lote 1, com menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos demais lotes com exceção do lote 3. O lote 2, nesse mesmo período, obteve o maior valor de condutividade elétrica.

Na combinação utilizando 50 mL e 50 sementes (Tabela 4), nos períodos de embebição de 2 e 4 horas não houve diferença estatística significativa entre os lotes. Nos períodos de embebição de 6, 8, 12 e 24 horas houve diferença entre os lotes, com um comportamento muito similar ao longo do tempo de embebição, identificando o lote 1 com menor condutividade elétrica, não diferindo do lote 2 e 3, apenas do lote 4. O lote 4 obteve o maior valor de condutividade.

Adotando-se a combinação de 75 mL e 25 sementes (Tabela 4), apenas em 12 e 24 horas de embebição que as diferenças foram detectadas com um comportamento muito semelhante entre os lotes nos dois períodos. Identificando o lote 3 com menor condutividade elétrica, diferindo-se dos lotes 2 e 4. Igualmente na combinação de 75 mL e 50 sementes (Tabela 4), as diferenças entre os lotes foram percebidas somente em 12 e 24 horas de embebição, identificando o lote 1 com menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos

demais lotes. Os lotes 2, 3 e 4 não diferiram entre si. Observando apenas o volume de água utilizado, nas diferentes combinações, percebe-se que conforme aumentou o volume de 50 mL para 75 mL, os valores de condutividade elétrica diminuíram, como esperado, em virtude do aumento da diluição da concentração de solutos e eletrólitos provenientes das sementes na solução, concordando da mesma forma, com Ribeiro et al. (2009) onde a condutividade elétrica das sementes de pepino nesse maior volume diminuiu.

Tabela 4- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 20°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	Períodos de embebição (horas)					
	2	4	6	8	12	24
50 mL/25 sementes						
1	22,3 a	26,8 b	30,3 b	33,7 b	37,0 b	44,5 c
2	23,6 a	33,3 a	38,5 a	40,9 a	46,3 a	56,4 a
3	22,1 a	26,7 b	30,9 b	34,5 b	37,3 b	44,8 bc
4	23,3 a	27,9 b	33,1 b	36,2 b	40,5 b	49,1 b
50 mL/50 sementes						
1	12,9 a	18,6 a	23,1 b	25,1 b	29,4 b	35,9 b
2	12,1 a	22,2 a	26,8 ab	29,1 ab	33,1 ab	40,3 ab
3	12,1 a	21,6 a	25,8 ab	28,8 ab	32,5 ab	40,1 ab
4	12,3 a	22,7 a	27,8 a	30,3 a	34,8 a	42,4 a
75 mL/25 sementes						
1	10,1 a	16,7 a	19,9 a	22,6 a	24,9 ab	30,3 ab
2	11,4 a	18,5 a	22,4 a	24,6 a	27,8 a	32,7 a
3	9,6 a	16,4 a	18,5 a	20,4 a	23,1 b	27,1 b
4	9,8 a	17,9 a	21,3 a	24,6 a	28,3 a	33,3 a
75 mL/50 sementes						
1	6,2 a	10,9 a	13,9 a	15,7 a	17,7 b	22,6 b
2	7,0 a	12,8 a	16,7 a	19,6 a	22,9 a	27,5 a
3	7,1 a	13,2 a	17,1 a	19,7 a	23,1 a	28,2 a
4	6,2 a	12,3 a	16,3 a	19,2 a	23,3 a	29,2 a

C.V.(%) = 13,24

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p>0,05$ .

Considerando que a condutividade elétrica na massa das sementes, para mostrar resultado eficiente, em relação à qualidade fisiológica das sementes, deve haver concordância entre o teste de condutividade elétrica com as avaliações realizadas na caracterização inicial,



que estratificam os lotes de sementes através da qualidade fisiológica. Portanto, a combinação de 75 mL e 25 sementes, nos períodos de 12 e 24 horas e temperatura de 20°C (Tabela 4) foram as variáveis que tiveram maior relação com os testes de frio e comprimento de raiz (Tabela 2), onde proporcionaram a classificação do lote 3 com melhor qualidade fisiológica e o lote 4 com baixa qualidade fisiológica. Da mesma forma, os valores de condutividade elétrica nessas combinações mostraram que o lote 3 apresentou o menor valor de condutividade elétrica e o lote 4 maior valor de condutividade elétrica, havendo dessa maneira, relação entre os testes iniciais com o teste de condutividade elétrica massal em estratificar os lotes de sementes pela qualidade fisiológica. Demais combinações já apresentadas, não mostraram relação com os testes da caracterização inicial e não foi possível a estratificação dos lotes, apesar de haver diferença significativa entre os lotes em algumas variáveis, estas diferenças não tiveram a mesma estratificação dos lotes em relação à qualidade fisiológica dos testes iniciais.

Na Tabela 5, estão descritas as médias das leituras de condutividade elétrica massal utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 25°C para cultivar F-19.

Verificando a combinação de 50 mL e 25 sementes (Tabela 5), no período de 2 horas de embebição não houve diferença estatística entre os lotes. A partir de 4 horas de embebição até o período de 12 horas o comportamento entre os lotes foi muito semelhante. Os períodos de 4, 6, 8 e 12 horas mostraram comportamento semelhante, classificando o lote 1 com o menor valor de condutividade e lote 4 com maior condutividade elétrica, até o período final de 24 horas. Em sementes de pimenta, Vidigal et al. (2008) constataram que utilizando amostras de 50 sementes embebidas em 25 mL na temperatura de 25°C em apenas uma hora de embebição, houve estratificação dos lotes em níveis de vigor na comparação dos dados de condutividade elétrica com a qualidade inicial das sementes.

Avaliando a combinação de 50 mL e 50 sementes (Tabela 5), nos períodos de embebição de 2 e 4 horas não foi possível observar diferenças significativas entre os lotes. Nos períodos de embebição de 6, 8, 12 e 24 horas houve diferença significativa entre os lotes. Apesar de haver diferenças entre os lotes, pode-se inferir que o comportamento entre os lotes foi similar, sendo que no período de 6 horas de embebição, o lote 1 teve o menor valor de condutividade, não diferindo do lote 2. O lote 4 apresentou o maior valor de condutividade, diferindo-se apenas do lote 1. Em 8 horas de embebição, foi possível de detectar o lote 1 com menor valor de condutividade, pois diferiu dos demais lotes e os lotes 2, 3 e 4 não diferiram

entre si. Novamente, em 12 horas de embebição, o lote 1 apresentou menor condutividade, diferindo-se dos demais lotes e o lote 4 com maior valor de condutividade, não diferindo estatisticamente do lote 2. No período de 24 horas de embebição o lote 1, com o menor valor de condutividade elétrica e o lote 4 com o maior valor de condutividade elétrica. Os lotes 2 e 3 foram classificados como intermediários.

Tabela 5- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 25°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	Períodos de embebição (horas)					
	2	4	6	8	12	24
50 mL/25 sementes						
1	15,4 a	24,6 b	30,4 b	34,8 b	40,2 b	47,2 c
2	16,6 a	27,0 ab	33,8 ab	37,9 ab	44,7 ab	54,2 ab
3	17,6 a	29,4 a	35,0 a	39,0 ab	45,4 a	52,2 b
4	19,4 a	30,5 a	36,6 a	41,4 a	49,1 a	58,2 a
50 mL/50 sementes						
1	9,6 a	15,9 a	21,2 b	25,0 b	28,3 c	35,2 c
2	8,5 a	17,4 a	24,4 ab	31,0 a	36,1 ab	44,5 b
3	10,9 a	18,1 a	26,0 a	29,9 a	34,0 b	41,7 b
4	11,5 a	18,4 a	28,2 a	33,1 a	39,4 a	49,4 a
75 mL/25 sementes						
1	9,1 a	14,4 a	16,8 b	19,2 b	21,8 b	27,0 c
2	11,2 a	18,9 a	23,5 a	26,3 a	29,4 a	39,4 a
3	9,3 a	16,5 a	20,3 ab	22,8 ab	24,9 ab	31,4 bc
4	10,8 a	17,0 a	21,0 ab	23,6 ab	27,5 a	34,6 b
75 mL/50 sementes						
1	10,2 a	14,1 a	16,8 a	19,8 a	22,9 a	28,5 a
2	9,0 a	14,7 a	18,3 a	21,1 a	24,1 a	30,8 a
3	11,5 a	15,2 a	19,3 a	21,8 a	24,5 a	30,9 a
4	12,3 a	15,7 a	19,6 a	22,2 a	25,1 a	32,1 a

C.V.(%) = 13,24

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p>0,05$ .

Na combinação de 75 mL e 25 sementes (Tabela 5), os períodos de embebição de 2 e 4 horas não revelaram diferença estatística entre os lotes. Em 6 e 8 horas de embebição o comportamento dos lotes foi semelhante, onde o lote 1 teve o menor valor de condutividade, porém não diferiu do lote 3 e 4, apenas do lote 2, que apresentou os maiores valores de

condutividade. No período de 12 horas de embebição o lote 1 teve o menor valor de condutividade, não diferindo do lote 2 e 4 e igual estatisticamente ao lote 3. O lote 4 teve o maior valor de condutividade elétrica, diferindo-se apenas do lote 1. Em 24 horas de embebição o lote 1 mostrou menor condutividade em relação aos demais lotes, sendo igual estatisticamente ao lote 3. O lote 2 apresentou o maior valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos demais lotes. Silva e Martins (2009), na avaliação do teste de condutividade elétrica em sementes de mamoneira, utilizando 75 mL, na temperatura de 25°C durante 4 horas, com 25 sementes, foram eficientes em diferenciar os lotes havendo correlação com a emergência de plântulas a campo.

A combinação de 75 mL e 50 sementes (Tabela 5), não mostrou nenhuma diferença estatística entre os lotes em todos os períodos de embebição. Todavia, mesmo estatisticamente não havendo diferença significativa, o comportamento entre os lotes, ainda é muito similar em relação às outras combinações comentadas, onde o lote 1 apresentou o menor valor e o lote 4 o maior valor numérico de condutividade elétrica. Trabalhos semelhantes como, Silva e Martins (2009) nessa mesma combinação, no tempo de embebição de 6 horas, concluíram que o teste foi eficiente em diferenciar os lotes de sementes de mamona, havendo correlação com a emergência de plântulas a campo. Araujo et al. (2011) avaliaram sementes de feijão mungoverde pelo teste de condutividade elétrica e constataram que a utilização de 50 sementes embebidas em 75 mL de água destilada na temperatura de 25°C permitiu a separação dos lotes a partir de 3 horas de embebição. Também, Vanzolini e Nakagawa (2005) avaliaram a qualidade fisiológica de sementes de amendoim pelo teste de condutividade elétrica sugerindo a combinação de 75 mL e 50 sementes na temperatura de 25°C a partir de 3 horas de embebição, eficiente em classificar as sementes de amendoim pela qualidade, entretanto, salientaram que a comparação de lotes dessas sementes deve ser feita na mesma classe de tamanho.

No entanto, salienta-se que estes estudos, somente concluem uma recomendação pontual do uso das combinações, quando existe relação dos testes de caracterização inicial, para revelar o potencial de qualidade dos lotes de sementes, com os testes rápidos como a condutividade elétrica. Essa comparação é de fundamental importância, pois a interpretação da condutividade elétrica em termos de valor pode ser interpretada de forma errônea, na observação apenas dos valores gerados. Portanto, o referencial da qualidade fisiológica dos lotes de sementes determinados na caracterização inicial se tornam ferramentas importantes para validar os testes adicionais de vigor.

Analisando os resultados das combinações utilizadas na condutividade elétrica na temperatura de 25°C, percebe-se de modo geral, que em 50 mL e 25 sementes, a partir de 6 horas e na combinação de 50 mL e 50 sementes em 12 e 24 horas (Tabela 5) foi possível identificar o lote 4, detentor do maior valor de condutividade elétrica. Na caracterização inicial dos lotes, pelo teste de frio e comprimento de raiz este mesmo lote foi classificado com a menor qualidade fisiológica entre os lotes, mostrando a capacidade do teste de condutividade elétrica na estratificação do lote de baixa qualidade, em função da maior quantidade de lixiviados liberados para a solução de embebição. Entretanto, o lote de melhor qualidade fisiológica, classificado como o lote 3 na qualidade inicial, não foi estratificado da mesma maneira no teste de condutividade elétrica massal nessa temperatura.

Na Tabela 6, estão descritas as médias das leituras de condutividade elétrica massal utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 30°C para cultivar F-19.

Observa-se que a combinação de 50 mL e 25 sementes (Tabela 6), desde o período inicial de embebição de 2 horas, até o período final de 24 horas houve diferença significativa entre os lotes. O comportamento entre os lotes durante os períodos de embebição de 2, 4 e 6 horas foi muito semelhante, onde o lote 1 apresentou o menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se apenas do lote 2. O lote 2 por sua vez, apresentou o maior valor de condutividade elétrica, diferindo-se apenas do lote 1. Nos períodos de embebição de 8, 12 e 24 horas a diferenciação dos lotes também foi semelhante. O lote 2 obteve os maiores valores de condutividade elétrica, diferindo-se dos demais lotes. O lote 1 novamente demonstrou os menores valores de condutividade elétrica, diferindo estatisticamente dos lotes 2 e 4 com exceção do lote 3.

Na combinação de 50 mL e 50 sementes (Tabela 6), houve diferença significativa entre os lotes a partir do período inicial de 2 horas de embebição, até o período final de 24 horas. De uma maneira geral, os lotes demonstraram comportamento similar ao longo dos períodos de embebição. No período de 2 horas de embebição o lote 1 apresentou o menor valor de condutividade, diferindo-se apenas do lote 4 que apresentou o maior valor de condutividade. Os lotes 2 e 3 foram considerados intermediários. No período de 4 horas de embebição o lote 1 mostrou o menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se apenas do lote 2 e 4. Apesar do lote 4 apresentar o maior valor de condutividade elétrica, este não diferiu dos lotes 2 e 3, apenas do lote 1. Em 6 horas de embebição houve maior diferenciação do lote 1, com menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos lotes 2 e 4. O lote 4 apresentou

o maior valor, diferindo-se do lote 1 e 3. Em 8 horas de embebição a diferenciação dos lotes confirmou novamente o lote 1 com o menor valor de condutividade, diferindo-se dos demais lotes. O lote 4 apresentou o maior valor diferindo-se apenas dos lotes 1 e 3. No período de 12 horas de embebição as diferenças entre os lotes ficaram menos acentuadas, sendo que os lotes 1 e 3 tiveram os menores valores, diferindo-se estatisticamente dos lotes 2 e 4 que apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica. No período final de 24 horas de embebição o lote 1 apresentou novamente o menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se estatisticamente dos demais lotes. O lote 4 apresentou o maior valor de condutividade diferindo-se dos lotes 1 e 3, com exceção do lote 2.

Avaliando a combinação de 75 mL e 25 sementes (Tabela 6), nos tempos de embebição de 2 e 4 horas não houve diferença estatística entre os lotes. No tempo de embebição de 6 e 8 horas, o comportamento dos lotes foi similar, onde o lote 1 com menor valor de condutividade, diferiu-se dos lotes 2 e 4. Os lotes 2, 3 e 4 não tiveram diferença significativa, com exceção do lote 1. Em 12 horas de embebição o lote 1 apresentou o menor valor, diferindo-se dos lotes 2 e 4 que não diferiram entre si e apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica. No período de 24 horas de embebição o lote 1 mostrou menor condutividade elétrica, diferindo-se estatisticamente dos demais lotes. Os lotes 2, 3 e 4 detiveram os maiores valores de condutividade e não diferiram entre si. Já em 24 horas houve início da estabilização da condutividade elétrica por parte dos lotes estudados.

Detendo-se à combinação de 75 mL e 50 sementes (Tabela 6), da mesma forma, nos períodos de embebição de 2 e 4 horas não houve diferença estatística entre os lotes e ao longo dos períodos de embebição, a partir de 6 horas, onde ocorreu diferença estatística entre os lotes, o comportamento dos lotes foi muito semelhante à combinação comentada anteriormente. Nos períodos de 6 e 8 horas o lote 1 apresentou o menor valor de condutividade e o lote 4 o maior valor de condutividade. Os lotes 2 e 3 foram classificados como intermediários. Em 12 horas de embebição os lotes 2, 3 e 4 não diferiram entre si estatisticamente, dos quais apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica. Apenas o lote 1 com menor valor de condutividade, diferiu-se estatisticamente dos lotes 2 e 4. No período de 24 horas de embebição, o lote 1 mostrou menor condutividade elétrica, diferindo-se dos demais lotes. Os lotes 2, 3 e 4 detiveram os maiores valores de condutividade e não diferiram entre si. Semelhante à combinação anteriormente comentada, no período de 24 horas de embebição houve estabilização da condutividade elétrica para os lotes de sementes.

Tabela 6- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 30°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	Períodos de embebição (horas)					
	2	4	6	8	12	24
50 mL/25 sementes						
1	16,9 b	23,2 b	28,0 b	31,1 c	36,7 c	50,8 c
2	22,5 a	30,2 a	36,1 a	40,5 a	46,4 a	63,1 a
3	20,4 ab	26,5 ab	31,5 ab	34,5 bc	39,3 bc	52,8 bc
4	20,6 ab	27,4 ab	32,2 ab	35,8 b	41,5 b	55,8 b
50 mL/50 sementes						
1	14,2 b	21,2 b	26,2 c	28,8 c	33,1 b	44,1 c
2	18,3 ab	26,4 a	32,6 ab	37,3 ab	42,9 a	58,6 a
3	18,2 ab	25,4 ab	30,5 bc	33,9 b	37,3 b	49,3 b
4	20,3 a	29,3 a	35,9 a	40,4 a	46,1 a	60,9 a
75 mL/25 sementes						
1	10,3 a	15,3 a	19,0 b	21,9 b	25,5 b	35,1 b
2	12,8 a	19,3 a	23,5 a	26,7 a	31,8 a	43,4 a
3	12,0 a	16,8 a	20,4 ab	22,9 ab	26,9 b	36,3 a
4	13,1 a	18,9 a	23,8 a	26,9 a	32,6 a	43,6 a
75 mL/50 sementes						
1	9,2 a	14,1 a	17,8 b	21,2 b	25,8 b	33,7 b
2	12,1 a	17,3 a	21,9 ab	25,5 ab	30,9 a	41,4 a
3	11,7 a	17,3 a	21,6 ab	24,2 ab	29,3 ab	39,2 a
4	12,8 a	18,5 a	23,1 a	26,7 a	32,2 a	42,4 a

C.V.(%) = 13,24

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p>0,05$ .

Na aplicação da combinação de 50 mL e 50 sementes na maioria dos períodos utilizados (Tabela 6), em geral, ocorreu maior liberação de exsudatos para a solução de embebição no lote 4 e, como na caracterização inicial dos lotes também demonstrou a menor qualidade fisiológica pelos testes de frio e comprimento de raiz (Tabela 2), o teste de condutividade elétrica estratificou igualmente o lote 4 com a maior condutividade elétrica, mostrando concordância entre os testes para classificar o lote de baixo potencial fisiológico. No entanto, o mesmo não ocorreu para classificar, no teste de condutividade elétrica massal, o lote de alto potencial fisiológico, pois a comparação com os testes iniciais não foi possível relacionar com os resultados da condutividade elétrica, portanto, não houve estratificação do lote de alto potencial fisiológico.

Com relação ao período de embebição das sementes, verificou-se nas diversas combinações aumento progressivo das leituras na medida em que se aumentou o período de embebição, corroborando com os dados de Alves e Sá (2009) em sementes de rúcula. Salienta-se que ao longo do incremento de temperatura de 20, 25 e 30°C (Tabelas 4, 5 e 6), houve aumento dos valores de condutividade elétrica em todas as combinações estudadas, verificados também por Ribeiro et al. (2015) em sementes de milho-pipoca, onde maiores diferenças estatísticas foram encontradas nas temperaturas de 25 e 30°C, principalmente nas combinações em que foi utilizado menor volume de água e menor número de sementes. O aumento da condutividade elétrica expressa maior desorganização das membranas das células da semente tornando-a mais suscetível aos danos favorecidos por interferência externa, como condições ambientais e ações de patógenos, comprometendo o potencial fisiológico (MARCOS FILHO, 2005).

Esses resultados se relacionam aos encontrados por Carvalho et al. (2009) no aumento da temperatura de 32°C para 42°C, também aumentaram consideravelmente os valores de lixiviados para o meio da solução, além disso, conseguiram resultados satisfatórios, na separação dos lotes em níveis de vigor para sementes de soja, através do aumento da temperatura que possibilitou diminuir o tempo de embebição para 10 minutos, tempo esse muito menor se comparado com a metodologia tradicional de 24 horas na temperatura de 25°C.

A interpretação dos resultados obtidos com a condutividade elétrica massal para cultivar F-19, em geral, dentre todas as combinações utilizadas, a temperatura de 20°C, volume de 75 mL, 25 sementes, nos períodos entre 12 e 24 horas (Tabela 4) mostrou maior relação dos valores de condutividade elétrica, com os testes iniciais da caracterização que determinaram o potencial de qualidade fisiológica dos lotes de sementes, classificando, da mesma forma, o lote 3 com a maior qualidade fisiológica e o lote 4 com menor qualidade. Todavia, a confirmação do lote de menor potencial fisiológico ficou mais evidente no estudo, em comparação ao lote de maior qualidade fisiológica. Provavelmente a identificação do lote de maior qualidade fisiológica não ficou evidente, pois na caracterização inicial se observarmos os lotes 1, 2 e 3 são iguais estatisticamente e somente o lote 4 de menor qualidade fisiológica se diferenciou dos demais lotes. O mesmo foi observado, de certa forma, na condutividade elétrica massal na identificação do lote de baixo potencial fisiológico, confirmando a eficiência do teste, em relação aos testes iniciais para avaliar a qualidade dos lotes.

Na Tabela 7, estão descritas as médias das leituras de condutividade elétrica massal utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes (25 e 50) e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 20°C para cultivar BRS 506.

A combinação de 50 mL e 25 sementes (Tabela 7) mostrou diferenças entre os lotes desde o período inicial de embebição de 2 horas, até o período final de 24 horas. Em 2 horas de embebição houve diferença significativa entre os lotes, onde o lote 4 apresentou o menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos demais lotes. O lote 2 teve o maior valor de condutividade, diferindo-se do lote 3 e 4, com exceção do lote 1. Observa-se que a partir do período de embebição de 4 horas, até o período final de 24 horas de embebição, o comportamento dos lotes foi semelhante, sendo o lote 2 com o maior valor de condutividade elétrica causado pela maior liberação de exsudatos para a solução. Os demais lotes não apresentaram diferenças significativas. É possível inferir, que após 4 horas de embebição a condutividade elétrica não variou de forma acentuada entre os lotes, estabilizando seus valores até o período final.

Analisando a combinação de 50 mL e 50 sementes (Tabela 7), no período de 2 horas de embebição não foi encontrada diferença significativa entre os lotes. Em 4 horas de embebição o lote 1 apresentou o menor valor de condutividade e o lote 2 o maior valor de condutividade, demais lotes não diferiram. Os períodos de embebição de 6, 8 e 12 horas apresentaram comportamento similar entre os lotes, onde o lote 2 com maior condutividade elétrica, diferiu dos lotes 1 e 4, e igual estatisticamente ao lote 3. No período de 24 horas, o lote 2 confirmou o maior valor de condutividade elétrica, diferindo-se do lote 1 que apresentou menor valor de condutividade.

Nenhuma diferença estatística significativa foi encontrada, utilizando a combinação de 75 mL e 25 sementes (Tabela 7), em todos os períodos de embebição entre os lotes estudados. De certa forma, os valores de condutividade elétrica nessa combinação não foram elevados em função da diluição ocorrida pela utilização do maior volume de água e, portanto, o provável motivo pelo qual não houve diferenças entre os lotes.



Tabela 7- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 20°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	Períodos de embebição (horas)					
	2	4	6	8	12	24
50 mL/25 sementes						
1	28,7 ab	35,2 b	40,1 b	43,4 b	47,9 b	58,3 b
2	33,1 a	41,4 a	46,9 a	50,6 a	54,7 a	65,5 a
3	24,6 b	33,3 b	39,0 b	42,4 b	46,4 b	57,6 b
4	19,8 c	31,2 b	35,8 b	40,1 b	44,0 b	55,0 b
50 mL/50 sementes						
1	16,8 a	27,1 b	31,6 b	34,8 b	38,8 b	47,8 b
2	17,8 a	32,2 a	37,9 a	41,0 a	44,6 a	52,8 a
3	19,8 a	29,9 ab	34,1 ab	38,1 ab	42,6 ab	51,5 ab
4	16,4 a	28,2 ab	33,2 b	36,3 b	40,1 b	50,2 ab
75 mL/25 sementes						
1	13,9 a	21,0 a	25,1 a	27,7 a	31,3 a	37,0 a
2	13,9 a	24,0 a	27,6 a	30,1 a	34,4 a	36,3 a
3	13,3 a	21,5 a	24,6 a	27,5 a	31,0 a	33,9 a
4	12,9 a	20,3 a	24,6 a	27,7 a	31,8 a	35,8 a
75 mL/50 sementes						
1	8,2 a	14,8 a	19,1 b	22,7 b	25,9 b	32,9 b
2	11,6 a	18,4 a	24,2 a	28,6 a	32,5 a	39,4 a
3	9,8 a	17,6 a	22,8 ab	26,7 ab	30,1 ab	35,0 ab
4	11,1 a	17,8 a	21,8 ab	24,8 ab	28,1 ab	33,9 b

C.V.(%) = 10,70

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p>0,05$ .

Analisando a combinação de 75 mL e 50 sementes (Tabela 7), nos períodos de 2 e 4 horas de embebição, não demonstraram diferenças entre os lotes. A partir do período de 6 horas de embebição que houve diferenciação entre os lotes. Porém o comportamento dos lotes ao longo destes períodos de embebição foi muito semelhante. Em geral percebe-se que os lotes 1 e 2 apresentaram o menor e o maior valor de condutividade elétrica, respectivamente, não diferindo estatisticamente dos demais lotes, classificados como intermediários.

Trabalhos como, de Givelberg, Horowitz e Mayber (1984) explicam, que em baixas temperaturas, o processo de reorganização das membranas se torna mais lento e o período de perda de líquidos pelas sementes é mais longo. De acordo com Loeffler, Tekrony e Egli (1988) a temperatura de avaliação tem efeito significativo sobre os resultados da condutividade elétrica, onde verificaram que acréscimos ou reduções de 5°C na temperatura

durante as leituras da condutividade elétrica, provocaram alterações significativas nos resultados.

A temperatura de 20°C (Tabela 7) detectou diferença significativa entre os lotes, porém, não em todas as combinações. Entretanto, o teste de condutividade elétrica para apresentar eficiência, no propósito de estratificar os lotes de sementes em níveis de vigor, existe a necessidade de haver relação com os testes que compõem a caracterização inicial, que classificaram os lotes quanto ao potencial fisiológico. Neste caso, o único teste de vigor que estratificou os lotes foi a primeira contagem da germinação (Tabela 3), classificando o lote 2 com a maior qualidade fisiológica e o lote 4 com a menor qualidade fisiológica, o qual não concordou com os dados apresentados no teste de condutividade elétrica massal. Portanto, não foi possível a estratificação dos lotes em níveis de vigor no teste de condutividade elétrica, igualmente encontrados na qualidade inicial dos lotes.

Na Tabela 8, estão descritas as médias das leituras de condutividade elétrica massal utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes (25 e 50) e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 25°C para a cultivar BRS 506.

Observando a combinação de 50 mL e 25 sementes (Tabela 8), houve diferença estatística entre os lotes em todos os períodos de embebição. No período de 2 horas de embebição o lote 1 apresentou menor valor de condutividade elétrica, diferindo apenas do lote 4 que teve o maior valor de condutividade. Os demais lotes foram considerados intermediários e não diferiram entre si. Em 4 horas de embebição houve maior diferença entre os lotes, sendo que o lote 3 mostrou o menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos lotes 2 e 4. O lote 2 apresentou o maior valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos lotes 1 e 3. Os períodos de embebição de 6 e 8 horas apresentaram um comportamento similar, onde o lote 2 deteve o maior valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos lotes 1 e 3. Em 12 horas de embebição, as diferenças entre os lotes ficaram menores, onde o lote 1 teve o menor valor de condutividade, diferindo-se dos lotes 2 e 4 que detiveram os maiores valores de condutividade elétrica. No período final de 24 horas de embebição, percebe-se que a condutividade elétrica quase estabilizou e conseqüentemente, diminuiu a diferença entre os lotes, que foi evidenciada nos períodos de embebição iniciais. O lote 1 apresentou o menor valor de condutividade elétrica. Os lotes 2, 3 e 4 não diferiram entre si.

Na combinação de 50 mL e 50 sementes (Tabela 8), os períodos de embebição de 2 e 4 horas não apresentaram diferenças significativas entre os lotes. No período de 6 horas de embebição houve diferença significativa entre os lotes, porém, onde os lotes 1 e 2

apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica, diferindo dos lotes 3 e 4. Nos períodos de embebição de 6 e 8 horas o comportamento dos lotes foi semelhante, onde o lote 2, diferiu-se dos lotes 3 e 4, detendo o maior valor de condutividade elétrica. Os lotes 1, 3 e 4 não diferiram entre si. Em 24 horas de embebição o lote 1 mostrou o menor valor de condutividade, diferindo dos lotes 2 e 4. Os lotes 2, 3 e 4 não diferiram entre si. Este resultado vem de encontro com Milani, Menezes e Lopes (2012) que verificaram eficiência do teste para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de canola, sob a condição de 50 sementes imersas em 25 mL de água deionizada por 8 horas na temperatura de 25°C.

Tabela 8- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 25°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	Períodos de embebição (horas)					
	2	4	6	8	12	24
50 mL/25 sementes						
1	22,4 b	36,8 bc	43,2 b	48,7 b	55,0 b	59,0 b
2	25,4 ab	42,9 a	50,2 a	55,0 a	61,7 a	67,6 a
3	26,3 ab	34,2 c	42,9 b	48,5 b	55,7 b	63,6 a
4	27,3 a	39,2 ab	46,3 ab	52,6 ab	60,7 a	67,9 a
50 mL/50 sementes						
1	10,5 a	21,9 a	32,3 a	36,6 ab	42,9 ab	49,3 b
2	11,9 a	23,8 a	32,7 a	40,7 a	46,6 a	55,2 a
3	7,9 a	19,5 a	26,0 b	34,4 b	40,5 b	51,6 ab
4	9,6 a	19,7 a	26,3 b	33,4 b	41,0 b	55,0 a
75 mL/25 sementes						
1	12,0 a	20,0 b	24,6 b	28,0 a	30,9 a	36,1 b
2	14,1 a	25,9 a	29,3 a	31,5 a	34,4 a	42,6 a
3	14,4 a	23,5 ab	26,7 ab	28,6 a	30,4 a	40,3 ab
4	13,6 a	21,0 b	25,1 ab	27,4 a	30,1 a	40,3 ab
75 mL/50 sementes						
1	10,9 a	15,5 ab	19,9 ab	24,6 ab	28,3 a	30,5 b
2	9,4 a	18,1 a	22,7 a	27,7 a	29,4 a	35,9 a
3	7,0 a	13,3 b	17,3 b	22,1 b	25,0 a	32,3 ab
4	7,0 a	14,3 ab	18,5 ab	22,2 b	26,5 a	34,6 ab

C.V.(%) = 10,70

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p > 0,05$ .

Utilizando a combinação de 75 mL e 25 sementes (Tabela 8), no período de 2 horas de embebição não houve diferença significativa entre os lotes. Em 6 horas de embebição, o lote 1 mostrou o menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se apenas do lote 2 que apresentou o maior valor de condutividade elétrica. No período de 6 horas de embebição o lote 1 apresentou o menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se apenas do lote 2 que apresentou o maior valor de condutividade elétrica. Os lotes 3 e 4 foram considerados intermediários. Os períodos de embebição de 8 e 12 horas não mostraram diferença significativa entre os lotes. Somente em 24 horas de embebição houve diferença significativa entre os lotes, muito semelhante ao período de 6 horas, em que apenas o lote 1 e 2 diferiram entre si. Menezes et al. (2007) avaliando o teste de condutividade elétrica em sementes de aveia preta sugeriram que essa combinação de 75 mL, 25 sementes sem casca por 8 horas permitiu a estratificação dos lotes em diferentes níveis de vigor. Todavia, percebe-se que os resultados de trabalhos na mesma cultura podem variar e se justificam pela sensibilidade do teste de condutividade elétrica e principalmente a ocorrência de variações nas conclusões dos resultados. Neste sentido, Nogueira et al. (2013) avaliando, aveia preta concluíram que a condução do teste de condutividade elétrica pode ser realizada mediante uso de 100 sementes com casca, embebidas em 100 mL de água deionizada, a 20 °C, por 16 ou 20 horas, constituindo uma opção promissora para a avaliação do vigor de sementes. Tunes et al. (2008) também verificaram que o teste pode ser conduzido com a casca de sementes de aveia branca nas condições de 1, 3, 6 e 24 horas de imersão em 75 ml de água, entretanto estes autores não informaram a temperatura de condução do teste.

Analisando a combinação de 75 mL e 50 sementes (Tabela 8), o período de 2 horas de embebição não demonstrou diferença significativa entre os lotes. Nos períodos de 4 e 6 horas de embebição o comportamento entre os lotes foi similar. Os lotes 2 e 3 diferiram entre si, com o maior e menor valor de condutividade elétrica, respectivamente. Os demais lotes 1 e 4 não diferiram entre si. No período de 8 horas de embebição houve diferença entre os lotes, no entanto, pouco acentuadas, onde o lote 2 mostrou maior condutividade elétrica, diferindo-se dos lotes 3 e 4. O período de 12 horas de embebição não apresentou diferença significativa entre os lotes. Em 24 horas de embebição o lote 1 com menor valor de condutividade elétrica diferiu do lote 2 que apresentou o maior valor de condutividade elétrica. Os lotes 3 e 4 não diferiram entre si. Ullmann et al. (2015) avaliando a qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar constataram através do teste de condutividade elétrica, nessa mesma combinação, eficiência do teste em mostrar que ao longo do aumento da temperatura de secagem, aumentou a lixiviação de exsudatos para a

solução e conseqüentemente diminuiu a qualidade das sementes. Também Abdo et al. (2005) verificaram eficiência do teste em diferenciar os lotes de sementes de pepino, nas combinações de 50 sementes, temperatura de 25°C, utilizando 50 e 75 mL durante 12, 18 e 24 horas de embebição.

A temperatura de 25°C (Tabela 8) apresentou maior valor de condutividade elétrica nos lotes nas diferentes combinações estudadas, em comparação com a temperatura de 20°C, com aumento da condutividade elétrica ao longo dos períodos de embebição. Mesmo havendo diferença significativa entre os lotes, a comparação do teste de condutividade elétrica massal com a primeira contagem da germinação (Tabela 3) da caracterização inicial dos lotes, não foi possível. Pois, o teste da primeira contagem estratificou o lote 2 com maior qualidade e o lote 4 com a menor qualidade fisiológica. Diferentemente, o teste de condutividade elétrica não mostrou a mesma relação na maioria das combinações utilizadas para discriminar os lotes de sementes pelo potencial fisiológico.

Na Tabela 9, estão descritas as médias das leituras de condutividade elétrica massal utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes (25 e 50) e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 30°C para cultivar BRS 506. A elevação da temperatura de embebição provoca dano térmico às membranas, o que proporciona aumento da energia de ativação das moléculas, alternando a viscosidade da água e, por conseguinte, há aumento dos valores de condutividade elétrica (VIEIRA; CARVALHO, 1994).

Observando a combinação de 50 mL e 25 sementes (Tabela 9), no período de 2 horas de embebição houve diferença entre os lotes. Os lotes 1 e 2 apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica, diferindo apenas do lote 3 e 4 que apresentaram os menores valores de condutividade elétrica. Em 4 horas de embebição a tendência dos lotes foi muito semelhante ao período de 2 horas. Nos períodos de 6, 8 e 12 horas de embebição, apesar de haver aumentos nos valores de condutividade elétrica ao longo do tempo, estes não foram significativos para justificar diferenças entre os lotes. Apenas em 24 horas de embebição houve diferença entre lotes. O lote 1 apresentou o menor valor de condutividade elétrica e o lote 4 o maior valor de condutividade. Os lotes 2 e 3 foram intermediários.

Tabela 9- Médias de condutividade elétrica massal ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) utilizando as combinações entre tempo de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas, número de sementes de 25 e 50 sementes e volume de água de 50 e 75 mL na temperatura de 30°C, respectivamente, em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	Períodos de embebição (horas)					
	2	4	6	8	12	24
50 mL/25 sementes						
1	24,5 a	33,7 ab	39,4 a	41,9 a	45,1 a	61,1 b
2	26,9 a	37,1 a	41,2 a	42,2 a	48,2 a	64,0 ab
3	17,5 b	29,3 b	37,1 a	39,0 a	44,0 a	63,8 ab
4	19,2 b	30,7 b	37,1 a	39,6 a	46,3 a	66,1 a
50 mL/50 sementes						
1	21,9 b	32,4 b	38,1 b	41,5 ab	43,2 b	56,5 b
2	28,2 a	38,6 a	44,0 a	45,9 a	50,1 a	65,0 a
3	15,8 c	25,0 c	35,8 b	40,9 b	44,3 b	63,1 a
4	12,1 c	30,0 b	37,3 b	40,8 b	44,8 b	62,1 a
75 mL/25 sementes						
1	15,7 ab	21,7 ab	25,3 ab	26,5 ab	29,7 b	39,9 b
2	16,9 a	25,8 a	29,3 a	30,6 a	36,0 a	47,1 a
3	12,8 ab	19,3 b	22,1 b	23,7 b	29,4 b	41,4 b
4	11,9 b	20,7 b	24,5 b	26,9 ab	32,8 ab	46,0 a
75 mL/50 sementes						
1	14,5 ab	21,3 ab	26,5 ab	30,2 a	31,1 ab	41,4 b
2	17,8 a	24,5 a	28,1 a	29,9 a	35,3 a	46,0 a
3	12,4 b	19,0 b	23,6 ab	25,8 ab	30,5 b	44,2 ab
4	11,9 b	18,5 b	22,9 b	25,4 b	29,3 b	41,2 b

C.V.(%) = 10,70

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p>0,05$ .

Na combinação de 50 mL e 50 sementes (Tabela 9), houve diferença significativa no período de embebição de 2 horas. O lote 2 apresentou o maior valor de condutividade elétrica. O lote 4 demonstrou o menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos lotes 1 e 2, com exceção do lote 3. No período de embebição de 4 horas, novamente o lote 2 apresentou o maior valor de condutividade elétrica. O lote 3 demonstrou o menor valor de condutividade elétrica, diferindo-se dos demais lotes. Nos períodos de 6, 8 e 12 horas de embebição, o comportamento dos lotes foi muito semelhante, sem diferença marcante. Em 24 horas de embebição, apenas o lote 1, com o menor valor de condutividade elétrica, diferiu dos demais lotes. Nota-se que houve estabilização da condutividade elétrica nesse período.

Na combinação de 75 mL e 25 sementes (Tabela 9), houve diferença entre os lotes em todos os períodos de embebição. No período de 2 horas de embebição houve diferença

significativa entre os lotes 2 e 4, apresentando o maior e menor valor de condutividade elétrica, respectivamente. Os lotes 1 e 3 não diferiram entre si, considerados intermediários. Os períodos de embebição de 4 e 6 horas apresentaram o mesmo comportamento entre os lotes, onde o lote 2 resultou no maior valor de condutividade elétrica, diferindo-se apenas dos lotes 3 e 4. Em 8 horas de embebição os lotes 2 e o lote 3 com maior e menor valor de condutividade elétrica, respectivamente. Os lotes 1 e 4 não mostraram diferença significativa, considerados intermediários. No período de 12 horas de embebição o lote 2 deteve o maior valor de condutividade elétrica novamente. No período final de 24 horas de embebição os valores de condutividade elétrica começaram a estabilizar, diminuindo a diferença entre os lotes.

Em 75 mL e 50 sementes (Tabela 9), os períodos de 2 e 4 horas de embebição mostraram diferença entre os lotes, onde o lote 2 apresentou maior condutividade elétrica, diferindo dos lotes 3 e 4. No período de 6 horas de embebição os lotes 2 e 4, com maior e menor condutividade elétrica, respectivamente. Os lotes 1 e 3 não diferiram entre si, considerados intermediários. O período de 8 horas de embebição foi semelhante ao período anterior. Apenas o lote 4 com menor valor de condutividade elétrica, diferiu dos lotes 1 e 2. Da mesma forma, no período de embebição de 12 horas. O lote 2 com maior valor de condutividade elétrica diferiu dos lotes 3 e 4. No período final de 24 horas de embebição o lote 2 apresentou maior valor de condutividade diferindo apenas dos lotes 1 e 4.

Como exemplo de trabalhos semelhantes, Alvez e Sá (2009) avaliaram o vigor de sementes de rúcula através do teste de condutividade elétrica massal, com variações de temperatura, volume de água e tempos de embebição muito semelhantes ao estudo em questão, onde maiores diferenças foram encontradas nas temperaturas mais elevadas de 25 e 30°C, a partir de 4 horas de embebição utilizando 50 mL de volume de água e 50 sementes que aumentaram a concentração de lixiviados na solução e assim, as diferenças entre os lotes em função da qualidade. No entanto, vale ressaltar que cada espécie pode apresentar comportamento distinto na aplicação das mesmas variáveis do estudo e os dados mostrarem resultados diferentes, como ocorreu no estudo em questão.

Novamente a temperatura de 30°C (Tabela 9), apesar de identificar diferença significativa entre os lotes, não houve relação dos resultados, com o teste de primeira contagem da germinação (Tabela 3) realizado para distinguir os lotes em níveis de vigor na qualidade inicial. E dessa maneira, não foi possível comparar os dois testes, em relação à classificação do potencial de qualidade dos lotes.

Um comportamento atípico, para as duas cultivares, foi observado em todas as temperaturas testadas, quando aumentou o número de 25 sementes para 50 sementes, no mesmo volume de água utilizado, tanto para 50 mL e 75 mL, ocorrendo diminuição dos valores de condutividade elétrica. Tal fato deve-se provavelmente aos valores de condutividade elétrica não variarem de forma acentuada, quando se utilizou o número maior de 50 sementes, pois, a unidade de medida adotada para a condutividade elétrica massal foi em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ . Com isso, quando foi adotado o número de 50 sementes, o peso da massa de sementes aumentou, entretanto, não houve aumento significativo na condutividade elétrica medida, para justificar aumento dos valores da condutividade elétrica após a divisão desta, pelo peso da massa de sementes.

O teste de condutividade elétrica massal para as duas cultivares refletiu sua capacidade de detectar diferença entre os lotes, nas combinações utilizando volume de água, número de sementes, temperatura e período de embebição. Entretanto, nota-se que os resultados podem ser variáveis, principalmente na identificação da qualidade fisiológica dos lotes, pois somente o valor de condutividade elétrica, não informa o verdadeiro potencial fisiológico dos lotes de sementes. Como já foi comentado, é necessária a comparação com os testes de vigor, que compõem a caracterização inicial e, que identificaram a diferença entre os lotes em níveis de vigor. Além disso, neste estudo sua aplicação foi restrita aos genótipos em estudo. Portanto, o teste pode ser influenciado por diversas variáveis que podem alterar os resultados de forma significativa. Variáveis importantes na realização de testes que avaliam a condutividade elétrica através dos lixiviados para a solução. A exemplo do exposto, Machado et al. (2011) determinaram através do teste de condutividade elétrica que o volume de 250 mL de água, não encontrado normalmente nos trabalhos, e na temperatura de 25°C por 24 horas foi promissor para a diferenciação de lotes de sementes de ervilhas.

Existe uma relação muito semelhante do teste de condutividade elétrica em praticamente todas as espécies, que é a capacidade de identificar potencial de qualidade dos lotes de sementes através da quantidade de eletrólitos que estas liberam para o meio refletindo a capacidade das membranas celulares se organizarem e sua seletividade em permitir a entrada de outras substâncias que podem ser prejudiciais. Contudo, na literatura os trabalhos utilizam variáveis distintas para cada espécie e suas cultivares, e apesar da diferença desses resultados, partindo-se do princípio que cada experimento apresenta suas particularidades, é possível revelar relações de extrema importância comum em todas as culturas estudadas. Por isso a comparação dos resultados desse estudo, com outras culturas que fornecem informações de caráter específico são, de certa forma, relevantes em sua contribuição.



Dessa maneira, estudos como o de Binotti et al. (2008) contribuem para a pesquisa na área de sementes, onde avaliaram o efeito do envelhecimento acelerado artificial na lixiviação de açúcares, proteínas, aminoácidos e íons no exsudato do teste de condutividade elétrica, e suas relações com a germinação e vigor de sementes de feijão. O estudo mostrou que existe uma relação muito próxima entre os testes, e conforme aumentou o tempo de exposição no envelhecimento acelerado artificial houve aumento dos lixiviados da condutividade elétrica e diminuição da germinação e vigor refletindo a eficiência dos dois testes.

Vale ressaltar, que a análise dos dados foi realizada separadamente em cada cultivar. Do mesmo modo, ficou evidente a diferença dos resultados em cada genótipo, normalmente comum de se encontrar, pois cada um possui seus atributos e características específicas. Para mostrar a eficiência do teste de condutividade elétrica massal, é necessário comparar os resultados com a qualidade inicial. Se observarmos a cultivar F-19, é possível notar que a estratificação dos lotes no teste de frio e comprimento de raiz ficou evidente para o lote 4 de menor qualidade que diferiu dos demais, semelhantemente ao ocorrido no teste de condutividade elétrica massal, na temperatura de 20°C, 75 mL, 25 sementes, nos períodos de 12 e 24 horas.

Todavia, na cultivar BRS 506, o teste de vigor da caracterização inicial que estratificou os lotes, foi a primeira contagem da germinação, porém não ocorreu diferença significativa entre os lotes em nenhum dos outros testes. Isso confirma a maior semelhança entre os lotes na qualidade inicial para essa cultivar, explicando de certa forma, o comportamento ambíguo que ocorreu entre os lotes no teste da condutividade elétrica massal. Entretanto, apesar de não haver a estratificação dos lotes em níveis de vigor no teste de condutividade elétrica, pode-se inferir que o teste refletiu o mesmo comportamento da caracterização, pois apenas um teste mostrou a estratificação dos lotes que foram muito semelhantes.

Na Tabela 10, estão descritas as médias de condutividade elétrica individual em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, utilizando tempos de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas na temperatura de 25°C para cultivar F-19. Analisando os períodos de embebição, verificou-se diferença significativa para os quatro lotes estudados.

No período de 2 horas de embebição (Tabela 10), houve diferença entre os lotes, onde o lote 1 com a menor condutividade elétrica diferiu estatisticamente do lote 4 com a maior condutividade elétrica. Os lotes 2 e 3 foram considerados intermediários, pois não diferiram dos outros lotes. De modo semelhante, no período de 4 horas de embebição (Tabela

10), o comportamento dos lotes seguiu o mesmo padrão, porém, houve maior distinção. O lote 1 apresentou o menor valor de condutividade elétrica e o lote 4 maior valor de condutividade elétrica. Os lotes 2 e 3 não diferiram entre si.

Tabela 10- Médias de condutividade elétrica individual ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{semente}^{-1}$ ) em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, utilizando tempos de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas na temperatura de 25°C para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	Tempos de embebição (Horas)					
	2	4	6	8	12	24
1	0,29 b	0,74 c	1,22 c	2,10 b	2,26 c	4,10 c
2	0,72 ab	1,72 b	2,93 ab	3,76 ab	4,76 ab	7,71 ab
3	0,62 ab	1,51 b	2,42 b	3,90 a	4,05 bc	6,86 b
4	0,98 a	2,54 a	3,96 a	4,81 a	6,25 a	9,29 a
CV (%)	53,86	34,30	32,94	34,59	31,22	23,91

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p > 0,05$ .

Em 6 e 8 horas de embebição (Tabela 10), as discrepâncias entre os lotes começaram a diminuir, apesar da condutividade aumentar ao longo dos períodos de embebição. Verificase que em 6 horas, o lote 1 novamente obteve o menor valor de condutividade elétrica e o lote 4 maior condutividade elétrica, mas não diferiu do lote 2. Em 8 horas apesar dos lotes 1 e 4 demonstrarem a menor e a maior condutividade elétrica, respectivamente e apenas o lote 1 diferiu dos lotes 3 e 4. No período de 12 e 24 horas de embebição (Tabela 10), novamente diferenças entre os lotes puderam ser percebidas, de maneira que o lote 1 em 12 horas, deteve a menor condutividade elétrica, diferindo-se dos lotes 2 e lote 4. O lote 4 demonstrou a maior condutividade elétrica. Ao período final de 24 horas de embebição, os lotes ao longo dos períodos de embebição, tiveram um comportamento similar, sendo que o lote 1 detentor da menor condutividade e o lote 4 com maior condutividade elétrica.

Os coeficientes de variação foram altos, da mesma forma, Barbieri et al. (2013) também encontraram coeficientes de variações relativamente altos avaliando sementes de trigo, muito provavelmente em função da distância dos valores da média, que podem

aumentar as causas de variação na análise estatística, porém, não comprometeram o resultado do teste. Essas variações provavelmente estão relacionadas ao fato, do teste ser realizado individualmente em cada semente, e pequenas variações na qualidade da semente, como por exemplo, danos mecânicos, resultam em maiores valores de condutividade elétrica na solução e, conseqüentemente geram valores discrepantes que contribuem para o aumento dessas variações constatadas, posteriormente na análise estatística.

Em trabalhos que estudam o potencial fisiológico de lotes de sementes utilizando testes de vigor e testes bioquímicos como a condutividade elétrica, o principal objetivo é avaliar se os lotes de sementes, de um determinado cultivar, ocupam posições extremas, que estratifiquem da melhor maneira possível sua qualidade fisiológica. Rotineiramente em laboratórios o teste padrão de germinação é utilizado para avaliar a qualidade dos lotes de semente, como já foi comentado neste capítulo. Entretanto, somente testes de vigor que realmente induzam ou simulam as sementes às condições variáveis de campo, proporcionam detectar diferenças que classifiquem de maneira adequada os lotes de sementes. Dessa forma, realiza-se a comparação dos resultados da condutividade elétrica individual com os dados da caracterização inicial, presente nas Tabelas 2 e 3.

Um resultado interessante que ocorreu na caracterização inicial, pelos testes de frio e comprimento de radícula, para cultivar F-19, foi a classificação do lote 4 detentor da menor qualidade fisiológica (Tabela 2), demais lotes são muito semelhantes. Analisando esses dados, verifica-se que no teste de condutividade elétrica individual (Tabela 10), o maior valor de condutividade elétrica foi no lote 4. Tal fato demonstra a sensibilidade do teste em discriminar o lote de menor qualidade fisiológica. O mesmo não foi observado para o lote com maior potencial fisiológico, provavelmente pelo fato da semelhança entre os lotes, comprovados pela análise estatística. Na caracterização inicial o lote de melhor desempenho pelo teste de frio e comprimento de radícula, foi o lote 3 (Tabela 2). Em virtude disso, a sugestão de utilizar posteriormente em trabalhos futuros, lotes com maior contraste, em relação à qualidade fisiológica, poderá aumentar a eficiência do teste de condutividade elétrica individual na estratificação dos lotes em níveis de vigor.

Diante disso, sugere-se no estudo em questão, que o teste de condutividade elétrica individual foi eficiente para a avaliação do potencial fisiológico dos lotes de sementes de sorgo sacarino da cultivar F-19, pois apresentou resultados compatíveis com alguns testes de vigor utilizados para apresentar a qualidade inicial dos lotes, podendo ser realizado no período de embebição a partir de 2 horas. Estes resultados corroboram com Mertz et al. (2012) avaliando sementes de trigo pelo teste de condutividade elétrica individual, que

semelhantemente sugeriram que, a partir de 3 horas de embebição o teste foi eficiente em avaliar o potencial de qualidade fisiológico das sementes de trigo.

Todavia, resultados promissores recentemente citados, nem sempre são encontrados na literatura para todas as culturas, pois Souza (2007) avaliando sementes de mamona, não encontrou relação dos testes que compõem a qualidade inicial das sementes, com o teste de condutividade elétrica individual, portanto, não houve eficiência do teste em distinguir os lotes quanto ao potencial de qualidade fisiológica em função da metodologia utilizada no estudo. Vale salientar que no estudo deste autor foram utilizadas somente 2, 4 e 6 horas de embebição das sementes na solução, fato que pode explicar a não detecção de diferenças entre os lotes, onde provavelmente tempos maiores de embebição poderiam mostrar diferença quanto ao vigor dos lotes.

Os dois testes bioquímicos, massal e individual, demonstram a capacidade de estratificar os lotes em níveis de vigor. Outro fato que justifica essa afirmativa são os resultados semelhantes e o comportamento dos lotes ao longo do período de embebição, que os testes de condutividade elétrica massal e individual revelaram. Se comparados, verifica-se que analisando a cultivar F-19 (Tabela 10), de modo geral, nos dois testes de condutividade elétrica, o lote que ocupou a posição de menor potencial de fisiológico foi o mesmo e ficou evidenciado, com exceção de algumas combinações na condutividade elétrica massal. Da mesma forma, os outros lotes foram muito semelhantes entre si, o que não possibilitou encontrar também nos testes de condutividade elétrica, o lote de maior potencial fisiológico.

Esse resultado é promissor e confirma que a utilização dos testes de condutividade elétrica massal e individual na cultura do sorgo sacarino, para discriminar lotes quanto à qualidade, pode ser uma opção vantajosa na análise de sementes. Normalmente um teste padrão de germinação e primeira contagem da germinação, demoram até 10 dias para gerar um resultado confiável. Com o auxílio dos testes de condutividade elétrica, os resultados podem ser gerados em até 24 horas, havendo a possibilidade de reduzir esse tempo, otimizando a análise das amostras de sementes. Salinas et al. (2010) confirmam essa possibilidade em seus estudos de comparação de curvas de lixiviados na condutividade elétrica individual, em sementes de dez cultivares de soja, com o mesmo aparelho utilizado no presente estudo, onde verificaram o ajuste de um modelo que permitiu realizar comparações da condutividade elétrica, ao longo de tempo entre cultivares e, estudar a influência do ambiente de produção sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja. Além disso, concluíram que tempo para alcançar a estabilização da condutividade elétrica, não deve ser menor que 19 horas para os diferentes cultivares.

Na Tabela 11, estão descritas as médias de condutividade elétrica individual em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, utilizando tempos de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas na temperatura de 25°C para cultivar BRS 506. Não houve diferença significativa entre os lotes nos períodos de embebição de 2, 4, 6, 8 e 12 horas (Tabela 11). No trabalho de Mertz et al. (2012), onde realizaram um estudo semelhante com sementes de trigo através da condutividade elétrica individual e em 2 horas de embebição também não houve diferença entre os lotes, porém, como é uma espécie diferente, essas variações do resultado pode ser comumente encontrada, além de que em períodos iniciais, a liberação de eletrólitos pela semente, pode ser muito lenta contribuindo para não haver diferença significativa entre os lotes.

Tabela 11- Médias de condutividade elétrica individual ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{semente}^{-1}$ ) em quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, utilizando tempos de embebição de 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas na temperatura de 25°C para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	Tempos de embebição (Horas)					
	2	4	6	8	12	24
1	1,13 a	2,50 a	3,43 a	3,86 a	5,35 a	6,93 b
2	1,98 a	3,49 a	4,88 a	5,68 a	6,37 a	8,47 ab
3	1,53 a	3,05 a	4,21 a	4,61 a	6,30 a	8,78 ab
4	1,18 a	2,73 a	4,13 a	5,16 a	6,28 a	9,58 a
CV (%)	42,42	27,91	29,43	30,42	27,33	18,49

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p > 0,05$ .

O tempo de embebição é um fator variável quanto ao resultado, pois quanto maior os pontos de tempo de embebição o estudo conter, para avaliar a condutividade elétrica das sementes, maiores as chances de encontrar com melhor exatidão o tempo de embebição que mostra a estratificação dos lotes em níveis de vigor. Entretanto, é muito difícil observar a condutividade elétrica em todo momento no laboratório, na literatura alguns trabalhos mostram que determinados tempos de embebição são mais apropriados para determinadas culturas, entretanto é restrito ao genótipo e principalmente à espécie. Alguns estudos justificam esse comportamento, como por exemplo, na cultura do café, onde Costa e Carvalho (2006) utilizaram o tempo de embebição de 96 horas na condutividade elétrica individual,

geralmente atípico, se comparado com outras culturas, no entanto, ainda assim encontraram eficiência do teste em separar os lotes em diferentes níveis de vigor.

Apenas em 24 horas de embebição houve diferença significativa entre os lotes (Tabela 11). O lote 1 deteve a menor condutividade elétrica e o lote 4 a maior condutividade. Enquanto que os lotes 2 e 3 foram classificados como intermediários. Os coeficientes de variação foram altos, encontrados também por Barbieri et al. (2013) em trigo e Mattioni et al. (2015), avaliando sementes de soja, contudo, não foram decisivos para comprometer a confiabilidade nos resultados, apesar dos valores relativamente altos.

Estes resultados corroboram com Mattioni et al. (2015), que apesar do objetivo ser diferente do trabalho em questão, utilizaram 24 horas de embebição a 25°C no teste, para estimar a germinação das sementes de soja e, encontraram resultados satisfatórios nesse período para estratificar os lotes quanto ao potencial fisiológico, mas destacaram que o teste mostrou limitação em estimar a germinação de sementes de soja que foi o objetivo principal, sendo que as características de cada lote influenciaram na condutividade elétrica individual, levando a diferenças entre a germinação estimada e o teste padrão. Isso demonstra que apesar do teste de condutividade elétrica individual ser eficiente para avaliar a qualidade fisiológica de sementes, o teste acima de tudo mostrou sua especificidade, quanto aos fatores como: a espécie, o genótipo, lote e a metodologia utilizada na condução do teste, conforme comentado nesse capítulo.

A comparação do resultado dos testes da caracterização inicial (Tabela 3) com o teste de condutividade elétrica individual (Tabela 11), para avaliar a capacidade do teste de vigor em discriminar os lotes de semente provenientes da cultivar BRS 506, possibilitou salientar que o lote 4 deteve a menor porcentagem de plântulas normais pelo teste de primeira contagem da germinação (Tabela 3), classificado dessa maneira como o lote de menor qualidade fisiológica. No teste de condutividade elétrica individual (Tabela 11) esse mesmo lote, deteve o maior valor de condutividade no período de 24 horas de embebição. Este resultado afirma a sensibilidade do teste bioquímico em estratificar o lote de menor qualidade fisiológica.

Entretanto, não foi possível discriminar da mesma forma, o lote de alto potencial fisiológico entre o teste de primeira contagem da germinação na caracterização inicial, com o teste de condutividade elétrica individual. Provavelmente em virtude da semelhança entre os lotes 1, 2 e 3, principalmente para essa cultivar. É comum encontrar trabalhos que comparem os resultados da condutividade elétrica massal e individual com a emergência de plântulas a campo ou emergência em areia, encontrando correlação dos resultados dos testes e a mesma

estratificação dos lotes em níveis de vigor (BARBIERI et al., 2013; MERTZ et al., 2012). No estudo proposto, a emergência a campo confirmou a semelhança entre os lotes, pois não houve diferença significativa entre os lotes e, portanto também não foi possível a comparação com a condutividade elétrica individual para mostrar diferenças, mas para evidenciar a semelhança entre os lotes.

Os resultados da condutividade elétrica individual para as duas cultivares permitiu, na comparação com os testes de caracterização inicial, identificar o lote de menor qualidade fisiológica, pois foi o único lote realmente diferente, demais foram muito semelhantes. De maneira similar, Soares et al. (2010) discriminaram somente o lote de qualidade inferior, ao usar o teste de condutividade elétrica massal em sementes de sorgo forrageiro, com 2, 4 e 6 horas de embebição em 75 mL de água, em 16 horas de embebição, em 50 mL de água.

O teste de condutividade elétrica individual demonstrou ser sensível para estratificar o lote de menor qualidade fisiológica e mostrar a semelhança dos demais lotes que, da mesma forma, ficaram evidentes na qualidade inicial. O trabalho ficou restrito ao genótipo em estudo, pela qualidade específica de cada cultivar, portanto, mostrou eficiência do seu uso para avaliar o potencial fisiológico de lotes de sementes de sorgo sacarino. As condições, desde o ciclo de cultivo, até a colheita, passando pelo beneficiamento e chegando ao produtor, novamente no momento da comercialização, podem ser decisivos na manutenção do potencial de qualidade. O cuidado durante essas etapas podem influenciar na maior ou menor deterioração das sementes e definir o potencial fisiológico dos lotes, que fornece a qualidade da semente propriamente dita.

### **3.4 CONCLUSÕES**

Nas condições em que foi realizado o trabalho:

- O teste de condutividade elétrica massal foi eficiente em detectar o lote de menor qualidade fisiológica apenas para cultivar F-19, principalmente na temperatura de 20°C, 75 mL e 25 sementes.
- A similaridade entre os lotes na cultivar BRS 506 foi determinante, para não haver a estratificação destes em relação à qualidade fisiológica, no teste de condutividade elétrica massal.

- O teste de condutividade elétrica individual foi eficiente em detectar o lote de menor qualidade fisiológica para as duas cultivares, sendo possível realizá-lo em 24 horas nas duas cultivares.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, M. T. V. N. et al. Testes de vigor para avaliação de sementes de pepino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 195-198, 2005.

ALVES, C. Z.; SÁ, M. E. de. Teste de condutividade elétrica na avaliação do vigor de sementes de rúcula. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p.203-215, 2009.

ARAUJO, R. F. et al. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão mungo-verde. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1 p. 123-130, 2011.

AOSA (Association Of Official Seed Analysts) (ed). **Seed vigor testing handbook**. Contribution n. 32 to the Handbook on Seed Testing, 88p. 1983.

BARBIERI, A. P. P. et al. Teste de condutividade elétrica individual em sementes de soja e a relação com emergência de plântulas. **Interciencia**, v. 38, n. 04, 2013.

BINOTTI, F. F. da. S. et al. Efeito do período de envelhecimento acelerado no teste de condutividade elétrica e na qualidade fisiológica de sementes de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 30, n. 2, p. 247-254, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 365p. 1992.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 45**. Brasília. MAPA. 38p., 2013.



CARVALHO, L. F. de. et al. Influencia da temperatura de embebição da semente de soja no teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 009-017, 2009.

COSTA, P. de. S. C.; CARVALHO, M. L. M. de. Teste de condutividade elétrica individual na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**. v. 30, p. 92-96, 2006.

COSTA, R. S. et al. Teste de frio para avaliação do vigor de sementes de três variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L.). **Revista de biologia e ciências da terra**. v. 11, n. 1, 2011.

CUSTÓDIO, C. C. Testes rápidos para avaliação do vigor de sementes: uma revisão. **Colloquium Agrariae**, v.1, n.1, p. 29-41, set. 2005.

DIAS, D.C.F.S.; FILHO, M. J. Testes de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia agrícola**, v. 53, n. 1, Piracicaba Jan./Apr. 1996.

DUTRA, A. S.; PITOMBEIRA, J. B. Condutividade elétrica em sementes de sorgo. XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo: **Eficiência nas cadeias produtivas e abastecimento global**. Salvador, BA, 2014.

FERREIRA, D. F. SISVAR - **Sistema de análises estatísticas**. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais – UFLA, 1999.

FRANZIN, S. M. et al. Métodos para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 2, p. 63-69, 2004.

GIVELBERG, A.; HOROWITZ, M.; MAYBER, A. P Solute leakage from *Solanum nigrum* L. seeds exposed to high temperatures during imbibition. **Journal of Experimental Botany**, v. 35, n. 161, p. 1754-1763, 1984.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **Handbook of vigour test methods**. 3 ed. Zürich, 117p. 1995.

LOEFFLER, T. M.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality. **Journal of Seed Technology**, Lansing, v. 12, n. 1, p. 37-53, 1988.

MACHADO, C. G. et al. Adequação do teste de condutividade elétrica para sementes de *Pisum sativum* subsp. Arvense. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 988-995, jun, 2011.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, Cap.3, p. 1-24. 1999.

MARCOS FILHO, J. et al. Testes para avaliação do vigor de sementes de soja e suas relações com a emergência das plântulas em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 5, p. 605-613, 1984.

MARCOS FILHO, J.; CICERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade fisiológica das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MATTIONI, N. M. et al. Individual electrical conductivity test for the assessment of soybean seed germination. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 31-38, jan./fev. 2015.

MENEZES, N. L. de. et al. Teste de condutividade elétrica em sementes de aveia preta. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 138-142, 2007.

MERTZ, L. M. et al. Condutividade elétrica individual para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo. **Informativo ABRATES**. v. 22, n. 1, 2012.

MILANI, M.; MENEZES, N. de. L.; LOPES, S. J. Teste de condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de canola. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 374-379, mai/jun, 2012.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 218p. 1999.

NOGUEIRA, J. L. et al. Teste de condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de aveia preta. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 6, p. 896-901, nov./dez., 2013.

RIBEIRO, D. M. et al. Teste de condutividade elétrica para avaliar o vigor de sementes em milho pipoca (*Zea mays* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n.6, p. 772-776, nov./dez., 2009.

SALINAS, A. R. et al. Electrical conductivity of soybean seed cultivars and adjusted models of leakage curves along the time. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, jan./mar., p. 1-7, 2010.

SANTOS, S. R. G.; PAULA, R. C. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes *Sebastiania commersoniana* (Bail) Smith & Downs – Euphorbiaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, 2005.

SILVA, L. B. da.; MARTINS, C. C. Teste de condutividade elétrica para sementes de mamoneira. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 1043-1050, 2009.

SOARES, M. M. et al. Testes para avaliação do vigor de sementes de sorgo com ênfase à condutividade elétrica. **Ciênc. agrotec., Lavras**, v. 34, n. 2, p. 391-397, mar./abr., 2010.

SOUZA, L. A. **Teste de condutividade elétrica individual na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mamona**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, MG. 53p, 2007.

STEERE, W. C.; LEVENGOOG, W. C.; BONDIE, J. M. An electronic analyser for evaluating seed germination and vigour. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 9, n. 2, p. 567-576, 1981.

TUNES, L. M. de. et al. Testes de vigor em sementes de aveia branca. **Revista da Faculdade de zootecnia, veterinária e agronomia**. Uruguaiana, v. 15, n. 2, p. 94-106, 2008.

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

VAZQUEZ, G. H.; BERTOLIN, D. C.; SPEGIORIN, C. M. Testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 18-24, jan./mar., 2011.

VIDIGAL, D. de. S. et al. Teste de condutividade elétrica para semente de pimenta. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 1, p. 168-174, 2008.

VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: Funep, p. 103-139, 1994.

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



## 4 CAPÍTULO II

### TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SEMENTES DE SORGO SACARINO

#### Resumo

O teste de envelhecimento acelerado artificial é considerado um dos mais sensíveis para avaliar o potencial fisiológico de sementes de inúmeras espécies. Contudo, sua metodologia ainda não foi estabelecida para todas as culturas e há necessidade de estudos com diferentes variações de temperatura e tempo de exposição. Aliado a isso, alterações no complexo enzimático ocorrem devido a variações causadas pelo estresse do teste, o qual não fornece informações da atividade das enzimas. Torna-se necessário a análise das enzimas envolvidas nesse processo, que carece de informações na literatura, para a cultura do sorgo sacarino. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar as alterações fisiológicas e enzimáticas em sementes de sorgo sacarino no teste de envelhecimento acelerado artificial. Foram analisadas sementes de quatro lotes de cada cultivar BRS 506 e F-19 separadamente. Inicialmente as sementes foram caracterizadas quanto a sua qualidade física e fisiológica, através do grau de umidade, peso de mil sementes e dos testes de primeira contagem da germinação, germinação, comprimento de radícula e parte aérea, massa seca, teste de frio e emergência de plântulas a campo. Posteriormente foram submetidas aos seguintes experimentos de envelhecimento acelerado artificial utilizando-se variações na temperatura (41, 43 e 45°C) e no tempo de armazenamento (48, 96 e 120 horas) e a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e guaiacol peroxidase (POD) para raiz e parte aérea. Os experimentos foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado e foram avaliados através da comparação de médias pelo teste de Tukey e Scott-Knott para as enzimas. Os resultados obtidos permitem concluir que: a) o teste de envelhecimento acelerado foi sensível em detectar diferenças entre os lotes e sua relação com a qualidade fisiológica para as duas cultivares estudadas; b) a temperatura de 43°C e 96 horas de armazenamento foi a combinação que melhor relacionou com o potencial de qualidade fisiológica dos lotes para as duas cultivares; c) a atividade das enzimas foi específica em cada órgão da plântula, havendo menor atividade da SOD nas raízes e maior atividade na parte aérea, e na enzima POD, maior atividade nas raízes e menor atividade na parte aérea; d) a qualidade dos lotes de sementes de cada cultivar influenciou na atividade das enzimas SOD e POD; e) o tratamento utilizando a temperatura de 45°C e 96 horas de armazenamento foi prejudicial para as enzimas diminuindo a atividade.

**Palavras-chave:** Enzimas. Testes. *Sorghum bicolor*. Estresse oxidativo.

## PHYSIOLOGICAL AND ENZYMATIC CHANGES IN SWEET SORGHUM SEEDS AT THE ARTIFICIAL ACCELERATED AGING TEST

### Abstract

The artificial accelerated aging test is considered one of the most sensitive to evaluate the physiological quality of seeds of many species. However, its methodology has not been established for all cultures and it is necessary more studies with different variations of temperature and exposure time. Allied to this, changes in the enzyme complex due to variations caused by the stress of the test, does not provide information of the enzymes activity. It is necessary to analyze the enzymes involved in this process, for which information in the literature for the sweet sorghum culture is lacking. Therefore, the aim of this study was to evaluate the physiological and enzymatic changes in sweet sorghum seeds in the artificial accelerated aging test. Four seed lots were analyzed for each cultivar BRS 506 and F-19 separately. Initially the seeds were characterized as their physical and physiological quality by moisture content, weight of a thousand seeds and first count of germination, germination, root and aerial portion length, dry weight, cold test and emergency seedling field. Later they were subjected to the following artificial accelerated aging experiments using variations in temperature (41, 43 and 45° C) and storage time (48, 96 and 120 hours) and activity of superoxide dismutase (SOD) and guaiacol peroxidase (POD) to root and aerial portion. The experiments were conducted in a completely randomized design and were assessed by comparison of means by Tukey test and Scott-Knott for enzymes. The results showed that: a) the accelerated aging test was sensitive to detect differences between the lots and their relation to physiological quality for both cultivars; b) at a temperature of 43° C and 96 hours storage was the combination that best correlate with the potential physiological quality of the lots for the two plant varieties; c) the enzyme activity was specific for each seedling body, with lower activity of SOD in roots and increased activity in the aerial portion, and POD enzyme, increased activity in the roots and lower activity in the aerial portion; d) the quality of the lots of each cultivar seeds influenced the activity of enzymes SOD and POD; e) treatment using a temperature of 45° C and 96 hours of storage was harmful to the enzymes decreasing their activity.

**Key words:** Enzymes. Tests. *Sorghum bicolor*. Oxidative stress.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Um lote de sementes pode ser avaliado qualitativamente pelos atributos de natureza genética, física, fisiológica e sanitária que determinam seu valor para utilização na semeadura (MENEZES et al. 2008). Dentre, os atributos, o potencial fisiológico pode ser considerado determinante no desempenho das sementes a campo e potencial para armazenamento (RODO; PANOBIANCO; FILHO, 2000).

A fim de avaliar o potencial fisiológico das sementes, o teste de germinação tem sido utilizado rotineiramente em laboratório. Entretanto, alguns pesquisadores, tecnologistas, produtores de sementes e agricultores não têm se mostrado satisfeitos com as informações fornecidas por este teste, pelo fato deste ser executado sob condições ambientais favoráveis conduzindo a superestimação do potencial fisiológico dos lotes (MENDONÇA et al. 2008). Assim, a fim de identificar possíveis diferenças no potencial fisiológicos de sementes, que apresentem o poder germinativo semelhante foram desenvolvidos testes de vigor, como os testes de condutividade elétrica e de envelhecimento acelerado (RODO; PANOBIANCO; FILHO, 2000).

Particularmente este último, é um dos mais utilizados para avaliar vigor de sementes no Brasil e no mundo, podendo ser aplicado em um grande número de espécies (DUTRA; VIEIRA, 2004; BHERING et al. 2006). A deterioração das sementes aumenta consideravelmente quando submetidas às condições de temperatura e umidade relativa do ar elevadas, submetendo, assim, os lotes à tais condições durante um período relativamente curto e, em seguida, colocando-os para germinar (MARCOS FILHO, 1999b). De acordo com a Association of Official Seed Analysts (1983), lotes submetidos a estas condições mantendo sua viabilidade são considerados de alto vigor, enquanto que os que apresentam viabilidade reduzida são ditos de baixo vigor. Este teste já foi padronizado para várias espécies, entretanto, ainda existem vários trabalhos com o objetivo de aprimorar sua metodologia (MARCOS FILHO, 1999a).

Durante o envelhecimento acelerado são necessários utilizar para avaliação diferentes tratamentos de temperatura e tempo de exposição que causam estresse para a semente e somente lotes com qualidade irão manter sua viabilidade, seu padrão de vigor e a capacidade de germinar após o processo. Em meio a esse processo alterações nas membranas celulares podem ocorrer na semente e danificar suas células e aumentar a deterioração. Espécies reativas de oxigênio (EROs) são formadas e causam estresse oxidativo, por parte desses



radicais livres e para minimizar esse processo, os antioxidantes ou enzimas, que atuam no complexo antioxidante mantem em baixo nível celular essas EROs, impedindo que maiores danos ocorram nas células. A alteração nas membranas celulares é um dos componentes no complexo de mudanças bioquímicas e fisiológica que ocorrem durante a deterioração das sementes.

Sob condições fisiológicas normais, os danos oxidativos são combatidos por um sistema complexo de defesa antioxidante, o qual compreende o aumento da produção e ativação de uma série de metaloenzimas, das quais, encontra-se a guaiacol peroxidase (POD), que é responsável por catalisar a conversão do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) em água ( $H_2O$ ) (FOYER; NOCTOR, 2003). A atividade desta enzima é reduzida durante a deterioração das sementes, devido à sua inativação progressiva ou redução e paralisação de sua síntese (MARCOS FILHO, 2005). O processo de germinação das sementes fica prejudicado devido a isto, pois com a redução na atividade geral da POD há redução na capacidade respiratória e, conseqüentemente, diminuição do fornecimento de energia e assimilados para a mesma (DEMIRKAYA et al., 2010).

A superóxido dismutase (SOD) dentre as enzimas é considerada a primeira linha de defesa contra os danos causados pelas EROs, e como o próprio nome, atua dismutando o  $O_2^-$  em  $H_2O_2$ , por isso sua atividade interfere no mecanismo central de defesa das plantas, pois diminui a concentração dessas duas EROs na reação de Haber-Weiss evitando a formação do radical OH (ALSCHERG; ERTURK; HEATH, 2002; FRIDOVICH, 1986; LEÓN et al., 2002).

Estudos para avaliar o potencial fisiológico de sementes através do envelhecimento acelerado artificial são encontrados para diversas culturas na literatura, contudo, depois de realizado o processo de estresse nas sementes, alterações enzimáticas ocorrem em função dos tratamentos aplicados de temperatura e tempo de exposição e essas informações sobre o complexo antioxidante que determinadas enzimas atuam para diminuir os efeitos das espécies reativas de oxigênio que são formadas e tóxicas para as plantas, para a cultura do sorgo sacarino, ainda são incipientes e não foram encontradas informações na literatura que contemplassem esse tema. Diante disso, este trabalho objetivou analisar a qualidade fisiológica de diferentes lotes de semente de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) submetidas ao estresse do teste de envelhecimento acelerado artificial e suas relações bioquímicas através da avaliação da atividade enzimática.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Avaliação da qualidade física e fisiológica das sementes de sorgo sacarino.

O experimento foi realizado no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes localizado no Departamento de Fitotecnia na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, RS. Foram usadas sementes de duas cultivares de sorgo sacarino e de quatro lotes de cada cultivar. A cultivar BRS 506 foi desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, e a cultivar F-19 pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Fepagro. As sementes utilizadas no trabalho foram produzidas na safra 2012/2013 na área experimental da Fitotecnia, da UFSM.

As panículas foram colhidas, manualmente, e colocadas em estufa com circulação forçada de ar, regulada a 45°C até a obtenção de umidade em torno de 12%. A seguir foram debulhadas e colocadas em sacos de papel e armazenadas em câmara fria e seca (T=15°C e UR=40%) para a realização das etapas posteriores.

### 4.2.2 Caracterização inicial dos lotes de sementes de sogo sacarino

Os lotes foram provenientes do experimento da safra 2012/2013 e a formação destes ocorreram de forma aleatória, de acordo com os tratamentos de espaçamento e épocas de semeadura de cada cultivar. A cultivar F-19 foi composta pelos: **lote 1** (época de semeadura em novembro no espaçamento de 50 cm); **lote 2** (época de semeadura em dezembro no espaçamento de 42 cm); **lote 3** (época de semeadura em dezembro no espaçamento de 70 cm) e **lote 4** (época de semeadura em novembro no espaçamento de 42 cm). A cultivar BRS 506 foi composta pelos: **lote 1** (época de semeadura em outubro no espaçamento de 70 cm); **lote 2** (época de semeadura em dezembro no espaçamento de 70 cm); **lote 3** (época de semeadura em novembro no espaçamento de 70 cm) e **lote 4** (época de semeadura em dezembro no espaçamento de 50 cm).

O experimento foi constituído pelos tratamentos compostos por duas cultivares de sorgo sacarino e quatro lotes de cada cultivar. É importante salientar que os lotes de sementes das duas cultivares ficaram armazenados em câmara fria, por um período em torno de seis meses. Por esse motivo, realizaram-se novamente os testes que compõem a caracterização inicial, caso ocorressem diferenças acentuadas entre os lotes. As amostras de sementes de cada cultivar e lote foram avaliadas separadamente, quanto às características físicas e fisiológicas que compreendem a caracterização inicial do potencial de qualidade dos lotes, através da realização dos seguintes testes:

**Peso de mil sementes:** obtido por oito subamostras (repetições) de 100 sementes pesadas em balança de precisão (0,001 g) de acordo com metodologia descrita nas Regras para Análises de Sementes-RAS (BRASIL, 2009). O resultado foi expresso em miligramas.

**Grau de umidade:** para a determinação da umidade foi utilizado o método padrão da estufa a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas. Para cada tratamento duas subamostras de cinco gramas de sementes foram separadas, acondicionadas em recipientes metálicos e colocadas em estufa. Após esse período retirou-se os recipientes da estufa, tampados rapidamente e pesados em balança analítica com precisão de 0,0001g. A percentagem de umidade foi calculada com base na diferença entre o peso úmido e seco, aplicando-se a fórmula proposta pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) e o resultado final expresso pela média aritmética em percentagens das subamostras.

**Teste de germinação:** composto por oito repetições de 50 sementes distribuídas uniformemente em três folhas de papel filtro umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. Após a semeadura, os rolos foram acondicionadas em sacos plásticos e levados para a câmara de germinação do tipo B.O.D, sob luz constante e temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ . As contagens foram realizadas no quarto e no décimo dia e os resultados expressos em percentagem de plântulas normais, conforme Brasil (2009).

**Comprimento de raiz e parte aérea:** avaliou-se o comprimento médio da raiz e parte aérea que foram obtidas a partir da semeadura de oito repetições de 20 sementes. As sementes foram semeadas em duas linhas desencontradas no terço superior do papel filtro. Os rolos contendo as sementes permaneceram em câmara de germinação por sete dias, à temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ , quando então, o comprimento da raiz e o comprimento de parte aérea de 10 plântulas normais foram medidos com o auxílio de uma régua milimétrica. O comprimento médio de cada parte foi obtido somando as medidas de cada repetição e dividindo pelo número de plântulas normais mensuradas, com resultados expressos em centímetros, conforme descrito por Nakagawa (1999).

**Massa seca de plântulas:** foram empregadas oito repetições de 10 plântulas normais, retiradas ao acaso, provenientes do teste anterior, mantidas em sacos de papel, em estufa a  $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ , até a obtenção de massa constante (48 horas). Em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão 0,001g. A massa obtida foi dividida pelo número de plântulas normais componentes, sendo os resultados expressos em miligramas por plântula ( $\text{mg plântula}^{-1}$ ) conforme Nakagawa (1999).

**Teste de frio sem solo:** realizado com oito repetições de 50 sementes, que foram semeadas em papel filtro. Os rolos de papel filtro com as sementes foram acondicionados em sacos plásticos e vedados com fita crepe, posteriormente colocados em câmara regulada previamente à temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$ , onde permaneceram por cinco dias. Após este período os sacos foram abertos e os rolos colocados em germinadores regulados a  $25^{\circ}\text{C}$  e as avaliações realizadas após cinco dias. Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais, conforme recomendação Brasil (2009).

**Emergência das plântulas em campo:** As sementes dos lotes utilizadas para esse teste ficaram armazenadas em câmara fria por aproximadamente 6 meses depois de realizado os outros testes que compunham a caracterização inicial. As sementes foram semeadas no solo em canteiros de emergência de plântulas do Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes. A unidade experimental foi constituída por 50 sementes em sulcos de 1 cm de profundidade, espaçados de 5 cm, com oito repetições para cada tratamento. As avaliações da contagem de plântulas emergidas foram feitas aos 7 dias após semeadura.

#### **4.2.3 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes pelo teste de envelhecimento acelerado**

Para esse teste foi utilizado uma quantidade de sementes sem sobreposição, com aproximadamente 300 sementes em cada amostra, sobre uma tela de alumínio fixada no interior de caixas plásticas do tipo gerbox, funcionando como compartimento individual (mini-câmara). No interior dessas mini-câmaras foram adicionados 40 mL de água destilada e, em seguida, as caixas foram transferidas para estufa com temperatura controlada.

Aplicaram-se diferentes temperaturas e variação de tempo durante a condução do teste de envelhecimento acelerado. As seguintes combinações de temperatura/período foram utilizadas:  $41^{\circ}\text{C}$  / 48, 96 e 120 horas;  $43^{\circ}\text{C}$  / 48, 96 e 120 horas e  $45^{\circ}\text{C}$  / 48, 96 e 120 horas. A

escolha dessas combinações baseou-se em resultados obtidos na literatura para outras culturas, em decorrência de que as metodologias ainda não estão devidamente estabelecidas para a cultura do sorgo sacarino. Decorrido o período de envelhecimento, instalou-se o teste de germinação conforme anteriormente descrito, com oito repetições de 50 sementes em B.O.D., regulada a 25°C, por quatro dias para avaliar a primeira contagem da germinação apenas, computando-se a porcentagem de plântulas normais vigorosas de cada lote.

#### **4.2.4 Determinação da atividade das enzimas antioxidantes**

A avaliação da atividade enzimática foi realizada no laboratório de fisiologia vegetal da UFSM, com o auxílio da professora Luciane Tabaldi e seu grupo de pesquisa. O experimento para avaliar a atividade de enzimas SOD e POD que fazem parte do complexo antioxidante foi realizado após o experimento de envelhecimento acelerado. Os tratamentos relativos às enzimas foram provenientes dos tratamentos utilizados no envelhecimento acelerado. Não foi avaliada a atividade das enzimas no tratamento de 120 horas de exposição, em virtude da falta de plântulas para compor as repetições necessárias na metodologia. Os tratamentos deste experimento foram os quatro lotes de cada cultivar BRS 506 e F-19, submetidos a tempos de exposição e temperatura de envelhecimento citados, separando-se a raiz e a parte aérea.

Amostras de folhas e raízes maceradas separadamente em nitrogênio líquido foram utilizadas para as análises enzimáticas. Dessas amostras, utilizou-se 0,5 g que foram homogeneizadas em 3 mL de tampão fosfato de sódio (pH 7,8) 0,05 M, contendo 1 mM de EDTA e 2% (w/v) de polivinilpirrolidona (PVP). O homogeneizado foi centrifugado a 13.000 x g por 20 min. a 4°C e o sobrenadante foi utilizado para a determinação da atividade das enzimas e concentração de proteínas (ZHU et al., 2004).

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi determinada de acordo com o método espectrofotométrico, descrito por Giannopolitis e Ries (1977). A mistura de reação continha tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,8), metionina 13 mM, riboflavina 2 µM, nitrobluetetrazólio (NBT) 75 µM, EDTA 0,1 mM, e 100 µL de extrato enzimático. A produção fotoquímica da formazana azul a partir do NBT foi monitorada pelo incremento da absorvância a 560 nm. A reação foi realizada em tubos de ensaio a 25°C, dentro de uma câmara de reação sob iluminação de uma lâmpada fluorescente de 15 W. Como controle,

tubos com a mistura de reação foram mantidos no escuro. A reação teve início ligando-se a luz e após 15 minutos de iluminação, a reação foi paralisada, desligando-se a luz. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima que inibe a fotoredução do NBT em 50% (BEAUCHAMP; FRIDOVICH, 1971). No ensaio, a riboflavina fotoquimicamente excitada é reduzida pela metionina em semiquinona, que doa um elétron ao oxigênio, formando o radical superóxido que por sua vez converte NBT em formazana azul. A superóxido dismutase catalisa a reação:  $2O_2^{\cdot-} + 2H^+ \rightarrow O_2 + H_2O_2$ .

A atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) foi determinada segundo Zeraik, Souza e Fatibello Filho (2008), utilizando-se o guaiacol como substrato, de acordo com o método espectrofotométrico. A mistura de reação continha 1,0 mL de tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 6,5), 1,0 mL de guaiacol (15 mM) e 1,0 mL de  $H_2O_2$  (3 mM). Após homogeneização, foi adicionado 50  $\mu$ L do extrato da planta a esta solução. A atividade da enzima foi medida através da oxidação do guaiacol a tetraguaiacol, no aumento na absorbância a 470 nm. Os resultados foram expressos em unidade de enzima por mg de proteína ( $U\ mg^{-1}$  proteína). Para o cálculo, foi utilizado o coeficiente de extinção molar de  $26,6\ mM^{-1}\ cm^{-1}$ .

#### 4.2.5 Análise estatística

Os resultados da determinação de peso de mil sementes e grau de umidade não foram submetidos à análise estatística. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado para todos os testes realizados. Os testes para determinação da qualidade fisiológica das sementes, através da caracterização inicial e testemunha (sem envelhecimento acelerado) das enzimas foram conduzidos com oito repetições de 50 sementes, avaliando os efeitos de lote, separadamente para cada cultivar.

No experimento de envelhecimento acelerado utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com oito repetições. Os dados obtidos foram analisados em esquema trifatorial  $4 \times 3 \times 3$  (4 lotes, 3 temperaturas e 3 tempos de armazenamento).

Para o experimento da avaliação da atividade das enzimas oxidantes utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições biológicas, provenientes das oito repetições do teste padrão de germinação, após o envelhecimento acelerado. Os dados obtidos foram analisados em esquema bifatorial (4 lotes x 3 temperaturas e 3 tempos de armazenamento). A análise foi realizada avaliando o efeito nos quatro lotes, separadamente

para cada cultivar. Em cada cultivar analisou-se separadamente cada enzima (guaiacol peroxidase e superóxido dismutase) e órgão da planta (raiz e parte aérea).

A fim de atender as pressuposições do modelo matemático, os resultados expressos em porcentagem formam transformados em arco-seno  $\sqrt{x/100}$ , com a porcentagem representando as sementes germinadas ou plântulas normais obtidas pelos testes. Os dados foram submetidos a análise de variância e Teste F a 5% de probabilidade de erro pelo Software Sisvar<sup>®</sup> (FERREIRA, 1999), e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro e as médias relacionadas às enzimas foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro também pelo Software Sisvar<sup>®</sup>.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de peso de mil sementes e grau de umidade de sementes de sorgo sacarino para cultivar F-19 e BRS 506 não foram submetidos à análise estatística (Tabela 1). Em experimentos para avaliar a qualidade fisiológica de sementes, inicialmente é necessário avaliar a umidade e o peso de mil sementes para determinar a uniformidade dos lotes. Nota-se que existe uniformidade no grau de umidade para as duas cultivares, sendo que a cultivar BRS 506 apresentou uma pequena variação de 0,38 pontos percentuais e a cultivar F-19 variação de 0,68 (Tabela 1), todas inferiores à amplitude máxima aceita que é de 1 a 2 pontos percentuais (MARCOS FILHO; CICERO; SILVA, 1987).

Segundo Marcos Filho (1999), os testes de condutividade elétrica e envelhecimento acelerado conduzidos no laboratório em condições controladas, podem sofrer alterações, em função de diferenças acentuadas nos pontos percentuais de umidade, que é de extrema importância para a padronização de um método e na busca de resultados uniformes. Essas alterações provocam desuniformidade na velocidade de umedecimento das sementes durante o processo de embebição, podendo alterar significativamente a intensidade de deterioração das sementes.

Da mesma forma, na determinação do peso de mil sementes, não houve diferenças acentuadas nos valores para as duas cultivares e principalmente entre os lotes, confirmando a uniformidade e qualidade das sementes de sorgo sacarino.

Tabela 1- Médias de umidade e peso de mil sementes de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino BRS 506 e F-19. Santa Maria, UFSM, 2015.

Lotes	BRS 506		F-19	
	Umidade (%)	Peso de mil sementes (g)	Umidade (%)	Peso de mil sementes (g)
1	13,24	20,07	12,70	20,82
2	13,15	19,41	12,65	20,76
3	12,89	20,08	12,28	19,76
4	12,86	19,78	12,96	19,43

Os dados de caracterização inicial dos quatro lotes de sementes para cultivar F-19, estão descritos na Tabela 2. Nos testes de frio (Frio), massa seca (MS) e emergência de plântulas a campo (EC), não houve diferença significativa entre os lotes. Em contra partida os testes de primeira contagem da germinação (PC), germinação (G), comprimento de raiz (CR) e comprimento de epicótilo (CE) mostraram diferenças significativa entre os lotes. Segundo Medeiros et al. (2014), a primeira contagem do teste de germinação, muitas vezes, expressa melhor as diferenças de velocidade de germinação entre lotes do que outros testes como exemplo o índice de velocidade de germinação que não foi realizado no presente estudo. Além disso, segundo os mesmos autores, trata-se de uma avaliação que requer menos trabalho e ainda pode ser conduzida simultaneamente com o teste de germinação, não exigindo equipamento especial.

A diferença entre os lotes para o teste de germinação pode ter sido ocorrida em função do tempo maior de armazenamento das sementes na câmara fria. O potencial de qualidade de um lote de sementes pode ser afetado pelas condições de armazenamento e aumentar a deterioração destas podendo levar a diminuição de sua qualidade fisiológica. Trabalhos como de Toledo et al. (2007) confirmam de fato que os diferentes ambientes interferem na capacidade de conservação das sementes de sorgo-sudão, sendo que a câmara fria seca representou ser um dos ambientes adequado para o armazenamento das sementes, contudo a conservação é dependente da qualidade inicial e origem das sementes. Netto et al. (1977), apesar da diminuição do vigor e germinação concluíram que a câmara fria foi um dos melhores ambientes para armazenamento das sementes de sorgo granífero durante 6 meses, muito semelhante ao ocorrido no estudo em questão.

Normalmente o teste padrão de germinação não detecta diferença entre lotes muito semelhantes. Na germinação o lote 3 apresentou a maior porcentagem de plântulas normais, destacando-se como o lote de melhor qualidade fisiológica. O lote 4 apresentou a menor



porcentagem de plântulas normais, classificando-o como de baixa qualidade fisiológica. Os lotes 1 e 2 foram considerados intermediários e não diferiram entre si. A primeira contagem da germinação mostrou o mesmo comportamento entre os lotes, classificando os lotes 3 e 4, com maior e menor qualidade fisiológica, respectivamente. Os lotes 1 e 2 foram considerados intermediários. A tendência dos lotes, pelos valores de comprimento de raiz e comprimento de epicótilo, foi similar, destacando novamente o lote 4 com menor crescimento de raiz e epicótilo, considerado com a menor qualidade fisiológica. Da mesma forma, o lote 3 com maior valor de crescimento de raiz, considerado o lote de baixa qualidade fisiológica. Os lotes 1 e 2 não diferiram entre si e foram considerados intermediários. Para o comprimento de epicótilo o lote 3 teve o menor valor, porém, não diferiu do lote 2 e 3.

Tabela 2- Caracterização inicial em sementes de sorgo sacarino com as médias para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS), emergência de plântulas a campo (EC), de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	G (%)	PC (%)	Frio (%)	CE (cm)	CR (cm)	MS (g)	EC (%)
1	90 ab	88 ab	84 a	5,94 ab	10,43 ab	1,60 a	85 a
2	88 ab	86 ab	84 a	6,21 a	11,81 ab	1,60 a	85 a
3	94 a	92 a	91 a	6,36 a	11,91 a	1,62 a	85 a
4	84 b	81 b	85 a	5,39 b	9,90 b	1,55 a	81 a
Média	89,06	86,87	86,06	5,97	11,01	1,59	83,93
C.V.(%)	8,04	7,79	10,06	7,96	12,74	6,01	6,15

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p > 0,05$ .

Na Tabela 3, estão apresentadas as médias dos testes que compõem a caracterização inicial dos quatro lotes de sementes da cultivar BRS 506. Os testes de germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), teste de frio (Frio) e emergência de plântulas a campo (EC), não demonstraram diferença significativa entre os lotes. Houve diferença significativa entre os lotes nos testes de comprimento de epicótilo (CE), comprimento de raiz (CR) e massa seca (MS). Analisando o teste de comprimento de raiz, o lote 1 apresentou o menor comprimento, diferindo-se apenas do lote 2. Os lotes 3 e 4 não diferiram entre si e foram considerados intermediários. A massa seca de plântulas igualmente classificou o lote 1 com menor massa, diferindo-se apenas do lote 4, com maior massa. Os lotes 2 e 3 foram considerados intermediários e não diferiram entre si. Para o comprimento de epicótilo, os

lotes apresentaram diferenças menos acentuadas, onde o lote 3 com maior comprimento diferiu apenas dos lotes 2 e 4. O lote 1 não diferiu dos demais lotes.

Tabela 3- Caracterização inicial em sementes de sorgo sacarino com as médias para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS), emergência de plântulas a campo (EC), de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	G (%)	PC (%)	Frio (%)	CE (cm)	CR (cm)	MS (g)	EC (%)
1	77 a	75 a	76 a	5,22ab	5,45 b	1,45 b	81 a
2	83 a	81 a	75 a	5,06 b	6,39 a	1,52 ab	77 a
3	86 a	83 a	76 a	5,45 a	6,15 ab	1,56 ab	77 a
4	81 a	79 a	73 a	4,97 b	5,56 ab	1,57 a	74 a
Média	81,81	79,75	75,25	5,18	5,89	1,53	77,25
C.V.(%)	9,47	9,43	5,83	5,11	11,54	5,22	8,29

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p > 0,05$ .

Na Tabela 4, estão descritas as médias de primeira contagem em porcentagem de plântulas normais de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino utilizando as temperaturas de 41°C, 43°C e 45°C, nos tempos de exposição de 48, 96 e 120 horas para cultivar BRS 506. Analisando separadamente cada fator, percebe-se que para o fator lote, na temperatura de 41°C, nos tempos de exposição de 48, 96 e 120 horas, não foi identificada diferença significativa entre os mesmos. Entretanto é possível visualizar diminuição dos valores da primeira contagem com o aumento do tempo de exposição, principalmente em 96 e 120 horas, contudo estatisticamente não foram encontradas diferenças que discriminassem os lotes quanto a sua qualidade fisiológica nessa temperatura. Todavia, Vasquez, Bertolin e Spegiorin (2011), na temperatura de 96 horas, encontraram resultados satisfatórios na identificação de lotes quanto à qualidade fisiológica. Contudo, nos tempos de armazenamento de 72 horas e 120 horas não foi possível identificar os mesmos lotes pela qualidade fisiológica. Do mesmo modo, Torres e Marcos Filho (2003) verificaram que o envelhecimento acelerado a 41°C foi sensível para se detectar diferenças na qualidade fisiológica dos lotes de sementes de melão. Também Panobianco e Marcos Filho (2001) e Dutra (2004) constataram que na temperatura de 41°C, houve uma classificação dos lotes de tomate e abóbora, respectivamente, em níveis de vigor, indicando como mais adequada a combinação de 41°C, por 72 horas.

Tabela 4- Teste de envelhecimento acelerado com as respectivas médias da primeira contagem das plântulas normais de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino utilizando as temperaturas de 41°C, 43°C e 45°C, nos tempos de exposição de 48, 96 e 120 horas para cultivar BRS 506. UFSM, Santa Maria, 2015.

		41°C		
Lote		48 horas	96 horas	120 horas
1		80 a A $\alpha$	83 a A $\alpha$	67 a B $\alpha$
2		83 a A $\alpha$	75 a A $\alpha$	72 a A $\alpha$
3		80 a A $\alpha\beta$	79 a A $\alpha$	60 a B $\alpha$
4		75 a A $\alpha\beta$	73 a A $\alpha$	67 a A $\alpha$
		43°C		
Lote		48 horas	96 horas	120 horas
1		85 a A $\alpha$	62 ab B $\beta$	35 a C $\beta$
2		83 a A $\alpha$	72 a B $\alpha$	45 a C $\beta$
3		87 a A $\alpha$	57 b B $\beta$	35 a C $\beta$
4		83 a A $\alpha$	61 ab B $\alpha$	32 a C $\beta$
		45°C		
Lote		48 horas	96 horas	120 horas
1		68 a A $\beta$	30 b B $\gamma$	16 ab C $\gamma$
2		64 a A $\beta$	46 a B $\beta$	10 b C $\gamma$
3		70 a A $\beta$	31 b B $\gamma$	12 ab C $\gamma$
4		71 a A $\beta$	49 a B $\beta$	22 a C $\beta$
C.V. (%)		12,68		

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p>0,05$ .

\* Letras minúsculas são interpretadas na coluna e correspondem ao fator lote fixado, inserido nos fatores temperatura e tempo de armazenamento.

\* Letras maiúsculas são interpretadas na linha e correspondem ao fator tempo fixado, inserido nos fatores lote e temperatura.

\* Letras gregas são interpretadas na coluna e correspondem ao fator temperatura fixado, inserido nos fatores lote e tempo de armazenamento.

Em relação aos valores em porcentagem de plântulas normais da primeira contagem, nota-se que houve valores heterogêneos. Se comparado com a caracterização inicial (Tabela 3), alguns lotes, depois de aplicado o tratamento de envelhecimento acelerado (Tabela 4) demonstraram valores de primeira contagem superiores aos encontrados no teste de primeira contagem da caracterização inicial. De modo igual, ocorreu aumento da primeira contagem no tratamento de temperatura de 41°C nos tempos de exposição de 48 e 96 horas para o lote 1 e na temperatura de 43°C combinado com o tempo de exposição de 48 horas para os lotes 1, 3 e 4. A determinação da umidade dos lotes após o envelhecimento acelerado, não foi realizada, variável importante que poderia auxiliar na compreensão desse comportamento. Pois

dependendo da umidade atingida no final do teste de envelhecimento acelerado, pode significar que os tratamentos de temperatura e tempo de exposição não afetaram prejudicialmente as sementes e, portanto não houve envelhecimento dos lotes.

Todavia, de acordo com Paiva et al. (2008) isso não garante que o início do processo de deterioração destas sementes não tenha ocorrido, devido ao longo tempo de exposição à temperatura e umidade relativa elevada, mesmo que ainda não tenha sido constatada redução na germinação ou do vigor neste caso. Dentre as várias consequências relacionadas ao processo de deterioração das sementes, a queda na germinação tem sido apontada como um dos últimos eventos que caracterizam o declínio na qualidade fisiológica de sementes (DELOUCHE; BASKIN, 1973; MARCOS FILHO, 2005).

Os efeitos causados pelo envelhecimento podem ser diversos, porém, a deterioração é um dos fatores que mais afeta a capacidade de armazenamento das sementes diminuindo seu poder germinativo e vigor. O envelhecimento acelerado como um teste representa ser muito sensível e, se mostra muito semelhante às condições que podem ocorrer no campo. Entretanto, na literatura, o fato da semente se recuperar desses danos e conseguir gerar uma plântula saudável, ainda é bastante discutido e resultados promissores demonstram que tais efeitos podem ser parcialmente revertidos pelo condicionamento osmótico, sendo que essa técnica não influencia a germinação, mas promove benefícios no vigor das sementes de baixo e alto potencial fisiológico (OLIVEIRA; GOMES FILHO, 2010). Da mesma forma Patanè, Cavallaro e Cosentino (2009) avaliando sementes de sorgo sacarino, pelo osmocondicionamento constataram que em termos práticos, na semeadura precoce foi útil para superar o efeito negativo imposto pela redução do potencial hídrico sobre a germinação das sementes em condições térmicas abaixo do ideal.

Na temperatura de 43°C e tempos de exposição de 48 e 120 horas (Tabela 4), os lotes tiveram comportamento semelhante, mas sem diferença significativa, mesmo em 120 horas que foi um tratamento drástico e, diminuiu consideravelmente o vigor dos lotes. Já em 96 horas houve diferença significativa entre os lotes. Os lotes 2 e 3 diferiram dos demais, com qualidade superior e inferior, respectivamente. Os lotes 1 e 4 não diferiram entre si e foram considerados intermediários. Diante da temperatura de 45°C e tempo de exposição de 48 horas (Tabela 4), apesar de haver diminuição dos valores de primeira contagem, não houve diferença significativa entre os lotes. Nos tempos de exposição de 96 e 120 horas, diferenças significativas entre os lotes foram notadas, principalmente em 120 horas, por ser um tempo avançado aliado à temperatura alta.

É importante ressaltar que as três temperaturas em 48 horas de exposição, não foram detectadas diferenças entre os lotes, mas diminuiu consideravelmente a primeira contagem nos tratamentos drásticos de temperatura e tempo de exposição, mostrando a influência dos tratamentos no envelhecimento acelerado. Outra observação válida, baseia-se no fato, de que a temperatura influenciou de forma acentuada os valores de primeira contagem, em comparação com o tempo de exposição, pois, somente em temperaturas elevadas, consideradas drásticas em 43 e 45°C em combinação com 96 e 120 horas que houve diferença entre os lotes. Estes resultados vêm ao encontro com Oliveira e Gomes Filho (2010) que utilizando o envelhecimento acelerado em sementes de sorgo granífero por 43°C durante 72 horas, seguindo a metodologia de (MIRANDA; NOVEMBRE; CHAMMA, 2001) concluíram que o teste afetou negativamente o desempenho das sementes de sorgo diminuindo o vigor dos lotes.

O fator tempo de exposição (Tabela 4), em 48 e 96 horas, na temperatura de 41°C para o lote 1, não mostrou diferença significativa, apenas no tempo de exposição de 120 horas. Para o lote 2 nenhum tempo de exposição influenciou significativamente. O lote 3 em 120 horas diminuiu a porcentagem de plântulas normais, mostrando diferença significativa para esse tempo de exposição. Conforme aumentou o tempo de exposição de 96 e 120 horas, nas temperaturas de 43 e 45°C (Tabela 4), a porcentagem de plântulas normais para cada lote diminuiu consideravelmente, gerando maior diferença estatística. Com isso, verifica-se que a temperatura demonstra ter um papel importante no envelhecimento acelerado e influencia diretamente o comportamento dos lotes. Todavia, a combinação entre temperatura elevada e tempo de exposição maior diminuiu a primeira contagem dos lotes. Em contra partida, em 48 horas de exposição em todas as temperaturas, esse comportamento discrepante dos lotes não foi observado, considerado assim, o tratamento de tempo de exposição menos drástico ou brando em relação aos lotes. Estes resultados vem ao encontro com Ahmadloo e Tabari (2012) que avaliaram a qualidade de sementes de *Cupressus sempervirens* pelo teste de envelhecimento acelerado, utilizando a temperatura de 40°C com 100% de umidade relativa durante 0, 24, 48, 72, 96 e 120 horas, e destacaram a porcentagem de germinação mais baixa de 11,55%, foi observada no tratamento de 120 horas, diminuindo drasticamente o vigor das sementes.

Analisando o fator temperatura separadamente (Tabela 4), verifica-se que a temperatura elevada, tem maior influência na primeira contagem dos lotes, pois somente em 45°C no tempo de 48 horas de exposição que houve diferença significativa no lote 1. Sendo que na temperatura de 43°C e 48 horas a primeira contagem de plântulas normais do lote 1

aumentou. O comportamento foi semelhante para os outros lotes, diante do aumento de temperatura no tempo de 48 horas, aumentando a diferença nos lotes somente em 43°C em 96 horas e 45°C em 96 e 120 horas. Da mesma forma, Tunes et al (2008) verificaram que a temperatura de 45°C foi letal para as sementes de aveia em todos os tempos de exposição ao envelhecimento acelerado, podendo ser conduzido nas temperaturas de 41°C e 43°C durante 48 horas.

De modo geral, as três temperaturas mostraram influenciar o teste de envelhecimento acelerado (Tabela 4), porém, em 96 horas, analisando cada lote houve diferença significativa, diminuindo consideravelmente a primeira contagem de plântulas normais, em virtude do aumento da temperatura. Elevando a temperatura, juntamente em 120 horas de exposição, nota-se que os valores da primeira contagem diminuíram drasticamente, mostrando diferença significativa em praticamente todas as temperaturas, com exceção em 41°C. Gradativamente ao aumentar a temperatura, o efeito da temperatura se mostrou mais influente em cada lote, ocorrendo diminuição drástica da primeira contagem de plântulas na temperatura de 45°C.

Portanto, pela análise dos fatores que compõem os tratamentos de temperatura e tempo de exposição, sugere-se que diante das combinações apresentadas, a melhor escolha para cultivar BRS 506 foi representada na temperatura de 43°C em 96 horas de exposição, em função da diferença significativa e notável entre os lotes, em comparação aos demais tratamentos. Classificando o lote 2 com a melhor qualidade fisiológica e lote 3 com a menor qualidade fisiológica e demais lotes intermediários. Essa combinação demonstrou diminuição no vigor dos lotes, estratificando-os quanto à qualidade fisiológica, pois na temperatura menor de 41°C não foi possível observar diferença significativa entre os lotes.

Todavia, Vasquez, Bertolin e Spegiorin (2011) avaliando a qualidade fisiológica de híbridos de sorgo forrageiro pelo teste de envelhecimento acelerado determinaram que a temperatura e o tempo de exposição de 41°C e 96 horas, respectivamente foram capazes de promover uma adequada estratificação dos lotes em diferentes níveis de vigor para sementes de sorgo. Estudos com outras culturas, como Bhering et al. (2003), trabalhando com sementes de melancia, e Carpi (2005), com sementes de rabanete, não obtiveram separação eficiente de lotes, quanto ao vigor, utilizando temperaturas mais altas, como 42°C e 45°C. Da mesma maneira, Rodo, Panobianco e Marcos Filho (2000), com sementes de cenoura; Torres e Marcos Filho (2003), com melão; e Rodo e Marcos Filho (2003), com cebola, verificaram que o uso de temperaturas acima de 42°C proporcionou resultados menos uniformes, afetando a eficiência do teste.

No estudo do envelhecimento acelerado é importante ressaltar que na cultivar BRS 506, não houve relação com a comparação dos resultados da qualidade inicial dos lotes, ou seja, não foi possível identificar os mesmos lotes quanto ao potencial de qualidade fisiológica. Esses resultados apesar de não concordarem com o que normalmente se encontra na literatura, em que se busca discriminar os lotes pela avaliação da qualidade fisiológica e compará-los com os testes mais sensíveis em relação ao vigor, no presente caso, os lotes apresentaram qualidade fisiológica muito semelhante, conforme evidenciado na caracterização inicial. Provavelmente esse fato pode ter sido decisivo para não haver as mesmas diferenças e estratificação dos lotes em níveis de vigor no teste de envelhecimento acelerado.

Da mesma forma na temperatura elevada de 45°C houve diferença entre os lotes, contudo, não foram marcantes como na temperatura de 43°C e 96 horas de exposição. Quanto aos tempos de exposição, igualmente observava-se que com 48 horas não houve diferença significativa entre os lotes e no tempo elevado de 120 horas de exposição, o vigor diminuiu drasticamente e houve menor diferença entre os lotes. Souza e Marcos Filho (1975) no estudo dos métodos para avaliar vigor de sementes de sorgo, averiguaram que o teste de envelhecimento acelerado foi eficiente, entretanto, consideraram muito drástico os períodos estudados de 120 e de 168 horas, a 42°C. De forma semelhante, Corte (2008) avaliando as alterações fisiológicas e bioquímicas de sementes de *Melanoxylon brauna* envelhecidas natural e artificialmente, destacou que na temperatura de 40°C as sementes mantiveram a germinação final até 72 horas de envelhecimento diminuindo em 96 horas de exposição, além disso, em 45°C afetou de forma acentuada a capacidade germinativa das sementes já nas primeiras 24 horas de exposição. Semelhantemente Pereira e Martins Filho (2010) avaliando sementes de cubiu (*Solanum sessiliflorum*) indicaram que o teste de envelhecimento acelerado foi eficiente para avaliação do vigor das sementes principalmente quando conduzido a 41°C, por 72 ou 96 horas.

Na tabela 5, estão descritas as médias de primeira contagem em porcentagem de plântulas normais de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino utilizando as temperaturas de 41°C, 43°C e 45°C, nos tempos de exposição de 48, 96 e 120 horas para cultivar F-19. Observando separadamente cada fator, para lote, verifica-se na temperatura de 41 e 43°C no tempo de exposição de 48 horas, não houve diferença significativa entre os lotes, apenas na temperatura de 45°C e 48 horas de exposição que maiores diferenças significativas para os lotes foram detectadas. Nessa temperatura o lote 1 mostrou maior valor de primeira contagem de plântulas normais, diferindo-se dos lotes 2 e 4 que apresentaram os menores valores de primeira contagem. Diferentemente, Amaro et al. (2014) verificaram na condição de 41°C

durante 72 horas maior diferenciação dos lotes em níveis de vigor nas sementes de crambe, porém muito restrito na utilização de apenas uma cultivar. Também Pereira, Torres e Linhares (2015) constataram que pelo método do envelhecimento tradicional na condição de 41°C por 48 horas e em solução saturada de NaCl, na condição de 41°C por 72 horas foram mais sensíveis na avaliação do potencial fisiológico de sementes de coentro.

Tabela 5- Teste de envelhecimento acelerado com as respectivas médias da primeira contagem das plântulas normais de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino utilizando as temperaturas de 41°C, 43°C e 45°C, nos tempos de exposição de 48, 96 e 120 horas para cultivar F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

		41°C		
Lote		48 horas	96 horas	120 horas
1		89 a A $\alpha$	92 a A $\alpha$	92 a A $\alpha$
2		86 a A $\alpha$	80 b A $\alpha$	76 bc A $\alpha$
3		91 a AB $\alpha$	93 a A $\alpha$	85 ab B $\alpha$
4		85 a A $\alpha$	88 ab A $\alpha$	73 c B $\alpha$
		43°C		
Lote		48 horas	96 horas	120 horas
1		93 a A $\alpha$	88 a A $\alpha$	60 a B $\beta$
2		89 a A $\alpha$	79 ab B $\alpha$	36 c C $\beta$
3		91 a A $\alpha$	81 ab B $\beta$	42 bc C $\beta$
4		90 a A $\alpha$	73 b B $\beta$	54 ab C $\beta$
		45°C		
Lote		48 horas	96 horas	120 horas
1		88 a A $\alpha$	62 a B $\beta$	46 a C $\gamma$
2		75 b A $\beta$	44 b B $\beta$	20 b C $\gamma$
3		82 ab A $\beta$	53 ab B $\gamma$	18 b C $\gamma$
4		75 b A $\beta$	47 b B $\gamma$	24 b C $\gamma$
C.V. (%)		10,58		

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p>0,05$ .

\* Letras minúsculas são interpretadas na coluna e correspondem ao fator lote fixado, inserido nos fatores temperatura e tempo de armazenamento.

\* Letras maiúsculas são interpretadas na linha e correspondem ao fator tempo fixado, inserido nos fatores lote e temperatura.

\* Letras gregas são interpretadas na coluna e correspondem ao fator temperatura fixado, inserido nos fatores lote e tempo de armazenamento.

Do mesmo modo, a cultivar F-19 demonstrou um comportamento muito similar ao encontrado na cultivar BRS 506, em que na temperatura de 41°C nos tempos de exposição de 48 e 96 horas ocorreu aumento da primeira contagem de plântulas normais para o lote 1, 3 e 4



após envelhecimento acelerado, e se manteve estável no lote 1 até o período de 120 horas de exposição (Tabela 5). Comportamentos dessa ordem, normalmente não são esperados entre os lotes, entretanto, podem explicar o quanto específico um lote de sementes pode ser e demonstrar sua peculiaridade principalmente em relação à qualidade fisiológica. Da mesma forma, como já foi comentado para cultivar BRS 506, a determinação da umidade após o envelhecimento acelerado não foi realizada, que poderia explicar se houve ou não o envelhecimento nos lotes de sementes em função dos tratamentos de temperatura e tempo de exposição.

Os lotes podem apresentar comportamento diferente quando submetidos aos tratamentos de temperatura e tempo de exposição, todavia, a qualidade fisiológica está diretamente ligada à capacidade de resistência aos tratamentos que forem drásticos e a capacidade de superar momentos de estresse que podem ser fatais para a semente. No entanto, Torres et al. (2014) avaliando sementes de quiabo verificaram que o teste de envelhecimento acelerado tradicional e solução saturada com cloreto de sódio, na temperatura de 41°C durante 96 horas foi mais adequado em detectar diferenças entre os lotes de sementes.

Igualmente em 43°C e tempo de exposição de 48 horas (Tabela 5), o lote 1, 2 e 4 aumentaram os valores de primeira contagem de plântulas normais e o lote 3 permaneceu com valor igual. Esse fato, pode muitas vezes ocorrer, em função do tempo de 48 horas não influenciar de forma prejudicial os lotes. Não houve diferença significativa entre os lotes, somente na temperatura de 45°C, considerada drástica. O comportamento atípico observado nos valores de primeira contagem nos tratamentos mais brandos pode ser comparado, da mesma forma, com a caracterização inicial (Tabela 2), em que determinados lotes apresentaram valores de primeira contagem menores. Em contra partida, após aplicado o envelhecimento acelerado, os valores de primeira contagem aumentaram.

Por menores que sejam o aumento dos valores, normalmente comportamentos dessa ordem, não são esperados, porém, podem ocorrer em virtude da variabilidade da qualidade das sementes das amostras que compõem os lotes utilizados nos testes em laboratório. Entretanto, ao montar os testes, são utilizadas amostras aleatórias, sem escolha de sementes, pois, presume-se que as sementes sejam homogêneas. Contudo, em um lote pode haver sementes de baixa e alta qualidade e essas discrepâncias podem influenciar resultados posteriores em testes como o envelhecimento acelerado que demonstrou ser bastante sensível.

Analisando a temperatura de 41°C em 96 horas de exposição (Tabela 5), os lotes demonstraram diferença, porém não o suficiente para estratificar os lotes extremos quanto à qualidade. Em 120 horas novamente houve diferença significativa, classificando o lote 1 com

melhor qualidade fisiológica diferindo-se dos lotes 2 e 4. O lote 4 deteve o menor valor de primeira contagem, classificado com a menor qualidade fisiológica diferindo-se dos lotes 1 e 3.

Observando a temperatura de 43°C em 96 e 120 horas de exposição (Tabela 5) houve diferença significativa entre os lotes, porém, com comportamento semelhante para o lote 1 que deteve maior qualidade fisiológica. O lote 4 em 96 horas e, o lote 2 em 120 horas demonstraram o menor valor de primeira contagem de plântulas normais, classificando-os como os lotes de baixa qualidade fisiológica. Na temperatura de 45°C (Tabela 5), houve diferença em todos os lotes. Classificado de modo igual, o lote 1, com a melhor qualidade fisiológica, em todos os fatores de temperatura e tempo de exposição que mostraram diferença significativa.

Para o fator tempo de exposição isoladamente (Tabela 5), em 48 horas, independente da temperatura, não houve diminuição acentuada dos valores de primeira contagem dos lotes. O mesmo ocorreu em 96 horas na temperatura de 41°C. Na temperatura de 43°C, houve diferença para 96 horas de exposição, com superioridade quanto a qualidade para o lote 1. Nesse mesmo tempo de armazenamento, na temperatura de 45°C, todos os lotes apresentaram diminuição da primeira contagem, de forma acentuada. Já para o tempo de 120 horas de armazenamento, combinado com as temperaturas de 43 e 45°C, houve diferença significativa pra os lotes, diminuindo drasticamente a primeira contagem.

Para o fator temperatura (Tabela 5) em geral, nas temperaturas de 41 e 43°C, combinado com o tempo de exposição de 48 horas não houve diferença significativa para os lotes. Os valores de primeira contagem não diminuíram de forma acentuada em nenhuma das temperaturas do teste. Apenas em 45°C que houve diminuição acentuada da primeira contagem. De forma semelhante, Corte (2008) avaliando as alterações fisiológicas e bioquímicas de sementes de *Melanoxylon brauna* envelhecidas natural e artificialmente, destacou que na temperatura de 40°C as sementes mantiveram a germinação final até 72 horas de exposição diminuindo em 96 horas, além disso, em 45°C afetou de forma acentuada a capacidade germinativa das sementes já nas primeiras 24 horas de exposição, porém, foi a temperatura que mais se correlacionou com os dados de germinação. Na temperatura de 41°C e tempo de 96 horas não houve diferença significativa em nenhum lote.

No tratamento de 43°C e 96 horas, a primeira contagem dos lotes diminuiu, mostrando que a combinação utilizando temperatura elevada e maior tempo de exposição provocam diferenças acentuadas, estratificando os lotes quanto à qualidade fisiológica. O mesmo foi observado na temperatura de 45°C e 96 horas, aumentando as diferenças da

primeira contagem em função da alta temperatura. Em 120 horas ocorreram diferenças para todos os lotes nas temperaturas de 41, 43 e 45°C, diminuindo consideravelmente a primeira contagem dos lotes que foram diferentes estatisticamente. Essas discrepâncias são devidas as combinações drásticas de temperatura e tempo de exposição. De maneira geral, o lote 1, nas combinações de temperatura e tempo de exposição elevados, se sobressaiu em relação aos demais lotes, quanto a sua qualidade fisiológica superior.

Portanto, pela análise dos fatores que compõem os tratamentos de temperatura e tempo de exposição sugere-se que diante das combinações apresentadas, a melhor escolha para cultivar F-19 foi representada na temperatura de 43°C em 96 horas, em função da diferença significativa que ocorreu entre os lotes, em comparação aos demais tratamentos, classificando o lote 1 com a melhor qualidade fisiológica, como já foi citado anteriormente, e o lote 4 com a menor qualidade fisiológica e demais lotes intermediários. Nota-se que essa combinação demonstrou diminuição no vigor dos lotes, estratificando-os quanto à qualidade fisiológica, pois na temperatura menor de 41°C não foi possível observar diferença significativa entre os lotes. Da mesma forma na temperatura elevada de 45°C houve diferença entre os lotes, contudo não foram marcantes como na temperatura de 43°C e 96 horas.

Bernardes et al. (2015) constataram no teste de envelhecimento acelerado que a temperatura de 45°C por 48 horas não foram apropriados para avaliação do vigor de sementes de repolho dos cultivares avaliados, uma vez que reduzem drasticamente a germinação e o vigor. Quanto aos tempos de exposição, igualmente observava-se que no menor tempo de 48 horas não houve diferença significativa entre os lotes e no tempo elevado de 120 horas o vigor diminuiu drasticamente, todavia, houve diferença entre os lotes, mas como se trata de um tempo mais elevado e o vigor diminuiu consideravelmente, a sugestão de 96 horas de exposição representa ser mais adequada na avaliação da qualidade fisiológica. McDonough et al. (2004) avaliaram o efeito do envelhecimento acelerado em sementes de milho, sorgo e sorgo para alimentação humana e constataram que na temperatura de 50°C o teste afetou significativamente as propriedades físicas e químicas do sorgo e milho, além de associações entre os grânulos de amido, proteína, matriz e paredes celulares. Semelhantemente, Peng et al. (2011) avaliando os efeitos do envelhecimento acelerado, sobre as características fisiológicas e bioquímicas em sementes de trigo ceroso e não ceroso, verificaram que a temperatura de 55°C por um período curto de tempo, com umidade relativa de 90% foi mais adequado, se comparado com 50°C por 8 dias e 60°C por 4 dias.

De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), ao longo do período de exposição das sementes ao envelhecimento acelerado ocorre o aumento do grau de umidade das sementes,

em virtude de estarem em um ambiente com 100% de umidade relativa. A umidade, aliada ao aumento de temperatura favorecem a elevação da temperatura da semente, em decorrência dos processos respiratórios e da maior atividade de microorganismos. O aumento no tempo de exposição ao envelhecimento acelerado pode ter proporcionado maior incremento no teor de umidade, nas sementes condicionadas. Este fato, aliado à temperatura elevada (45°C) imposta pelo teste de envelhecimento, resultou em um processo de deterioração mais acelerado destas sementes, do que das sementes submetidas a temperaturas menores.

Em comparação com os dados da caracterização inicial, para cultivar Fepagro F-19, foi possível identificar apenas o lote de baixa qualidade fisiológica, sendo o lote 4 classificado nos testes de germinação, primeira contagem da germinação e avaliações do comprimento de epicótilo e raiz, da mesma forma com a menor qualidade fisiológica. Já o lote de maior qualidade inicial não foi o mesmo entre o teste de envelhecimento acelerado e caracterização inicial. Esses resultados, apesar de não concordarem, com o que normalmente se encontra na literatura, na avaliação da qualidade fisiológica de diferentes lotes de sementes, percebe-se que os lotes são semelhantes em sua qualidade inicial e esse fato pode ter sido decisivo para não haver as mesmas diferenças e estratificação dos lotes em níveis de vigor no teste de envelhecimento acelerado. Por isso têm se procurado realizar estudos com métodos alternativos diferentes dos tradicionais utilizados para compor a qualidade inicial dos lotes de sementes, verificado por Bittencourt et al. (2012) onde o teste de envelhecimento acelerado na temperatura de 45°C durante 72 horas, associado ao teste de tetrazólio possibilitou obter informações semelhantes às fornecidas pelo teste de germinação quanto à qualidade fisiológica em diferentes lotes de sementes de milho.

Estudos de Petrini, Fernandez e Zonta (1988) avaliando sementes de sorgo granífero e sacarino utilizando o teste de envelhecimento acelerado artificial sugeriram para o sorgo sacarino que as combinações de temperatura de 42°C durante 96 horas e 45°C durante 72 horas, com 100% de umidade relativa, foram mais eficientes em prever a emergência das sementes em comparação às condições de campo. Todavia, para o sorgo granífero, as combinações eficientes foram em 42°C durante 96 horas e 45°C durante 48 horas. Esses resultados demonstram incondicionalmente a capacidade do teste em diferenciar os lotes pela qualidade fisiológica e ainda sua comparação com a emergência de plântulas a campo, mas o grupo de sorgo granífero mostrou diferença na combinação de temperatura e tempo de exposição.

No estudo em questão o teste de envelhecimento mostrou sua capacidade no objetivo de estratificar os lotes, contudo, variáveis como a temperatura podem influenciar nos

resultados, principalmente em relação às variações que podem ocorrer na condução do teste. Como são adotadas temperaturas consideradas drásticas, acima da temperatura ótima de germinação de 25°C, variações mínimas, até mesmo de 1°C podem alterar os resultados, e muitas vezes diferenças acentuadas nos resultados entre trabalhos podem ser explicadas através do descontrole dessas variações, porém, detectar a variação da temperatura adotada ao longo do experimento, apesar de ser simples sua medição são necessários termômetros e equipamentos que consigam medir essas variações mínimas que podem ocorrer e em termos práticos, não é uma tarefa de fácil mensuração.

O teste de envelhecimento acelerado mostrou sua eficiência e sensibilidade em detectar o potencial de qualidade fisiológica dos diferentes lotes para as duas cultivares estudadas, contudo seu resultado fica restrito para cada cultivar, dadas as condições adotadas do experimento. Da mesma forma, Costa, Trzeciak e Villela (2008) estudando sementes de brássicas conseguiram estratificar lotes com base na qualidade fisiológica, utilizando o teste de envelhecimento a 42°C, e ressaltaram a importância e a atenção que deve ser dada a esse teste, pois cada espécie ou cultivar necessitam de uma condição específica para conduzi-lo. É um teste estudado e proposto inclusive em culturas alternativas quando Guedes, Alves e oliveira (2013) avaliaram a espécie *Chorisia glaziovii* (paineira branca) da família Malvaceae bastante utilizada na medicina popular mostrando que o envelhecimento acelerado na condição de 41°C durante 48 horas diminui a viabilidade e vigor das sementes classificando-as em níveis de vigor. Do mesmo modo, Oliveira et al. (2013) na avaliação do potencial de qualidade sementes de *Dalbergia miscolobium* (jacarandá), espécie florestal utilizada no paisagismo verificaram o teste de envelhecimento acelerado nas condições do estudo, mostrou eficiência na avaliação do vigor das sementes.

Na Tabela 6, estão representadas as médias da primeira contagem de plântulas normais (PC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, referentes à testemunha (sem envelhecimento acelerado) das enzimas, para as cultivares BRS 506 e F-19. O propósito do estudo não foi avaliar diferenças dos resultados dos testes entre as cultivares, pois cada uma possui suas próprias características específicas em relação à qualidade fisiológica.

A diferença na qualidade fisiológica entre as cultivares pode ser percebida (Tabela 6), representada pela primeira contagem de plântulas normais. A cultivar BRS 506 possui menor qualidade fisiológica dos lotes sem apresentar diferença significativa entre os mesmos. A cultivar F19 possui maior qualidade dos lotes, sendo que o lote 3 difere-se dos lotes 2 e 4, e apresentou melhor qualidade dentre os lotes. O mesmo foi observado nos testes que compuseram a caracterização inicial, testes de condutividade elétrica e envelhecimento

acelerado, em relação à qualidade das cultivares no geral. Esses dados demonstram que os lotes são muito semelhantes em relação à qualidade fisiológica.

Santos, Menezes e Villela (2004) explicam que as diferenças quanto ao potencial de qualidade fisiológica dos lotes podem influenciar os resultados tanto do envelhecimento acelerado como a atividade das enzimas. Até mesmo lotes com alta germinação podem apresentar acentuadas diferenças em resposta ao processo de envelhecimento acelerado e que a atividade de diferentes enzimas é influenciada pelos tratamentos do envelhecimento acelerado e pela qualidade inicial dos lotes. Estes mesmos autores sugeriram ainda em seu estudo com diferentes lotes de sementes de feijão, que a partir de 72 horas de exposição, há redução na atividade das enzimas fosfatase ácida e esterase, enzimas estas diferentes do proposto no estudo, contudo não deixam de oferecer informações importantes em relação ao sistema enzimático.

Tabela 6- Médias da primeira contagem de plântulas normais (PC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, referentes à testemunha (sem envelhecimento acelerado) das enzimas, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

Lote	BRS 506	F-19
	PC (%)	PC (%)
1	87 a	91 ab
2	84 a	87 b
3	85 a	93 a
4	84 a	88 b
Média	85,06	89,81
C.V.(%)	5,80	4,37

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p > 0,05$ .

As médias da atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em  $U \cdot mg^{-1}$  proteína, para as duas cultivares estão apresentadas na Tabela 7. Os dados são interpretados separadamente em cada enzima, genótipo, raiz e parte aérea. Comparando os lotes em cada tratamento, para a raiz da cultivar BRS 506 (Tabela 7), verifica-se, através da média geral de cada lote, maior atividade da enzima SOD para o lote 4, diferindo-se dos demais lotes, que demonstraram menor atividade da enzima. Não houve diferença significativa entre os lotes, na maioria dos tratamentos, apenas no tratamento de 43°C 96 horas. Houve maior atividade para os lotes 1, 3 e 4, porém, não diferiram entre si. O lote 2 apresentou menor atividade da enzima SOD, diferindo-se dos demais lotes.

Na comparação dos tratamentos em cada lote, para a raiz da cultivar BRS 506 (Tabela 7), ocorreu diferença significativa para os tratamentos no lote 3. A maior atividade da enzima SOD foi verificada nos tratamentos de 41°C 96 horas, 43°C 96 horas e 45°C 48 horas, diferindo-se dos demais tratamentos que apresentaram menor atividade da enzima. Observando a média geral de cada tratamento, nota-se que houve diferença significativa para o tratamento de 45°C 48 horas, resultando na maior atividade da enzima SOD.

Pelo exposto, é possível inferir que a atividade da enzima SOD variou conforme a característica específica de cada lote. Em relação aos tratamentos, houve uma tendência na combinação de tratamentos que utilizam temperaturas maiores, ocorrendo maior atividade da enzima, porém, somente no lote 3 esse comportamento foi observado (Tabela 7). Contudo, na combinação 45°C 96 horas, considerada extrema no estudo, houve diminuição da atividade da enzima em todos os lotes e diminuição do vigor dos lotes constatado pelo teste de envelhecimento acelerado (Tabelas 4 e 5). Resultados semelhantes foram observados por Cakmak et al. (2010), Demirkaya, Dietz e Sivritepe (2010) e Chauhan et al. (2011), onde a diminuição da atividade das enzimas antioxidantes, durante o envelhecimento acelerado, resultaram em menor viabilidade e vigor das sementes.

De acordo com Jeng e Sung (1994), quando a semente é envelhecida naturalmente ou pelo processo artificial, ocorre maior peroxidação dos lipídios e diminuição na atividade das enzimas removedoras de peróxidos, contribuindo para a perda da viabilidade das sementes. Em geral houve variabilidade da atividade da enzima nos tratamentos. Essas discrepâncias podem ocorrer devido à sensibilidade das enzimas às variáveis dos tratamentos de tempo de exposição e principalmente a temperatura. Estima-se que a temperatura de melhor eficiência e atividade das enzimas do complexo antioxidante, situa-se entre 35°C  $\pm$ 2. Acima disso, diferenças e variações no comportamento das enzimas provavelmente podem aumentar, dificultando a interpretação dos resultados e essa situação é confirmada pelos valores do coeficiente de variação de 37,94, que foi relativamente alto.

Analisando os lotes em cada tratamento, para a parte aérea da cultivar BRS 506 (Tabela 7), verifica-se que não houve diferença estatística entre os lotes para cada tratamento, do mesmo modo para a média geral dos lotes. Na comparação dos tratamentos em cada lote, para a parte aérea da cultivar BRS 506 (Tabela 7), ocorreu diferença estatística para os tratamentos.

Tabela 7- Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) (U. mg<sup>-1</sup> proteína), na parte aérea e em raízes de plântulas de quatro lotes de sementes de duas cultivares de sorgo sacarino BRS 506 e F-19, após o teste de envelhecimento acelerado com a combinação de temperatura de 41, 43 e 45°C durante o período de exposição de 48 e 96 horas. UFSM, Santa Maria, 2015.

BRS 506								
Raiz								
LOTE	Testemunha	41°C 48h	41°C 96h	43°C 48h	43°C 96h	45°C 48h	45°C 96h	Média
1	0,47 a A	0,91 a A	0,48 a A	0,68 a A	0,81 a A	0,78 a A	0,67 a A	0,69 B
2	0,61 a A	0,63 a A	0,67 a A	0,59 a A	0,43 a B	0,88 a A	0,77 a A	0,65 B
3	0,38 b A	0,58 b A	0,84 a A	0,50 b A	0,92 a A	1,15 a A	0,66 b A	0,72 B
4	0,77 a A	0,95 a A	0,85 a A	0,77 a A	0,86 a A	1,15 a A	0,88 a A	0,89 A
Média	0,56 b	0,77 b	0,71 b	0,63 b	0,76 b	0,99 a	0,75 b	0,74
C.V.(%)	37,94							

BRS 506								
Parte aérea								
LOTE	Testemunha	41°C 48h	41°C 96h	43°C 48h	43°C 96h	45°C 48h	45°C 96h	Média
1	1,22 a A	1,21 a A	0,88 b A	1,43 a A	1,20 a A	1,39 a A	0,90 b A	1,18 A
2	1,08 b A	1,20 b A	1,00 b A	1,36 a A	1,45 a A	1,53 a A	0,86 b A	1,21 A
3	1,16 b A	1,18 b A	0,89 b A	1,64 a A	1,60 a A	1,61 a A	1,17 b A	1,32 A
4	1,17 a A	0,99 a A	1,29 a A	1,29 a A	1,41 a A	1,46 a A	1,11 a A	1,24 A
Média	1,16 b	1,14 b	1,01 b	1,43 a	1,42 a	1,50 a	1,01 b	1,24
C.V.(%)	24,25							

F-19								
Raiz								
LOTE	Testemunha	41°C 48h	41°C 96h	43°C 48h	43°C 96h	45°C 48h	45°C 96h	Média
1	0,71 a A	0,53 a A	0,76 a B	0,61 a A	0,74 a B	0,90 a A	0,89 a A	0,73 A
2	0,67 b A	0,61 b A	0,60 b B	0,91 a A	1,10 a A	1,02 a A	0,60 b A	0,79 A
3	0,90 a A	0,64 a A	0,86 a A	0,83 a A	0,75 a B	1,04 a A	0,67 a A	0,81 A
4	0,93 a A	0,83 a A	1,16 a A	0,92 a A	0,75 a B	0,69 a A	0,83 a A	0,87 A
Média	0,80 a	0,65 a	0,85 a	0,82 a	0,83 a	0,91 a	0,75 a	0,79
C.V.(%)	29,79							

F-19								
Parte aérea								
LOTE	Testemunha	41°C 48h	41°C 96h	43°C 48h	43°C 96h	45°C 48h	45°C 96h	Média
1	1,04 a A	1,18 a A	0,84 a B	1,31 a A	0,96 a A	1,39 a A	0,92 a B	1,09 A
2	0,98 a A	1,10 a A	1,18 a A	1,39 a A	1,01 a A	1,25 a A	1,53 a A	1,20 A
3	0,90 b A	1,19 a A	0,54 b B	1,59 a A	1,01 b A	0,82 b B	0,70 b B	0,96 B
4	1,11 a A	0,96 a A	1,23 a A	1,17 a A	1,10 a A	1,48 a A	1,04 a B	1,15 A
Média	1,01 b	1,11 b	0,95 b	1,36 a	1,02 b	1,23 a	1,05 b	1,10
C.V.(%)	27,91							

\* Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.



Não houve diferença estatística para os tratamentos no lote 4. Os tratamentos de 43°C 48 horas, 43°C 96 horas e 45°C 48 horas, foram as combinações que apresentaram maior atividade da enzima SOD nos lotes 1, 2 e 3. Na média geral dos tratamentos, o mesmo comportamento foi observado, confirmando maior atividade da enzima nestes tratamentos.

A enzima SOD, faz parte do complexo antioxidante que atua para minimizar os efeitos tóxicos causados pelas espécies reativas de oxigênio, que são radicais livres formados pelo estresse oxidativo. É responsável pela conversão do radical superóxido em peróxido de hidrogênio. De maneira geral, observando os valores médios da atividade da enzima SOD para cultivar BRS 506 (Tabela 7), a atividade foi maior para a parte aérea e, menor para a raiz. Compreende-se então, que provavelmente o estresse causado pelos tratamentos de temperatura e tempo de exposição, afeta de maneira prejudicial, principalmente a parte aérea constatada pela maior atividade da enzima SOD nesse órgão e com menor atuação nas raízes. Todavia, a interpretação da atividade da enzima pode ser variável, pois sua maior atividade tem relação direta com sua capacidade de atuar no órgão específico e minimizar os efeitos causados pelas EROs, que por sua vez são variáveis com os tratamentos. Por outro lado, a menor atividade da enzima também pode indicar efeito negativo dos tratamentos, pois a atividade é um índice da presença ativa dessas enzimas em proteger as sementes dos efeitos tóxicos e maléficos das EROs, conseqüentemente a menor atividade da enzima pode indicar que sua função no determinado órgão pode ter sido inativada. Resende (2006) avaliando a germinação de sementes de café não observou alteração de bandas da enzima SOD e associou a produção excessiva do açúcar manose durante a germinação pode ter influenciado na atividade da enzima superóxido dismutase no processo de embebição.

Em função da elevada amplitude na temperatura no teste do envelhecimento acelerado, a atividade metabólica acelerada pode ter conduzido à produção excessiva do  $O_2^-$ , acima da capacidade de eliminação pela ação da SOD. Tal fato pode ter conduzido à degradação protéica e inativação da enzima. Quando há um aumento na concentração de EROs sob condições de estresse elevado, o sistema de defesa antioxidante pode ser sobrecarregado e suprimido (ALSCHER; ERTURK; HEATH, 2002).

A maioria dos trabalhos faz relação da menor atividade das enzimas, com a menor qualidade fisiológica dos lotes de sementes, ou com testes em que os tratamentos aumentam a deterioração e por fim diminuem a viabilidade e vigor. Exemplo a isto, Abade (2012) constatou que durante o armazenamento de sementes de *Tabebuia roseoalba* ocorreu queda no teor de lipídeos, proteínas, atividade da peroxidase e catalase e aumento de compostos fenólicos e da atividade da polifenoloxidase, além da queda na germinação, comprimento e

peso seco das plântulas. Garcia (2012) avaliando sementes de *Araucaria angustifolia* observou um aumento na atividade da SOD em embriões durante armazenamento das sementes em ambiente sem controle térmico e refrigerador, com maior incremento no armazenamento em ambiente sem controle térmico. Pereira (2010) constatou que a atividade das enzimas antioxidantes aumenta significativamente quando as sementes de *Amburana cearensis* são submetidas ao estresse hídrico. Bonome (2006) verificaram um incremento da intensidade de bandas, no embrião, com o aumento do período de exposição das sementes de seringueira. Também Pukacka e Ratajczak (2005) avaliando a produção de superóxido, de peróxido de hidrogênio e de enzimas “scavenging” em sementes de *Fagus sylvatica*, sob diferentes temperaturas e umidades relativas de armazenamento verificaram um aumento na produção de radical superóxido e de peróxido de hidrogênio com o envelhecimento das sementes, independentemente da temperatura e da umidade relativa no armazenamento.

Além disso, como enzimas possuem atuação específica, determinados tratamentos de temperatura e tempo de exposição podem ter ativado outras enzimas que não foram avaliadas no estudo, mas possuem funções vitais para auxiliar na garantia da viabilidade e conservação do vigor das sementes. Portanto, torna-se difícil avaliar as relações intrínsecas das enzimas e classificar quanto ao benefício ou não de sua atividade e relacioná-las com os tratamentos, lotes e sua qualidade fisiológica. Através da atividade da enzima é possível relacionar os efeitos dos tratamentos do envelhecimento acelerado e sugerir quais foram mais prejudiciais nos órgãos da plântula. Porém, resultados mais específicos são gerados somente com outros testes e métodos que não foram realizadas no estudo. Recentemente, Silveira (2014) detectou expressão de genes no embrião e endosperma durante a germinação de sementes de lobeira (*Solanum lycocarpum*) em momentos específicos da embebição e respiração das sementes, colaborando com a localização de genes que agora estão mapeados e relacionados com a qualidade das sementes.

Investigando os lotes em cada tratamento, para a raiz da cultivar F-19 (Tabela 7), verifica-se através da média geral de cada lote que não houve diferença estatística. A diferença entre os lotes em cada tratamento foi menor. Em 41°C 96 horas, a atividade da enzima foi maior para os lotes 3 e 4. Os lotes 1 e 2 apresentaram menor atividade, diferindo estatisticamente. No tratamento da combinação de 43°C 96 horas, foi possível identificar a maior atividade da enzima para o lote 2, diferindo-se dos demais lotes, que demonstraram menor atividade enzimática.

Na comparação dos tratamentos em cada lote, para a raiz da cultivar F-19 (Tabela 7), ocorreu diferença significativa para os tratamentos de 43°C 48 horas, 43°C 96 horas e 45°C 48

horas apenas no lote 2. Demais tratamentos apresentaram menor atividade enzimática. Esses tratamentos que apresentaram maior atividade da enzima SOD, concordam de modo igual, ao comportamento dos tratamentos da parte aérea para cultivar BRS 506. Não houve diferença significativa dos tratamentos para os demais lotes. Na média geral dos tratamentos não foram observadas diferenças estatísticas. Comparando os lotes em cada tratamento, para a parte aérea da cultivar F-19 (Tabela 7), verifica-se através da média geral de cada lote, menor atividade da enzima SOD para o lote 3, diferindo-se dos demais lotes que demonstraram maior atividade da enzima. Houve diferença significativa entre os lotes para o tratamento de 41°C 96 horas, com maior atividade da enzima SOD nos lotes 2 e 4 e menor atividade enzimática para os lotes 1 e 3. No tratamento de 45°C 48 horas, houve diferença estatística entre os lotes, com menor atividade da enzima para o lote 3, diferindo-se dos demais lotes que apresentaram maior atividade enzimática. Diferença significativa entre os lotes também foi observada no tratamento de 45°C 96 horas, onde o lote 2 apresentou maior atividade da enzima, diferindo-se dos demais lotes que apresentaram menor atividade enzimática.

Analisando os tratamentos em cada lote, para a parte aérea da cultivar F-19 (Tabela 7), nota-se que não houve diferença estatística para os tratamentos nos lotes 1, 2 e 4. Porém foi observado diferença significativa para o lote 3, com maior atividade da enzima SOD nos tratamentos 41°C 48 horas e 43°C 48 horas, diferindo-se dos demais tratamentos que apresentaram menor atividade enzimática no lote 3. Verificando a média geral dos tratamentos foram identificadas diferenças entre os tratamentos, com maior atividade nos tratamentos de 43°C 48 horas e 45°C 48 horas, demais tratamentos não diferiram estatisticamente, com menor atividade da enzima SOD. O coeficiente de variação de 27,91 foi relativamente alto.

A estrutura da semente varia conforme a espécie, entretanto, sabe-se que considerando a estrutura de uma semente em geral existem regiões específicas, mais sensíveis à deterioração do que outras. Na literatura a maioria dos trabalhos avalia a semente ou a plântula inteira sem mensurar os possíveis efeitos separados que pode haver em cada parte da plântula ou do embrião e cotilédones (DAS; SEM MANDI, 1992; MARCOS FILHO, 2005). Por isso, no presente estudo a análise das enzimas foi realizada em cada órgão da plântula, raiz e parte aérea separada. Para as duas cultivares, a atividade mais intensa ocorreu de forma geral, na parte aérea e menor atividade nas raízes. Isto sugere que provavelmente o estresse causado pelos tratamentos de temperatura e tempo de exposição, afeta de maneira prejudicial, principalmente a parte aérea, refletindo na maior atividade da enzima SOD nesse órgão e com menor atuação nas raízes, pois a atividade de uma enzima representa sua capacidade de

diminuir os danos causados pelas diferentes espécies reativas de oxigênio, ao que tudo indica a parte aérea, como o órgão mais afetado nesse estudo.

Estes resultados corroboram com Borba (2013) que determinou a atividade da enzima SOD em diferentes lotes de sementes de milho detectando, da mesma forma, menor atividade desta enzima nas raízes para alguns lotes. No entanto, Rosa et al. (2005) não observaram diferença na atividade da SOD trabalhando com tolerância de sementes de milho ao estresse de altas temperaturas de secagem. Silva (2006), trabalhando com o desenvolvimento de sementes de soja, observou que a atividade da SOD foi intensa durante todos os estádios de maturação avaliados. No entanto, vários autores relataram atividade inalterada (FERNANDEZ; LÓPEZ; MÉNDEZ, 1985; MORAN et al., 1994), aumento da atividade, (FERNANDEZ; LÓPEZ; MÉNDEZ, 1985; TEZARA; LAWLOR, 1995; WANG; HUANG, 2004) e diminuição (QUARTACCI; IZZO, 1992) na atividade da enzima SOD.

Dentre as várias consequências relacionadas ao processo de deterioração das sementes, a queda na germinação tem sido apontada como um dos últimos eventos que caracterizam o declínio na qualidade fisiológica de sementes e caracterização de diversas alterações de caráter fisiológico e bioquímico (DELOUCHE; BASKIN, 1973; MARCOS FILHO, 2005). Entre tais alterações, de acordo com McDonald (1999), está a produção de radicais livres ou espécies reativas de oxigênio (EROs) que promovem modificação na estrutura das enzimas, além da degradação do sistema de síntese de novas enzimas, como já foi comentado neste capítulo. Portanto, o aumento da geração de EROs in vivo pode ter efeito deletério, pois estão envolvidos em diferentes processos como a mutagênese, apoptose conhecida como morte celular programada que ocorre de forma ordenada e demanda energia para a sua execução e envelhecimento natural e artificial (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1990). Também nessas condições de estresse pode ocorrer aumento na formação dessas EROs associado à supressão dos sistemas de defesa (ALSCHER; HESS, 1993; CHANG; SUNG, 1998). Nesse caso, está estabelecido o dano oxidativo, quando vários autores relacionam a perda da capacidade germinativa de sementes com a diminuição da eficiência dos sistemas antioxidantes (CHAITANYA; NAITHANI; NAITHANI, 2000; HENDRY et al., 1992; HENDRY, 1993; SUNG, 1996;).

A maioria dos trabalhos na literatura realizam estudos com resultados satisfatórios quando se avalia a atividade de diferentes enzimas de sementes submetidas a diferentes tratamentos de temperatura e tempo de exposição no envelhecimento acelerado. Entretanto, é mais comum encontrar trabalhos que utilizam métodos diferentes do proposto neste estudo, como avaliação da expressão das enzimas, ou os dois casos, atividade e expressão enzimática,

que oferecem resultados mais abrangentes em relação a esse parâmetro, através da técnica de eletroforese para avaliar isoenzimas, das quais muitas vezes não são enzimas do complexo antioxidante, pelo objetivo do estudo ser diferente. Mesmo assim, não deixam de revelar resultados promissores no estudo da avaliação da qualidade fisiológica de sementes, apresentando informações importantes quanto à atividade de diferentes enzimas, que apesar de específicas em seu propósito, podem ser comparadas nos trabalhos de diferentes espécies (ESPÍNOLA; CÍCERO; MELO, 2000; SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2004; TUNES, et al., 2014).

Em geral, percebe-se que existe diferença na atividade da enzima SOD para as duas cultivares e em cada órgão da plântula. A interpretação desses resultados pode ser realizada através de uma análise dos fatores relacionados à qualidade dos lotes de sementes e com a atividade da enzima, na tentativa de obedecer ao objetivo do trabalho e esclarecer essas possíveis relações entre a qualidade dos lotes, apresentadas na caracterização inicial e envelhecimento acelerado, e a atividade da enzima. Dessa maneira, observando a cultivar BRS 506 na raiz (Tabela 7), o lote que mostrou maior atividade da enzima SOD na média geral foi o lote 4 e inclusive no tratamento de 45°C 48 horas. Da mesma forma a testemunha (Tabela 7) que não sofreu estresse drástico de temperatura e tempo de exposição, apenas foi utilizada a temperatura de 25°C durante 4 dias, houve maior atividade da enzima para esse lote. O lote 4 na testemunha do envelhecimento acelerado (Tabela 6), apesar de não haver diferença significativa, apresentou um dos menores valores em porcentagem da primeira contagem. Entretanto na parte aérea o mesmo não foi observado para o lote 4.

Na comparação com a caracterização inicial (Tabela 3) não foi possível relacionar a atividade da enzima, com a qualidade fisiológica dos lotes, em função da semelhança dos lotes, apresentados na qualidade inicial. Tal fato prejudica a interpretação dos dados quando se realiza a comparação dos resultados, como já foi citado anteriormente no estudo. Igualmente no teste de envelhecimento acelerado não foi possível fazer a mesma relação da atividade da enzima SOD com a qualidade fisiológica dos lotes definida no teste. No entanto, isso não significa que os efeitos causados pelo envelhecimento não tenham relação com a atividade das enzimas.

Na cultivar F-19 foram observadas diferenças mais acentuadas nos testes em relação a cultivar BRS 506, determinantes para comparações dos testes de vigor da qualidade inicial e testemunha das enzimas, com a atividade destas. Na raiz da cultivar F-19 (Tabela 7) apesar de não haver diferença significativa entre os lotes, na média geral e em cada tratamento, pelo valor mostrado, nota-se que a maior atividade ocorreu para o lote 4 na média geral e também

na atividade da testemunha. O mesmo foi observado na caracterização inicial nos testes de germinação e primeira contagem e dados de crescimento da raiz e epicótilo (Tabela 2), como sendo o lote 4 de menor qualidade fisiológica. Isso demonstra que existe tendência de haver maior atividade da enzima SOD em lotes de pior qualidade fisiológica, que conseqüentemente apresentam maior produção de EROs caracterizando maior desestruturação do sistema de membranas e maior atividade do processo de deterioração das sementes oriundas desses lotes.

Na parte aérea da cultivar F-19 (Tabela 7), percebe-se que a menor atividade da enzima ocorreu para o lote 3 na média geral dos lotes e na atividade da testemunha. Comparando esse resultado com os dados da caracterização inicial (Tabela 2) para os testes de germinação e primeira contagem da germinação e dados de crescimento de raiz e parte aérea, o lote 3 demonstrou a maior qualidade fisiológica dentre os lotes, além disso, na primeira contagem da germinação da testemunha das enzimas (Tabela 6) o lote 3 também foi detentor da melhor qualidade fisiológica. Essas informações evidenciam, portanto, que a atividade da enzima SOD tem relação com a qualidade fisiológica dos lotes, fornecendo informações através de sua atividade específica no combate dessas EROs que representam maiores formações de radicais livres em lotes de baixo potencial de qualidade fisiológica. Sugere-se dessa forma, que os lotes com alta qualidade fisiológica conseguem superar, em determinados momentos anteriores à germinação, adversidades como a temperatura elevada por um tempo prolongado, muito semelhante às condições encontradas no campo. Todavia, o estudo revelou que os resultados dos testes tem relação direta e específica em cada cultivar e lote, principalmente para a espécie em estudo.

Em relação aos tratamentos, salienta-se em geral que a atividade da enzima SOD exibe uma tendência de sua atividade em alguns tratamentos marcantes. Como houve variabilidade da atividade da enzima nos tratamentos e, de certa forma não foi pontual em todos os lotes, é possível sugerir que tratamentos drásticos, como em 45°C por 96 horas ocorreram menores atividades da enzima em todos os lotes, se comparado com as outras combinações de menor temperatura e tempo de exposição. Provavelmente, em alta temperatura e tempo de exposição elevado, são combinações que inibem a atividade da enzima SOD e aumentam o processo de deterioração das sementes. A deterioração de sementes de girassol durante envelhecimento artificial foi estritamente relacionado a redução da atividade das enzimas de detoxificação das EROs e aumento da peroxidação de lipídios (BAILLY et al., 1996).

Tomando uma visão geral dos dados, sem deixar de levar em consideração que existem particularidades em cada cultivar e em cada órgão, é possível observar para as duas cultivares que tratamentos drásticos, todos com valores superiores à testemunha, em alguns

casos, a atividade da enzima chegou a ser menor que na testemunha ou em tratamentos mais brandos como em 41°C e 48 horas mostrando que a função da enzima em diminuir os danos pelas EROs pode estar comprometida. Diante disso, pode-se inferir que a maior atividade da enzima em geral ocorreu nos tratamentos de 43°C por 48 e 96 horas e 45°C por 48 horas, com menor atividade nas combinações menores de 41°C por 48 e 96 horas. Panda e Khan (2004) avaliaram as alterações no crescimento e na atividade da SOD em *Hydrilla verticillata*, sob estresse abiótico e, concluíram que a atividade do SOD foi inibida por cromo e zinco, mas aumentada por cobre e cádmio, contudo, o estresse salino aumentou a atividade do SOD, enquanto o hídrico diminuiu, além de ter sido termoestável, sendo a maior atividade atingida a 45°C.

Senaratna e Mckersie (1986), trabalhando com eixos embrionários de soja, afirmaram que a SOD é o mais notável exemplo de neutralizador de radicais livres, pois é efetiva ao menor sinal de dano. A importância da atividade da enzima SOD também pode ser verificada em trabalhos com outros objetivos, porém, evidenciam a função protetora dessa enzima na planta, verificado por Cataneo et al. (2005) em relação à proteção que a superóxido dismutase oferece às plantas de soja contra o estresse oxidativo induzido pelo herbicida oxyfluorfen.

As médias da atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) em U. mg<sup>-1</sup> proteína, para as duas cultivares estão apresentadas na Tabela 8. Os dados são interpretados separadamente em cada genótipo, raiz e parte aérea. Comparando os lotes em cada tratamento, para a raiz da cultivar BRS 506 (Tabela 8), na média geral de cada lote, a maior atividade ocorreu para os lotes 2, 3 e 4, diferindo estatisticamente do lote 1 que demonstrou menor atividade da enzima POD. Houve diferença estatística entre os lotes em alguns tratamentos. Em 41°C 48 horas o lote 2 apresentou maior atividade enzimática, diferindo-se dos demais lotes que detiveram da menor atividade. No tratamento de 41°C 96 horas, houve aumento da atividade da enzima e somente o lote 1 com a menor atividade diferiu dos outros lotes. Outro tratamento que mostrou diferença entre os lotes foi em 43°C 96 horas, através dos lotes 3 e 4 com maior atividade, diferindo dos lotes 1 e 2 com menor atividade enzimática. Para os demais tratamentos, não citados, não foi encontrado diferença significativa para os tratamentos. Segundo Camargo et al. (2000) a atividade da enzima peroxidase varia com o tipo de tecido e estágio de desenvolvimento da planta, sendo sua atividade inversamente proporcional ao crescimento do indivíduo. Esse sistema enzimático tem sido usado como modelo para estudar o controle hormonal e os processos de crescimento nas plantas. Pode também estar relacionada à peroxidação de lipídios e, assim como as fosfatases ácidas, ao

processo de envelhecimento (DENNA; ALEXANDER, 1975; VIEIRA; CARVALHO, 1994; WILSON; MCDONALD, 1986).

Na comparação dos tratamentos em cada lote, para a raiz da cultivar BRS 506 (Tabela 8) verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos apenas para o lote 1. Para o lote 2, percebe-se que nos tratamentos de 41°C 48 horas e 41°C 96 horas, houve maior atividade da enzima POD, aumentando apenas em 45°C 48 horas, demais tratamentos a atividade enzimática foi menor, igualando-se estatisticamente à testemunha que não sofreu tratamento de estresse por parte do envelhecimento acelerado. Para o lote 3, novamente em 41°C 96 horas que a maior atividade da enzima foi detectada, seguido de 41°C 48 horas. Nos demais tratamentos a atividade da enzima foi menor. No lote 4, de modo semelhante, o tratamento de 41°C 48 horas e 41°C 96 horas apresentaram maior atividade da enzima POD, aumentando a atividade novamente apenas no tratamento de 43°C 96 horas, demais tratamentos a atividade enzimática foi menor.

Através da média geral dos tratamentos, o comportamento destes em cada lote se refletiu de maneira similar. Os tratamentos que demonstraram maior atividade da enzima POD foram em 41°C 48 horas e 41°C 96 horas, seguidos dos tratamentos de 43°C 96 horas e 45°C 48 horas que mostraram maior atividade em alguns lotes, confirmando o exposto recentemente. Demais tratamentos a atividade enzimática foi menor, igualmente à testemunha pelo teste estatístico. Como as enzimas atuam simultaneamente nas sementes em condições que as favoreçam, muitos estudos relacionam sua atividade ao longo do tempo de armazenamento, que da mesma forma provoca o envelhecimento natural e aumenta as taxas de deterioração, como constatado por Carvalho et al. (2014) onde diversas enzimas incluindo a SOD e a POD diminuíram sua atividade em sementes de soja submetidas às condições não controladas, todavia quando armazenadas em câmara fria e seca conservaram sua qualidade fisiológica.

Analisando os lotes em cada tratamento, para a parte aérea da cultivar BRS 506 (Tabela 8), percebe-se que não foi encontrada diferença significativa para os lotes nos tratamentos aplicados. Na comparação dos tratamentos em cada lote, para a parte aérea da cultivar BRS 506 (Tabela 8), não houve diferença significativa dos tratamentos para os lotes 3 e 4, apenas nos lotes 1 e 2.



Tabela 8- Atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) ( $U. mg^{-1}$  proteína), na parte aérea e em raízes de plântulas de quatro lotes de sementes de duas cultivares de sorgo sacarino BRS 506 e F-19, após o teste de envelhecimento acelerado com a combinação de temperatura de 41, 43 e 45°C durante o período de exposição de 48 e 96 horas. UFSM, Santa Maria, 2015.

BRS 506								
Raiz								
LOTE	Testemunha	41°C 48h	41°C 96h	43°C 48h	43°C 96h	45°C 48h	45°C 96h	Média
1	0,039 a A	0,062 a B	0,055 a B	0,047 a A	0,044 a B	0,050 a A	0,037 a A	0,048 B
2	0,047 c A	0,081 a A	0,073 a A	0,038 c A	0,041 c B	0,060 a A	0,037 c A	0,054 A
3	0,047 c A	0,066 b B	0,083 a A	0,051 c A	0,058 c A	0,058 c A	0,040 c A	0,058 A
4	0,052 b A	0,061 a B	0,072 a A	0,051 b A	0,066 a A	0,057 b A	0,042 b A	0,057 A
Média	0,046 c	0,067 a	0,071 a	0,047 c	0,053 b	0,056 b	0,039 c	0,054
C.V. (%)	21,31							

BRS 506								
Parte aérea								
LOTE	Testemunha	41°C 48h	41°C 96h	43°C 48h	43°C 96h	45°C 48h	45°C 96h	Média
1	0,029 b A	0,036 a A	0,029 b A	0,041 a A	0,025 b A	0,035 a A	0,020 b A	0,031 A
2	0,033 a A	0,032 a A	0,028 a A	0,035 a A	0,031 a A	0,025 b A	0,020 b A	0,029 A
3	0,025 a A	0,029 a A	0,021 a A	0,033 a A	0,037 a A	0,032 a A	0,030 a A	0,029 A
4	0,022 a A	0,024 a A	0,028 a A	0,028 a A	0,028 a A	0,030 a A	0,026 a A	0,027 A
Média	0,027 b	0,030 a	0,027 b	0,034 a	0,030 a	0,030 a	0,024 b	0,029
C.V. (%)	24,67							

F-19								
Raiz								
LOTE	Testemunha	41°C48h	41°C96h	43°C48h	43°C96h	45°C48h	45°C96h	Média
1	0,051 a A	0,053 a A	0,068 a B	0,056 a A	0,050 a B	0,057 a A	0,052 a A	0,055 B
2	0,059 a A	0,066 a A	0,068 a B	0,064 a A	0,065 a A	0,060 a A	0,052 a A	0,062 A
3	0,064 b A	0,061 b A	0,086 a A	0,055 b A	0,065 b A	0,060 b A	0,052 b A	0,063 A
4	0,052 b A	0,060 b A	0,076 a B	0,059 b A	0,049 b B	0,049 b A	0,043 b A	0,055 B
Média	0,057 b	0,060 b	0,074 a	0,058 b	0,057 b	0,056 b	0,050 c	0,059
C.V. (%)	15,41							

F-19								
Parte aérea								
LOTE	Testemunha	41°C48h	41°C96h	43°C48h	43°C96h	45°C48h	45°C96h	Média
1	0,030 a A	0,031 a A	0,025 b A	0,034 a A	0,026 b A	0,034 a A	0,023 b A	0,029 A
2	0,036 a A	0,034 a A	0,033 a A	0,031 a A	0,028 a A	0,035 a A	0,024 a A	0,031 A
3	0,033 a A	0,035 a A	0,037 a A	0,040 a A	0,030 a A	0,031 a A	0,021 b A	0,032 A
4	0,034 a A	0,032 a A	0,031 a A	0,027 b A	0,030 a A	0,040 a A	0,022 b A	0,031 A
Média	0,033 a	0,033 a	0,032 a	0,033 a	0,028 a	0,035 a	0,022 b	0,031
C.V. (%)	20,41							

\* Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Os tratamentos de 41°C 48 horas, 43°C 48 horas e 45°C 48 horas, demonstraram maior atividade da enzima POD para o lote 1, demais tratamentos a atividade enzimática foi menor. Já para o lote 2, observa-se que nos tratamentos de temperatura e tempo de armazenamento maior, ocorreu menor atividade da enzima. Na média geral de cada tratamento, os tratamentos que indicaram maior atividade da enzima no lote 1, de forma semelhante, também representaram maior atividade em geral, demais tratamentos a atividade enzimática foi menor.

Diante do exposto, percebe-se em geral maior atividade da enzima POD para a raiz, se comparado com a parte aérea. Na raiz da cultivar BRS 506, os tratamentos mais brandos de temperatura e tempo de exposição mostraram maior atividade da enzima POD, pois os tratamentos considerados drásticos de temperatura de 45°C e 96 horas, não provocaram maior atividade enzimática, pelo fato de que provavelmente os tratamentos de temperatura e tempo de exposição drásticos em combinação foram nocivos para a enzima e inativaram a capacidade da enzima atuar para minimizar os efeitos da oxidação. Tal comportamento pode ser explicado em virtude de que as enzimas atuantes do complexo antioxidante, agem de maneira específica, podendo perder sua viabilidade em tratamentos extremos, considerados drásticos. O mesmo foi constatado na parte aérea nos tratamentos mais elevados de temperatura e tempo de exposição, onde a atividade da enzima diminuiu. Resultados promissores com a enzima catalase, de função muito semelhante a guaiacol peroxidase, foram verificados por Kibinza et al. (2011) onde concluíram que a enzima catalase desempenha um papel fundamental na reparação e proteção das sementes de girassol, durante o envelhecimento acelerado.

Comparando os lotes em cada tratamento, para a raiz da cultivar F-19 (Tabela 8), na média geral de cada lote, a maior atividade ocorreu para os lotes 2 e 3, diferindo estatisticamente do lote 1 e 4 que apresentaram menor atividade da enzima POD. O lote 3, no tratamento de 41°C 96 horas, demonstrou maior atividade da enzima diferindo dos demais lotes. No tratamento de 43°C 96 horas, houve diferença significativa entre os lotes, com maior atividade para os lotes 2 e 3, e menor para os lotes 1 e 4, semelhantemente ao ocorrido na média geral dos lotes. No mesmo tempo de exposição de 96 horas e temperatura de 42°C, Camargo et al. (2000) verificaram que a peroxidase mostrou atividade muito baixa, porém houve aumento na atividade dessa enzima acompanhando o aumento no tempo de exposição, sendo maior para as sementes que sofreram envelhecimento artificial.

Na comparação dos tratamentos em cada lote, para a raiz da cultivar F-19 (Tabela 8), não foi encontrada diferença significativa para os tratamentos nos lotes 1 e 2. O tratamento de

41°C 96 horas proporcionou maior atividade da enzima POD para os lotes 3 e 4. Para os demais tratamentos a atividade enzimática foi menor. Na média geral de cada tratamento o mesmo foi observado, classificando o tratamento de 41°C 96 horas com maior atividade da enzima POD e menor atividade para o tratamento de 45°C 96 horas, considerado drástico dentre os tratamentos. De acordo com Karuppanandian et al. (2011), a atividade da POD varia consideravelmente dependendo da espécie da planta e do tipo de estresse, além disso, possui grande importância na biossíntese de lignina e na defesa contra estresses por agir no radical livre peróxido de hidrogênio que afeta negativamente a respiração e constituintes das membranas da semente (BOGUSZEWSKA; ZAGDAŃSKA, 2012).

Na parte aérea da cultivar F-19 (Tabela 8), na comparação dos lotes em cada tratamento, não foi observada diferença significativa entre os lotes. Entretanto, na comparação dos tratamentos em cada lote, não foi detectada diferença significativa apenas no lote 2. Percebe-se que novamente a atividade menor da enzima POD foi verificada em 45°C 96 horas para os lotes 1, 3 e 4. Para demais tratamentos não foi observado diferença estatística significativa quanto à atividade da enzima.

Em geral, percebe-se que existe diferença na atividade da enzima POD para as duas cultivares e em cada órgão da plântula. A interpretação desses resultados pode ser realizada através de uma análise conjunta dos fatores relacionados à qualidade dos lotes de sementes e com a atividade da enzima, na tentativa de obedecer ao objetivo do trabalho e esclarecer essas possíveis relações entre a qualidade dos lotes, apresentadas na caracterização inicial e envelhecimento acelerado, e a atividade da enzima. Dessa maneira, observando a cultivar BRS 506 na raiz (Tabela 8), apesar de não haver diferença significativa, o lote que numericamente mostrou menor atividade da enzima POD na média geral foi o lote 1 e inclusive na comparação entre os lotes ao longo dos tratamentos. Da mesma forma na testemunha (Tabela 8) houve menor atividade da enzima para esse lote. O lote 1 na testemunha do envelhecimento acelerado (Tabela 6), apesar de não haver diferença significativa, apresentou numericamente um dos maiores valores da primeira contagem. Contudo, na parte aérea o mesmo não foi observado para o lote 1.

De qualquer forma, essas informações demonstram que existe a tendência de haver maior atividade da enzima POD em lotes de qualidade fisiológica mais baixa, que conseqüentemente apresentam maior produção de EROs caracterizando maior desestruturação do sistema de membranas e conseqüentemente maior atividade do processo de deterioração das sementes oriundas desses lotes, contudo a maior atividade não foi homogênea em todos os tratamentos. Em contra partida os lotes com alta qualidade fisiológica conseguem superar, em

determinados momentos anteriores à germinação, adversidades como a temperatura elevada por um tempo prolongado, muito semelhante às condições encontradas no campo. Todavia, o estudo revelou que os resultados dos testes tem relação direta e específica de cada cultivar e lote e principalmente à espécie em estudo. Resende (2006) observou que não houve atividade da enzima peroxidase nas sementes de café embebidas em água, apenas em solução de giberelina foi observada intensidade de bandas da enzima peroxidase com maior atividade aos 14 dias de embebição. Semelhantemente Takaki e Dietrich (1980) observaram intensidade de bandas da enzima peroxidase, no final do processo de germinação em sementes de café, tratadas com giberelina. Segundo esses autores a giberelina aumenta a liberação da enzima peroxidase que normalmente ocorre no final do processo de germinação.

Na comparação com a caracterização inicial (Tabela 2 e 3) não foi possível relacionar a atividade da enzima, com a qualidade fisiológica dos lotes para as duas cultivares. Igualmente no teste de envelhecimento acelerado não foi possível fazer a relação da atividade da enzima POD com qualidade fisiológica dos lotes definida no teste. No entanto, isso não significa que os tratamentos causados pelo envelhecimento não tenham relação com a atividade das enzimas. Zacheo et al. (1998) avaliaram os fatores que influenciam a oxidação lipídica em sementes de amêndoas através do envelhecimento acelerado e verificaram que a atividade da peroxidase, enzima com a mesma função da guaiacol peroxidase, mostrou maior atividade e expressão em sementes com idade avançada.

Em relação aos tratamentos, salienta-se em geral que a atividade da enzima POD (Tabela 8) exhibe uma tendência de sua atividade em alguns tratamentos marcantes. Como houve variabilidade da atividade da enzima nos tratamentos e, de certa forma não foi pontual em todos os lotes, é possível sugerir que tratamentos drásticos, como em 45°C por 96 horas ocorreram menores atividades da enzima em todos os lotes, se comparado com as outras combinações de menor temperatura e tempo de exposição, além de que houve diminuição do vigor dos lotes pelo teste de envelhecimento acelerado (Tabelas 4 e 5). Estes resultados corroboram com Peng et al. (2011), que concluíram que a atividade das enzimas SOD, POD e catalase no teste de envelhecimento acelerado aumentaram em temperaturas menores que 45°C e diminuíram em tratamentos severos de temperatura na faixa de 60°C reduzindo a porcentagem de germinação a zero das sementes de trigo.

Tomando uma visão geral dos dados, sem deixar de levar em consideração que existem particularidades em cada cultivar e órgão, é possível observar para as duas cultivares que os tratamentos com temperatura e tempo de exposição mais elevados são mais prejudiciais para a atividade da enzima POD se comparado com a atividade da enzima SOD.

Percebe-se que a redução na atividade das enzimas está associada à diminuição significativa do vigor das sementes de sorgo sacarino, indicando que o envelhecimento artificial resultou em danos ao funcionamento e à estrutura celular. Resultados semelhantes foram observados por Cakmak et al. (2010), Demirkaya, Dietz e Sivritepe (2010) e Chauhan et al. (2011), onde a diminuição da atividade das enzimas antioxidantes, durante o envelhecimento, resultaram em menor viabilidade e vigor das sementes. Também Hsu et al. (2003) verificaram em sementes de abóbora, que o melhor desempenho de emergência de plântulas foi contribuinte à diminuição de peroxidação lipídica durante o processo de embebição, do contrário, aliado ao envelhecimento acelerado, além de aumentar a peroxidação lipídica também diminuiu a atividade de diversas enzimas e a eficiência na eliminação de radicais livres.

Por ser um complexo químico e um fenômeno fisiológico, o estresse oxidativo acompanha praticamente todos os estresses bióticos e abióticos nas plantas, e se desenvolve como resultado do excesso de produção e acúmulo de espécies reativas de oxigênio. São necessários estudos mais profundos dos mecanismos primários subjacentes ao estresse em nível celular, sendo que as origens do estresse oxidativo em plantas são demonstrados em organelas como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos, constatados ainda, em nível de DNA.

As EROs danificam todos os principais bio-polímeros celulares da planta, resultando nas diversas disfunções. Podem ativar  $Ca^{2+}$  na membrana plasmática, permeabilidade de canais específicos de elementos, alterações nos eventos de sinalização e até mesmo provocar a morte celular. Por ocorrer essas disfunções em locais extremamente importantes, para funções vitais das plantas, se faz necessário o complexo antioxidante de diversas enzimas, que formam uma rede sofisticada de proteção intra e extracelular, influenciando a expressão do número de genes e, portanto, no controle de muitos processos como o crescimento, ciclo celular, morte celular programada, respostas ao estresse abiótico, defesa contra patógenos, sinalização sistêmica e desenvolvimento em geral. A investigação sobre o estresse oxidativo tem grande potencial para o desenvolvimento de culturas tolerantes a estresse e pode ser alcançado através da utilização de técnicas de evolução dirigida para evitar a oxidação de proteínas, bioengenharia de atividades antioxidantes, bem como, a modificação dos mecanismos de detecção de EROs (DEMIDCHIK, 2015; GILL; TUTEJA, 2010).

## 4.4 CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o trabalho:

- O teste de envelhecimento acelerado detectou diferenças entre os lotes e se relacionou com a qualidade fisiológica para as duas cultivares estudadas.
- A temperatura de 43°C e 96 horas de exposição foi a combinação que melhor relacionou com o potencial de qualidade fisiológica dos lotes para as duas cultivares.
- A atividade das enzimas foi específica em cada órgão da plântula, havendo menor atividade da SOD nas raízes e maior atividade na parte aérea, e na enzima POD, maior atividade nas raízes e menor atividade na parte aérea.
- A qualidade dos lotes de sementes pode influenciar na atividade das enzimas SOD e POD.
- O tratamento utilizando a temperatura de 45°C e 96 horas de exposição foi prejudicial para as enzimas diminuindo a atividade.

## 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADE, L. C. **Alterações bioquímicas e fisiológicas durante o armazenamento e a germinação de sementes de *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (Bignoniaceae)**. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 60p. Julho de 2012.

AHMADLOO, F.; TABARI, M. Evaluation some seed quality characters of (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*) species using accelerated aging test. **New Biotechnology**, v. 29, september, 2012.

ALSCHER, R. G.; ERTURK, N.; HEATH, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 1331–1341, 2002.

ALSCHER, R. G.; HESS, J. L. **Antioxidants in higher plants**. Boca Raton: CRC Press, 1993.

AMARO, H. T. R. et al. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), cultivar FMS Brilhante. **Revista ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 202-208, 2014.

AOSA (Association Of Official Seed Analysts) (ed). **Seed vigor testing handbook**. Contribution n. 32 to the Handbook on Seed Testing, 88p. 1983.

BAILLY, C. et al. Changes in malondialdehyde content and in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seeds as related to deterioration during accelerated aging. **Physiologia Plantarum**, v. 97, p. 104-110, 1996.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Anal Biochemistry**, v. 8, n. 44, p. 276-287, 1971.

BERNARDES, P. M. et al. Testes de deterioração controlada e de envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de repolho. **Nucleus**, v. 12, n. 1, abr. 2015.

BHERING, M. C. et al. Avaliação do vigor de sementes de melancia (*Citrullus lanatus* Scherad) pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 2, p. 1-6, 2003.

BHERING, M. C. et al. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de pimenta. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 64-71, 2006.

BITTENCOURT, S. R. M. de. et al. Metodologia alternativa para condução do teste de envelhecimento acelerado em sementes de milho. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1360-1365, 2012.

BOGUSZEWSKA, D.; ZAGDAŃSKA, B. ROS as Signaling Molecules and Enzymes of Plant Response to Unfavorable Environmental Conditions. In: **Oxidative Stress – Molecular Mechanisms and Biological Effects**. Ed. Intech, p. 341-362, 2012.

BONOME, L. T. da. S. **Alterações fisiológicas, bioquímicas e moleculares em sementes de seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex Adr. de Juss.) Müell.-Arg.] durante o armazenamento**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais, 124 p. 2006.

BORBA, I. C. G. de. **Metabolismo antioxidativo para a classificação de lotes de sementes quanto ao vigor**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), 80p. Pelotas, maio de 2013.

BOWLER, C.; VAN MONTAGU, M.; INZÉ, D. Superoxide dismutase and stress tolerance. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Danvers, v. 43, n. 2, p. 83-116, 1992.

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

CAKMAK, T. et al. Natural aging-related biochemical changes in alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds stored for 42 years. **International Research Journal of Plant Science**, Sapele, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2010.

CAMARGO, M. L. P. de. et al. Atividade enzimática em plântulas de *Eucalyptus grandis* provenientes de sementes envelhecidas artificialmente e naturalmente. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 113-122, 2000.

CARPI, V. A. F. **Avaliação do potencial fisiológico de sementes de rabanete (*Raphanus sativus* L.)**. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 77p. 2005.

CARVALHO, E. R. et al. Alterações isoenzimáticas em sementes de cultivares de soja em diferentes condições de armazenamento. **Pesquisa agropecuaria brasileira**, Brasília, v. 49, n. 12, p. 967-976, dez. 2014.

CARVALHO, N. M. de; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: Funep, 2000.

CHAITANYA, K. S. K.; NAITHANI, T.; NAITHANI, S. C. Ascorbic acid metabolism in ageing recalcitrant sal (*Shorea robusta* Gaertn. F.) seeds. **Indian Journal Experimental Botany**, v. 38, p. 1031-1035, 2000.

CHANG, S. M.; SUNG, J. M. Deteriorative changes in primed sweet corn seeds during storage. **Seed Science and Technology**, v. 26, p. 613-626, 1998.

CHAUHAN, D. S. et al. Change in storage enzymes activities in natural and accelerated aged seed of wheat (*Triticum aestivum*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, Nova Delhi, v. 81, n. 11, p. 1037-1040, 2011.



CORTE, V. B. Alterações fisiológicas e bioquímicas de sementes de *Melanoxylon brauna* envelhecidas natural e artificialmente. **Tese de doutorado**. Universidade Federal de Viçosa-UFV. Minas Gerais. 129p. 2008.

COSTA, C. J.; TRZECIAK, M. B.; VILLELA, F. A. Potencial fisiológico de sementes de brássicas com ênfase no teste de envelhecimento acelerado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 144-148, 2008.

DAS, G.; SEM MANDI, S. Scutellar amylase activity in naturally aged and accelerated aged wheat seeds. **Annals of Botany**, v. 69, p. 479-501, 1992.

DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. **Environmental and Experimental Botany**, v. 109, p. 212-228, 2015.

DEMIRKAYA, M.; DIETZ, K. J.; SIVRITEPE, H. O. Changes in antioxidant enzymes during aging of onion seeds. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici**, Cluj- Napoca, v. 38, n. 1, p. 49-52, 2010.

DENNA, D. W.; ALEXANDER, M. B. The isoperoxidases of *Curcubita pepo* L. In: MARKET, C.L. **Isozymes II: physiological function**. New York: Academic Press, p. 851-864, 1975.

DUTRA, A. S. **Avaliação do potencial fisiológico de sementes de abóbora e abobrinha**. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 76p. 2004.

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, p. 715-721, mai./jun., 2004.

ESPÍNOLA, M. C. M.; CÍCERO, S. M.; MELO, M. de. Alterações bioquímicas e fisiológicas em sementes de milho causadas pelo ao envelhecimento acelerado. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2, p. 263-270, abr./jun., 2000.

FERNANDEZ, J. L. L.; LÓPEZ, C. O; MÉNDEZ, E. Complete Amino Acid Sequence of the *Aspergillus Cytotoxin* Mitogilin. **Biochemistry**, v. 24, p. 861-867, 1985.

FERREIRA, D. F. SISVAR. **Sistema de análises estatísticas**. Lavras: UFLA. 1999.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Plant Physiology**, v. 119, p. 355-364, 2003.

FRIDOVICH, I. Superoxide dismutases. In: **Advances in enzymology and related areas of molecular biology**. v. 58, p. 61-97, 1986.

GARCIA, C. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze sob condições controladas de armazenamento**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 112p. Fev. 2012.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 48, n. 59, p. 315-318, 1977.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909-930, 2010.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; OLIVEIRA, L. S. B. de. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de *Chorisia glaziovii* (Kuntze) (Malvaceae). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 378-385, mar./abr., 2013.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in Biology and medicine**. Oxford University Press, Thirth ed., 1999.

HENDRY, G. A. F. Oxygen, free radical processes and seed longevity. **Seed Science Research**, v. 3, p. 141-153, 1993.

HENDRY, G. A. F. et al. Free radical processes and loss of seed viability during desiccation in the recalcitrant species *Quercus robur* L. **New Phytology**, v. 122, p. 273-279, 1992.

HSU, C. C. et al. Accelerated aging-enhanced lipid peroxidation in bitter gourd seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. **Scientia Horticulturae**, v. 98 p. 201-212, 2003.

JENG, T. L.; SUNG, J. M. Hydration effect on lipid peroxidation and peroxide scavenging enzymes activity of artificially aged peanut seed. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 22, n. 3, p. 531-539, 1994.

KARUPPANAPANDIAN, T. et al. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 709-725, 2011.

KIBINZA, S. et al. Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. **Plant Science**, v. 181, p. 309-315, 2011.

KRUSE, N. D. et al. Estresse oxidativo em girassol (*Helianthus annuus*) indica sinergismo para a mistura dos herbicidas metribuzin e clomazone. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 379-390, 2006.

LEÓN, A. M. et al. Antioxidative enzymes in cultivars of peppers plants with different sensitivity to cadmium. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 40, p. 813-820, 2002.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, Cap.3, p.1-24, 1999b.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Brasília, DF: Abrates, p. 1-24, 2005.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, cap.3, p.1-24, 1999.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, cap.1. p.1-30, 1999a.

MARCOS-FILHO, J.; CICERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade fisiológica das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MCDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 22, n. 3, p. 531-539, 1999.

MCDONOUGH, C. M. et al. Effect of accelerated aging on maize, sorghum, and sorghum meal. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 351-361, 2004.

MEDEIROS, M. A. et al. Testes de estresse térmico em sementes de melão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 7- 13, 2014.

MENEZES, V. O. et al. Envelhecimento acelerado em sementes de *Zinnia elegans* Jacq. colhidas em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 39-47, 2008.

MIRANDA, D. M.; NOVENBRE, A. D. L. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de sorgo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.23, n.1, p.226-31, 2001.

MORAN, J. F. et al. Drought induces oxidative stress in pea plants. **Planta**, v. 194, p. 346-352, 1994.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. 1999. 218p.

NETTO, D. A. M. et al. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) moench.) danificadas após armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 2, p. 342-348, 1977.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES FILHO, E. Efeito do condicionamento osmótico na germinação e vigor de sementes de sorgo com diferentes qualidades fisiológicas. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 25-34, set. 2010.

OLIVEIRA, D. V. de. et al. Teste de envelhecimento acelerado para a avaliação do vigor de sementes de *Dalbergia miscolobium* Benth. **Heringeriana**, v. 7, n. 2, p. 153-160, 2013.

PAIVA, A. S. et al. Qualidade física e fisiológica de sementes da leguminosa forrageira *Macrotyloma axillare* cv. Java. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 30, n. 2, p. 130-136, 2008.

PANDA, S. K.; KHAN, M. H. Changes in growth and superoxide dismutase activity in *Hydrilla verticillata* L. under abiotic stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 16, n. 2, p. 115-118, 2004.

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

PATANÈ, C.; CAVALLARO, V.; COSENTINO, S. L. Germination and radicle growth in unprimed and primed seeds of sweet sorghum as affected by reduced water potential in NaCl at different temperatures. **Industrial Crops and Products**, v. 30 p. 1-8, 2009.

PENG, Q. et al. Effects of accelerated aging on physiological and biochemical characteristics of waxy and non-waxy wheat seeds. **Journal of Northeast Agricultural University**, v. 18, n. 2, p. 7-12, 2011.

PEREIRA, E. P. L. **Marcadores bioquímicos da atividade antioxidante em sementes de *Amburana cearensis* (Fr. Allemão) a. c. smith submetidas a estresse hídrico**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Bahia, Salvador. 106p. 2010.

PEREIRA, M. F. S.; TORRES, S. B.; LINHARES, P. C. F. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação do potencial fisiológico em sementes de coentro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 595-606, mar./abr., 2015.

PETRINI, J. A.; FERNANDEZ, D.; ZONTA, E. P. Testes de vigor para prever a emergência de sorgo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 23, n. 6, p. 593-598, junho, 1988.

PUKACKA, S.; RATAJCZAC, R. Production and scavenging of reactive oxygen species in *Fagus sylvatica* seeds during storage at varied temperature and humidity. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 162, n. 8, p. 873-885, Aug. 2005.

QUARTACCI, M. F.; IZZO, F. N. Water stress and free radical mediated changes in sunflower seedlings. **Journal of plant physiology**, v. 139, n. 5, p. 621-625, 1992.

RESENDE, M. de. L. Alterações bioquímicas na germinação de sementes de café. In: **Alterações fisiológicas e bioquímicas durante a germinação de sementes de café (*Coffea arabica* L) cv. Rubi**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, p. 69-104, 2006.

RODO, A. B.; MARCOS FILHO, J. Onion seed vigor in relation to plant growth and yield. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, p. 220-226, 2003.

RODO, A. B.; PANOBIANCO, M.; FILHO, J. M. Metodologia alternativa do teste de envelhecimento acelerado para sementes de cenoura. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2, p. 289-292, abr./jun., 2000.

ROSA, S. D. V. F. et al. Enzimas removedoras de radicais livres e proteínas *Lea* associadas à tolerância de sementes de milho à alta temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília v. 27, n. 2, p. 91-101, 2005.

SANTOS, C. M. R.; MENEZES, N. L. de.; VILLELA, F. A. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n.1, p.110-119, 2004.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 38, n. 7, p. 995-1014, 2005.

SCHWEMBER, A.; BRADFORD, K. J. Quantitative trait loci associated with longevity of lettuce seeds under conventional and controlled deterioration storage conditions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, n. 15, p. 4423-4436, 2010.

SENARATNA, T.; MCKERSIE, B. D. Loss of desiccation tolerance during seed germination: a free radical mechanism of injury. In: LEOPOLD, A. C. **Membranes, metabolism and dry organisms**. London, p. 85-101, 1986.

SILVA, P. A. **Estudo da qualidade fisiológica, bioquímica e ultra-estrutural durante o desenvolvimento e a secagem de sementes de soja**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 55p. 2006.

SILVEIRA, L. E. D. **Expressão de genes no embrião e endosperma durante a germinação de sementes de lobeira (*Solanum lycocarpum* St. Hill)**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP-Campus de Botucatu, São Paulo, 67p. 2014.

SOUZA, F. H. D.; MARCOS FILHO, J. Estudo comparativo de métodos para a avaliação do vigor de sementes de sorgo (*Sorghum vulgare* Pers). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.32, p.369-383, 1975.

SUNG, J. M. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging in soybean seeds during aging. **Plant Physiology**, v. 97, p. 85-89, 1996.

TAKAKI, M.; DIETRICH, S. M. C. Effect of GA<sub>3</sub> and light on polysaccharide levels and metabolism in germinating coffee seeds. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 31, n. 125, p. 1643-1649, 1980.

TEZARA, W.; LAWLOR, D. W. Effects of water stress on biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. In: MATHIS, P. (ed.): **Photosynthesis: from Light to Biophere**. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht Boston-London, v. 4, p. 625-628, 1995.

TOLEDO, M. Z. et al. Efeitos do ambiente de armazenamento na qualidade de sementes de sorgo sudão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p.44-52, 2007.

TORRES, S. B.; MARCOS FILHO, J. Accelerated aging of melon seeds. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 77-82, 2003.

TORRES, S. B.; MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de maxixe (*Cucumis anguria* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 108-112, 2001.

TUNES, L. V. M. de. et al. Qualidade fisiológica, sanitária e enzimática de sementes de arroz irrigado recobertas com silício. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.5, p. 675-685, set./out., 2014.

ULLMANN, R. et al. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.64-69, 2015.

VAZQUEZ, G. H.; BERTOLIN, D. C.; SPEGIORIN, C. M. Testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 18-24, jan./mar., 2011.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. O conceito de vigor em sementes. In: **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 1-13.

VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: Funep, p. 103-139, 1994.

WANG, X.; HUANG, R. Tomato stress-responsive factor TSRF1 interacts with ethylene responsive element GCC box and regulates pathogen resistance to *Ralstonia solanacearum*. **Plant Molecular biology**, v. 55, p. 825-834, 2004.

WILSON JR., D. O.; MCDONALD JR, M. B. The lipid peroxidation model of seed ageing. **Seed Science and Technology**, v. 14, n. 2, p. 269-300, 1986.

ZACHEO, G. et al. Analysis of Factors Influencing Lipid Oxidation of Almond Seeds during Accelerated Ageing. **Lebensm Wiss Technology**, v. 31, p. 6-9, 1998.

ZERAIK, A. E.; SOUZA, F. S.; FATIBELLO FILHO, O. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Química Nova**, v.31, p.731-734, 2008.

ZHU, Z. et al. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, v.167, p.527-533, 2004.





## **5 RECOMENDAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS**

O presente estudo envolvendo enzimas do sistema antioxidativo têm grande importância e serve como base para pesquisas mais avançadas envolvendo bioquímica e biologia molecular, para futuros estudos de adaptação de plantas à condições ambientais estressantes. Principalmente estudos com ênfase na área de sementes que possibilitem aos laboratórios de análise de sementes resultados confiáveis de testes rápidos para avaliar vigor de sementes e que esses resultados sejam aplicados na prática aos produtores que necessitam de qualidade e aumento de produtividade.

É necessário um progresso para determinar seus locais de produção celular e/ou a difusão no interior da célula dessas espécies reativas e ativas de oxigênio levando em conta os aspectos únicos da fisiologia do tecido da semente, em particular, as mudanças dramáticas na umidade e atividade metabólica que ocorrer ao longo da vida de uma semente. Elucidar os mecanismos subjacentes à interação dessas EROs em locais específicos é também um desafio para pesquisas futuras nesta área.

Essas investigações sem qualquer dúvida incentivam procurar alternativas para descobrir os mecanismos celulares envolvidos na germinação e eventos anteriores. Diante disso é incontestável a necessidade de utilizar outros tipos de análises, como a expressão gênica, em situações contrastantes usando os novos métodos desenvolvidos nos últimos anos, tais como, microarrays, polimorfismo do comprimento do fragmento e amplificação do DNA, e ferramentas de proteômica da biotecnologia, que estuda o conjunto de proteínas e suas isoformas contidas em uma amostra biológica, que servirão de auxílio para responder diversas perguntas e dúvidas específicas.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L. A. de. S. et al. Teste de condutividade elétrica na avaliação de sementes de girassol armazenadas sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 635-642, 2011.

ALFENAS, A. C. **Eletroforese de isoenzimas e proteínas afins: fundamentos e aplicações em plantas e microorganismos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, MG, 574p. 1998.

ALSCHER, R. G.; ERTURK, N.; HEATH, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 1331-1341, 2002.

AOSA (Association Of Official Seed Analysts) (ed). **Seed vigor testing handbook**. Contribution n. 32 to the Handbook on Seed Testing, 88p. 1983.

ÁVILA, M. R. et al. Testes de laboratório em sementes de canola e a correlação com a emergência das plântulas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p.62-70, 2005.

ÁVILA, P. F. V.; VILLELA, F. A.; ÁVILA, M. S. V. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação do potencial fisiológico de sementes de rabanete. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 52-58, 2006.

BARBOSA, R. M. et al. Condutividade elétrica em função do teor de água inicial de sementes de amendoim. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, jan, 2012.

BASAVARAJAPPA, B. S.; SHETTY, H. S.; PRAKASH, H. S. Membrane deterioration and other biochemical changes, associated with accelerated ageing of maize seeds. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 19, n. 2, p. 279-286, 1991.

BASU, R. N. Seed viability. In: BASRA, A. S. **Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications**. New York: The Haworth Press, p.1-42, 1995.

BERGMEYER, H. U.; GAWEHN, K.; GRASSL, M. Enzymes as biochemical reagents. In: BERGMEYER, H. U. **Methods of enzymatic analysis**. New York: Academic Press, 2. ed. p. 493-495, 1974.

BERJAK, P.; PAMMENTER, N. W. From *Avicennia* to *Zizania*: seed recalcitrance in perspective. **Annals of Botany**, Oxford, v. 101, p. 213-228, 2008.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 455p., 1994.

BOWLER, C.; VANMONTAGU, M.; INZÉ, D. Superoxide dismutase and stress tolerance. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 43, p. 83-116, 1992.

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

BURKART, A. et al. **Flora Ilustrada de Entre Rios – gramineae**. Buenos Aires, Argentina INTA, p. 442-738, 1969.

CAI, F. Lipid peroxidation and antioxidant responses during seed germination of *Jatropha curcas*. **Journal of Agriculture and Biology**, v. 13, p. 25-30, 2011.

CAKMAK, I. et al. Natural aging-related biochemical changes in alfafa (*Medicago sativa* L.) seeds stored for 42 years. **International Research Journal of Plant Science**, v. 1, p. 1-6, 2010.

CARDOSO, V. J. M. Germinação. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 386-408, 2004.

CARVALHO, E. R. et al. Alterações isoenzimáticas em sementes de cultivares de soja em diferentes condições de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 49, n. 12, p. 967-976, dez. 2014.

CARVALHO, L. F. de. Teste rápido de condutividade elétrica e correlação com outros testes de vigor. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 239-248, 2009.

CARVALHO, L. F. et al. Condicionamento osmótico em sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.22, n.1, p.185-192, 2000.

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

CASAROLI, D. et al. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de abóbora. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 13, n. 2, p. 97-107, 2006.

CHAITANYA, K. S. K.; NAITHANI, S. C. Role of superoxide, lipid peroxidation and superoxide dismutase in membrane perturbation during loss of viability in seeds of *Shorea robusta* Gaerth. **New Phytologist**, v. 126, p. 623-627, 1994.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v.2 - Safra 2014/15, n.5 - Quinto Levantamento, Brasília, p. 1-116, fev. 2015. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_02\\_12\\_08\\_59\\_27\\_boletim\\_graos\\_fevereiro\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_02_12_08_59_27_boletim_graos_fevereiro_2015.pdf)> Acesso em: 07 abr. 2015.

COOLBEAR, P. Mechanisms of seed deterioration. In: BASRA, A. S. (Ed.). **Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications**. New York: The Haworth Press Inc., p. 223-277 1995.

COSTA, P. de. S. C.; CARVALHO, M. L. M. de. Teste de condutividade elétrica individual na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**. v. 30, p. 92-96, 2006.

CUSTÓDIO, C. C. Testes rápidos para avaliação do vigor de sementes: uma revisão. **Colloquium Agrariae**, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2005.

DALANHOL, S. J. et al. Teste de condutividade elétrica em sementes de *Bowdichia virgilioides* Kunth. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 69-77, 2014.

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

DIAS, D. C. F. S.; MARCOS FILHO, J. Testes de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agrícola**. v. 53, p. 1-11, 1996.

EMBRAPA. Embrapa Milho e Sorgo. **Sistema de produção 2**. Sete Lagoas, MG, v. 2, 3 ed. 2003. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47291/1/Circ-1-Origem-importancia.pdf>>. Acesso em: 10 Abr. 2015.

EMYGDIO, B. M. Desempenho da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 visando a produção de etanol em dois ambientes contrastantes. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 45-51, 2011.

EVANS, L. T. **Crop evolution, adaptation, and yield.** Cambridge Univ. Press, Cambridge, 500p. 1993.

FAO. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Relatório: **Perspectivas agrícolas.** 2014. Disponível em: < [http:// www.fao.org](http://www.fao.org) > Acesso em: 15 Abr. 2015.

FAO. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Sorghum and millets in human nutrition.** Chapter 1: Introduction. FAO Food and Nutrition Series, No. 27, ISBN 92-5-103381-1. 1995. FAO Corporate Document Repository. <http://www.fao.org/docrep/T0818e/T0818E00.htm#Contents>. Acesso em: 15 de Abril de 2015.

FAO. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **The State of food Insecurity in the world,** 2003. Disponível em: < <http://www.fao.org> > Acesso em: 15 Abr. 2015.

FESSEL, S. A. et al. Uso de solução salina (NaCl) no teste de envelhecimento acelerado em sementes de brócolis (*Brassica oleracea* L. var. Italica Plenck). **Científica,** Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 27-34, 2005.

FONTANA, M. L. R. et al. Teorias demográficas e o crescimento populacional no mundo. **Ciências Humanas e Sociais Unit. Aracaju.** v. 2. n. 3. p. 113-124, 2015.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. **New Phytologist,** v. 146 p. 359-388, 2000.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Plant Physiology,** v. 119, p. 355-364, 2003.

FRIC, F. Oxidative enzymes. In: HEITEFUSS, R.; WILLIAMS, P. H. (Ed.). **Physiological plant pathology.** New York: Springer-Verlag, p. 617-631, 1976.

FRIDOVICH, I. Superoxide dismutases. In: **Advances in enzymology and related areas of molecular biology.** v. 58, p. 61-97, 1986.

FRY, S. C. Cross-linking of matrix polymers in growing cell wall of angiosperms. **Annual Review of Plant Physiology,** v. 37, p. 165-186, 1986.

GASPAR, C. M.; NAKAGAWA, J. Teste de condutividade elétrica em função do período e da temperatura de embebição para sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 2, p. 82-89, 2002.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; WYMAN, C. E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. **Bioresour Technol**, v. 96 p. 985-1002, 2005.

GOLDBERG, R.; LÊ, T.; CATESSON, A. M. Localization and proprieties of cell wall enzyme activities related to the final stages of lignin biosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 36, p. 503-510, 1985.

HAMPTON, J. G.; COOLBEAR, P. Potential versus actual seed performance - can vigour testing provide an answer? **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 18, n. 2, p. 215-228, 1990.

HARMAN, D. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry. **J Gerontol**, v. 11, p. 298-300, 1956.

HENDRY, G. A. F. et al. Free radical processes and loss of seed viability during desiccation in the recalcitrant species *Quercus robur* L. **New Phytologist**, v. 122, p. 273-279, 1992.

HENDRY, G. A. F. Oxygen, free radical processes and seed longevity. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 3, n. 2, p. 141- 153, 1993.

HEPBURN, H. A.; POWELL, A. A.; MATTHEWS, S. Problems associated with the routine application of electrical conductivity measurements of individual seeds in the germination testing of peas and soybeans. **Seed Science Technology**. v. 12, p. 403-413, 1984.

HOAGLAND, R. E. Biochemical responses of plants to pathogens. In: HOAGLAND, R. E. (Ed.). **Microbes and microbial products as herbicides**. Washington: Americal Chemical Society, p.87-113, 1990.

HOEKSTRA, F. A. et al. Desiccation Tolerance and Long Term Structural Stability. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SEEDS. **Basic and applied aspects of seed biology**, v. 5, 1995. Proceedings. Reading: University of Reading, p. 1-12, 1996.

IBRAHIM, A. E.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Accelerated aging techniques for evaluating sorghum seed vigor. **Journal of Seed Technology**, Lincoln, v.17, n.1, p.29-37, 1993.



ISTA. International Seed Testing Association. International Rules for Testing Seeds, 2004. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 32, 403p, 2004.

JIANHUA, Z.; MCDONALD, M. D. The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 25, n. 1, p. 123-131, 1996.

KALOYEREAS, S. A. Rancidity as a factor in loss of viability in pine and other seeds. **Journal of Oil Chemists' Society**, v. 35, p. 176-179, 1958.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relato dos testes de vigor disponíveis para as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 15-37, 1991.

KRZYZANOWSKI, F. C., VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, Comitê de Vigor de Sementes. 218p. 1999.

LEÓN, A. M.; et al. Antioxidative enzymes in cultivars of peppers plants with different sensitivity to cadmium. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 40, p. 813-820, 2002.

LEPRINCE, O. et al. The involvement of respiration in free radical processes during loss of desiccation tolerance in germinating *Zea mays* L. An electron paramagnetic resonance study. **Plant Physiology**, v. 104, p. 1333-1339, 1994.

LI, C.; SUN, W. Q. Desiccation sensitivity and activities of free radical scavenging enzymes in recalcitrant *Theobroma cacao* seeds. **Seed Science Research**, v. 9, p. 209-217, 1999.

LIPINSKI, E. S.; KRESOVICH, S. Sugar crops as a solar energy converters. **Experientia**, v.38, p.13-7, 1982.

LOEFFLER, T. M.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality. **Journal of Seed Technology**, Lansing, v. 12, n. 1, p. 37-53, 1988.

LOPES, R. R.; FRANKE, R. B. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de azevém (*Lolium multiflorum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p. 123-130, 2010.

MACEDO, I. C. **Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation.** (Project ME-T1007-ATN/DO-9375-ME), Activity 6: Potentials in Relation to Sustainability Criteria, SENER/BID, México, 2006.

MACEDO, I. C. Situação atual e perspectivas do etanol. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 157-165, 2007.

MAEDA, J. A.; SAWAZAKI, E. Fatores que afetam a qualidade de sementes de sorgo: Cultivares e localidades. **Bragantia**, v. 41, n. 10, 1982.

MAGRO, F. O. et al. Teste de condutividade elétrica para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de brócolis. **Nucleus**, v. 8, n. 1, 2011.

MAIA, J. A. et al. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n.2, p. 342-349, 2012.

MALLICK, N.; MOHN, F. H. Reactive oxygen species: response of alga cells. **Journal of Plant Physiology**, v. 157, p. 183-193, 2000.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** Piracicaba: FEALQ. 495p. : il. Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, v. 12, 2005.

MARCOS FILHO, J. Pesquisa sobre vigor de sementes de hortaliças. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 11, n. 3, p. 63-75, 2001.

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

MARCOS FILHO, J. Utilização de testes de vigor em programas de controle de qualidade de sementes. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.4, n. 2, p. 33-35, 1994b.

MARCOS FILHO, J.; CICERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade das sementes.** Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MARCOS FILHO, J.; SILVA, W. R. da; NOVEMBRE, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Estudo comparativo de métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja, com ênfase ao teste de condutividade elétrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1805-1815, 1990.

MARINI, P. M. et al. Indicativos da perda de qualidade de sementes de arroz sob diferentes temperaturas através da atividade enzimática e respiratória. **Interciencia**, v. 38, n. 1, 2013.

MARQUES, M. A.; PAULA, R. C.; RODRIGUES, T. J. D. Efeito do número de sementes e do volume de água na condutividade elétrica de sementes de *Dalbergia nigra* (vell.) Fr.all. Ex benth. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 254-262, 2002.

MARTINS, A. B. N. et al. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino em função do espaçamento e densidade de plantas. 12ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa. **Congrega, URCAMP**, 2014.

MATTHEWS, S.; BRADNOCK, W. T. The detection of seed samples of wrinkle-seeded peas of potentially low planting value. **Proceedings of the International Seed Testing Association**, v. 32, n. 2, p. 553-563, 1967.

MATTHEWS, S.; POWELL, A. A. Electrical conductivity test. In: PERRY, D.A. (Ed.) **Handbook of vigour test methods**. Zurich: ISTA, p.37-42, 1981.

MATTIONI, N. M. et al. Individual electrical conductivity test for the assessment of soybean seed germination. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 31-38, jan./fev. 2015.

MAY, A. et al. Fito-hormônios no desenvolvimento vegetativo e germinação das sementes de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.1, p. 33-43, 2013.

MCDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science and Technology**, v.27, n.1, p.177-237, 1999.

MCDONALD, M. B. Standardization of seed vigour tests. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION, 24. **Proceedings of the International Seed Testing Association**. Copenhagen: ISTA. p.88-97, 1995.

MCDONALD, M. B. A review and evaluation of seed vigor tests. **Proceedings of the International Seed Testing Association**. Lansing, v.65, n. 1, p. 109-139, 1975.

MCDONALD, M. B.; PHANNENDRANATH, B. R. A modified accelerated aging seed vigor test for soybeans. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 3, n.1, p. 27-37, 1978.

MEI, Y.; SONG, S. Response to temperature stress of reactive oxygen species scavenging enzymes in the cross-tolerance of barley seed germination. **Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)**, v.11, p.965-972, 2010.

MERTZ, L. M. et al. Condutividade elétrica individual para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo. **Informativo ABRATES**. v. 22, n. 1, 2012.

MIRANDA, D. M.; NOVENBRE, A. D. L. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de sorgo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 226-31, 2001.

MURPHY, J. B.; NOLAND, T. L. Temperature effects on seed imbibition and leakage mediated by viscosity and membranes. **Plant Physiology**, Rockville, v. 69, n. 2, p. 428-431, 1982.

NETTO, D. A. M. et al. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) moench.) danificadas após armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 2, p. 342-348, 1977.

NTULI T. M. et al. Increased drying rate lowers the critical water content for survival in embryonic axes of English oak (*Quercus robur* L.) seeds. **Journal Integrative Plant Biology**, v. 53, p. 270-280, 2010.

NTULI, T. M.; NTULI, B. P.; PAMMENTER, N. W. Tissue diversity in respiratory metabolism and free radical processes in embryonic axes of the white mangrove (*Avicennia marina* L.) during drying and wet storage. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, p. 1813-1823, 2014.

NTULI, T. M.; PAMMENTER, N. W.; BERJAK, P. Increasing the rate of drying reduces metabolic imbalance, lipid peroxidation and critical water content in radicles of garden pea (*Pisum sativum* L.). **Biological Research**, v. 46, p. 121-130, 2013.

NUNES, S. C. P. **Produção e qualidade de sementes de sorgo sacarino em diferentes arranjos e épocas na região central do rio grande do sul**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 76p. 2015.

PERRY, D. A. Report of the vigour test committee 1977-1980. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 9, n. 1, p. 115-126, 1981.

PETRINI, J. A.; FERNANDEZ, D.; ZONTA, E. P. Testes de vigor para predizer a emergência de sorgo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 23, n. 6, p. 593-598, junho 1988.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 2 ed. 289 p. 1985.

POPINIGIS, F. **Fisiologia de sementes**. Brasília: AGIPLAN, 1 ed. 289p. 1977.

POWELL, A. A. The controlled deterioration test. In: VAN DE VENTER, H. A. (Ed.). **Seed vigour testing seminar**. Copenhagen: ISTA, p. 73-87, 1995.

POWELL, A. A.; KRUISE, M. **Vigour committee report activities (2001-2004)**. International Seed Testing association, 2001. Disponível em <http://www.seedtest.org>.>Acesso em: 4 jun. 2015.

RECH, E. G.; VILLELA, F. A.; TILLMANN, M. A. A. Avaliação rápida da qualidade fisiológica de sementes de ervilha. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 2, p. 1-9, 1999.

SANDERSON, M. A. et al. Silage sorghum performance trial at Stephenville. **Forage Research in Texas**. Report PR-5018. Texas Agricultural Experimental Station, Stephenville, USA. 1992.

SANTOS, C. M. R.; MENEZES, N. L. de; VILLELA, F. A. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, 2004.

SCANDALIOS, J. G. Regulation and properties of plant catalases. **In Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defence Systems in Plants** (Foyer, Ch.H. and Mullineaux, Ph.M., eds). Boca Raton, FL: CRC Press, p. 275-315, 1994.

SCANDALIOS, J. G.; ACEVEDO, A.; RUZSA, S. Catalase gene expression in response to chronic high temperature stress in maize. **Plant Science**, v. 156, p. 103-110, 2000.

SILVA, J. B.; VIEIRA, R. D. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de beterraba. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 128-134, 2006.

SILVA, T. T. A. **Qualidade de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) durante a maturação, secagem e armazenamento**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras. 125p. 2010.

SILVA, V. N. et al. Condução do teste de condutividade elétrica utilizando partes de sementes de feijão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 206-213, 2014.

SOARES, M. M. et al. Testes para avaliação do vigor de sementes de sorgo com ênfase à condutividade elétrica. **Ciênc. agrotec. Lavras**, v. 34, n. 2, p. 391-397, mar./abr., 2010.

SOUZA, F. H. D.; MARCOS FILHO, J. Estudo comparativo de métodos para a avaliação do vigor de sementes de sorgo (*Sorghum vulgare* Pers). **Anais da Escola Superior de Agricultura** “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, v. 32, p. 369-383, 1975.

SOUZA, L. A. **Teste de condutividade elétrica individual na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mamona**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, MG. 53p, 2007.

STEERE, W. C.; LEVENGOOD, W. C.; BONDIE, J. M. An electrical analyser for evaluating seed germination and vigour. **Seed Science Technology**. v. 9, p. 567-576, 1981.

SWAMY, P. M.; NARASIMHA REDDY, S. B. Changes in the leakage of electrolytes from groundnut seeds (*Arachis hypogaea*) during after-ripening. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 5, n. 4, p. 645-648, 1977.

TEIXEIRA, C.G.; JARDINE, J. G.; BEISMAN, D.A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n.3, p. 221-229, 1997.

TEKRONY, D. M. Precision is an essential component in seed vigour testing. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 31, n. 2, p. 435-447, 2003.

TEKRONY, D. M. Accelerated ageing test. In: VAN DE VENTER, H. A. (Ed.). **Seed Vigour Testing Seminar**. Copenhagen: ISTA, p. 53-72, 1995.

TORRES, S. B. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo através o teste de estresse hídrico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 31-35, 1997.

TORRES, S. B.; MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de maxixe (*Cucumis anguria* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 108-112, 2001.

CENSUS BUREAU, U. S. **Statistical Abstract of the United States** 2004. Disponível em: <<http://www.census.gov>>. Acesso em: 15 Abr. de 2015.

VAZQUEZ, G. H.; BERTOLIN, D. C.; SPEGIORIN, C. M. Testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 18-24, jan./mar., 2011.

VIEIRA, B. G. T. L. **Alterações histológicas e potencial fisiológico de sementes de soja**. Tese (Doutorado em Agronomia). Produção e Tecnologia de Sementes, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 67p. 2009.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. de; SADER, R. Testes de vigor e suas possibilidades de uso. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. de. **Testes de vigor em sementes**. FUNEP, Jaboticabal, SP, p. 31-47, 1994.

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

WILSON, D. O.; MCDONALD, M.B. The lipid peroxidation model of seed ageing. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 14, p. 269-300, 1986.

## 7 APÊNDICES

Apêndice A- Resumo da análise de variância da caracterização da qualidade fisiológica inicial para o experimento de condutividade elétrica massal e individual, para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS), emergência de plântulas a campo (EC), de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

FV	GL	Quadrados médios						
		G	PC	Frio	CE	CR	MS	EC
BRS 506								
Lote	3	53,857	112,445*	41,553	0,128	2,290	0,014	36,375
Resíduo	28	25,829	33,509	20,491	0,201	1,530	0,011	26,237
CV (%)		7,64	9,13	7,23	5,98	8,87	7,49	8,29
F-19								
Lote	3	22,190	32,753	88,027*	0,607	2,676*	0,018	21,474
Resíduo	28	12,747	16,888	18,232	0,451	0,898	0,013	16,812
CV (%)		4,99	6,10	6,38	9,40	6,60	7,66	6,15

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice B- Resumo da análise de variância da caracterização da qualidade fisiológica inicial para o experimento do envelhecimento acelerado, para germinação (G), primeira contagem (PC), teste de frio (Frio), comprimento de epicótilo (CE), comprimento de radícula (CR), massa seca (MS), emergência de plântulas a campo (EC), de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino para as cultivares BRS 506 e Fepagro F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

FV	GL	Quadrados médios						
		G	PC	Frio	CE	CR	MS	EC
BRS 506								
Lote	3	47,014	35,981	6,945	0,351*	1,672*	0,023*	36,375
Resíduo	28	38,120	35,904	12,352	0,070	0,462	0,006	26,237
CV (%)		9,47	9,43	5,83	5,11	11,54	5,22	8,29
F-19								
Lote	3	118,798	125,876*	56,741	1,476*	8,078*	0,007	21,474
Resíduo	28	33,137	29,303	47,998	0,226	1,969	0,009	16,812
CV (%)		8,04	7,79	10,06	7,96	12,74	6,01	6,15

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro.



Apêndice C- Resumo da análise de variância da condutividade elétrica massal (CEM) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

FV	BRS 506		FV	F-19	
	GL	CEM		GL	CEM
		Quadrados médios			Quadrados médios
Embebição	5	47321,943272*	Embebição	5	35436,328367*
Volume	1	115352,168556*	Volume	1	68255,348718*
Semente	1	16238,209702*	Semente	1	10115,821269*
Temperatura	2	959,846737*	Temperatura	2	3705,646060*
Lote	3	2755,069868*	Lote	3	3153,589599*
Emb x Vol	5	1741,256816*	Emb x Vol	5	930,917592*
Emb x Sem	5	41,822925*	Emb x Sem	5	11,717778
Emb x Temp	10	398,739548*	Emb x Temp	10	358,562137*
Emb x Lote	15	71,918998*	Emb x Lote	15	118,528507*
Vol x Sem	1	3241,974209*	Vol x Sem	1	2614,500769*
Vol x Temp	2	271,320944*	Vol x Temp	2	86,059201*
Vol x Lote	3	103,613694*	Vol x Lote	3	158,596752*
Sem x Temp	2	4790,325019*	Sem x Temp	2	1638,931189*
Sem x Lote	3	18,922531	Sem x Lote	3	312,610815*
Temp x Lote	6	113,929006*	Temp x Lote	6	185,324969*
Emb x Vol x Sem	5	16,581636	Emb x Vol x Sem	5	18,081187
Emb x Vol x Temp	10	131,404076*	Emb x Vol x Temp	10	85,374576*
Emb x Vol x Lote	15	17,493557	Emb x Vol x Lote	15	6,742909
Emb x Sem x Temp	10	22,677801*	Emb x Sem x Temp	10	22,317469
Emb x Sem x Lote	15	6,717486	Emb x Sem x Lote	15	8,840355
Emb x Temp x Lote	30	37,180285*	Emb x Temp x Lote	30	5,069856
Vol x Sem x Temp	2	957,404803*	Vol x Sem x Temp	2	557,162003*
Vol x Sem x Lote	3	11,000230	Vol x Sem x Lote	3	92,062962*
Vol x Temp x Lote	6	74,684477*	Vol x Temp x Lote	6	82,640899*
Sem x Temp x Lote	6	232,002940*	Sem x Temp x Lote	6	72,894808*
Emb x Vol x Sem x Temp	10	37,435381*	Emb x Vol x Sem x Temp	10	7,660282
Emb x Vol x Sem x lote	15	3,497437	Emb x Vol x Sem x lote	15	7,745540
Emb x Sem x Tem x Lote	30	7,363125	Emb x Sem x Tem x Lote	30	3,986675
Emb x Vol x Temp x Lote	30	10,460266	Emb x Vol x Temp x Lote	30	5,873768
Vol x Sem x Temp x Lote	6	134,140171*	Vol x Sem x Temp x Lote	6	109,757010*
Emb x Vol x Sem x Temp x Lote	30	10,465777	Emb x Vol x Sem x Temp x Lote	30	6,259835
Resíduo	2016	12,074070	Resíduo	2016	12,523059
CV (%)		10,70	CV (%)		13,24

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice D- Resumo da análise de variância da condutividade elétrica individual (CEI) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

FV	GL	Quadrados médios					
		CEI 2H	CEI 4H	CEI 6H	CEI 8H	CEI 12H	CEI 24H
BRS 506							
Lote	3	1,217*	1,487	2,832	4,857	1,878	9,863*
Resíduo	28	0,383	0,676	1,505	2,160	2,760	2,438
CV (%)		42,42	27,91	29,43	30,42	27,33	18,49
FV	GL	Quadrados médios					
		CEI 2H	CEI 4H	CEI 6H	CEI 8H	CEI 12H	CEI 24H
F-19							
Lote	3	0,661*	4,379*	10,387*	10,138*	21,921*	37,729*
Resíduo	28	0,125	0,313	0,753	1,590	1,832	2,794
CV (%)		53,86	34,30	32,94	34,59	31,22	23,91

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice E- Resumo da análise de variância da primeira contagem de plântulas normais (PC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, referentes ao experimento de envelhecimento acelerado, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

BRS 506			F-19		
FV	GL	PC	FV	GL	PC
Quadrados médios			Quadrados médios		
Lote	3	70,4288263	Lote	3	2589,606481*
Temperatura	2	11445,554144*	Temperatura	2	26510,097222*
Tempo	2	14321,870025*	Tempo	2	27971,763889*
Lote x Tempo	6	158,969646*	Lote x Tempo	6	219,912037*
Lote x Temperatura	6	65,399234	Lote x Temperatura	6	361,745370*
Tempo x Temperatura	4	1608,734090*	Tempo x Temperatura	4	5206,326389*
Lote x Tempo x Temperatura	12	89,689151*	Lote x Tempo x Temperatura	12	153,613426*
Resíduo	252	40,935895	Resíduo	252	73,228175
CV (%)		12,68	CV (%)		12,10

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice F- Resumo da análise de variância da primeira contagem de plântulas normais (PC) de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, referentes à testemunha (sem envelhecimento acelerado) das enzimas, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

BRS 506			F-19		
FV	GL	PC	FV	GL	PC
Quadrados médios			Quadrados médios		
Lote	3	12,517844	Lote	3	49,837342*
Resíduo	28	15,331930	Resíduo	28	9,806126
CV (%)		5,80	CV (%)		4,37

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice G- Resumo da análise de variância da atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e guaiacol peroxidase (POD) da raiz e parte aérea, de quatro lotes de sementes de sorgo sacarino, para as cultivares BRS 506 e F-19. UFSM, Santa Maria, 2015.

SOD BRS 506			POD BRS 506		
Raiz			Raiz		
FV	GL	Quadrados médios CE	FV	GL	Quadrados médios CE
Tratamento	6	0,293548*	Tratamento	6	0,002127*
Lote	3	0,313699*	Lote	3	0,000594*
Trat x Lote	18	0,084951	Trat x Lote	18	0,000206
Resíduo	84	0,078214	Resíduo	84	0,000133
CV (%)		37,94	CV (%)		21,31

SOD BRS 506			POD BRS 506		
Parte aérea			Parte aérea		
FV	GL	Quadrados médios CE	FV	GL	Quadrados médios CE
Tratamento	6	0,676972*	Tratamento	6	0,000175*
Lote	3	0,109271	Lote	3	0,000080
Trat x Lote	18	0,070538	Trat x Lote	18	0,000094*
Resíduo	84	0,090066	Resíduo	84	0,000051
CV (%)		24,25	CV (%)		24,67

SOD F-19			POD F-19		
Raiz			Raiz		
FV	GL	Quadrados médios CE	FV	GL	Quadrados médios CE
Tratamento	6	0,107740	Tratamento	6	0,000907*
Lote	3	0,091573	Lote	3	0,000509*
Trat x Lote	18	0,108476*	Trat x Lote	18	0,000103
Resíduo	84	0,057041	Resíduo	84	0,000083
CV (%)		29,79	CV (%)		15,41

SOD F-19			POD F-19		
Parte aérea			Parte aérea		
FV	GL	Quadrados médios CE	FV	GL	Quadrados médios CE
Tratamento	6	0,341065*	Tratamento	6	0,000291*
Lote	3	0,302881*	Lote	3	0,000059
Trat x Lote	18	0,191683*	Trat x Lote	18	0,000045
Resíduo	84	0,094799	Resíduo	84	0,000040
CV (%)		27,91	CV (%)		20,41

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro.