

**VAGNER LUDWIG**

**ATMOSFERA CONTROLADA E TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO NA  
QUALIDADE FISIOLÓGICA E QUÍMICA DE SEMENTES E GRÃOS DE SOJA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Auri Brackmann

Santa Maria, RS  
2019



Ludwig, Vagner  
ATMOSFERA CONTROLADA E TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO  
NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E QUÍMICA DE SEMENTES E GRÃOS DE  
SOJA / Vagner Ludwig.- 2019.  
94 p.; 30 cm

Orientador: Auri Brackmann  
Coorientador: Ubirajara Russi Nunes  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2019

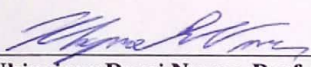
1. Germinação 2. Potencial de armazenamento 3.  
Manutenção da qualidade I. Brackmann, Auri II. Russi  
Nunes, Ubirajara III. Título.


Vagner Ludwig

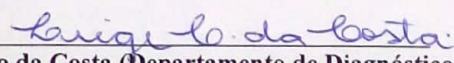
**ATMOSFERA CONTROLADA E TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO NA  
QUALIDADE FISIOLÓGICA E QUÍMICA DE SEMENTES E GRÃOS DE SOJA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia

Aprovado em 17 de julho de 2019:

  
Ubirajara Russi Nunes, Prof. Dr. (UFSM)  
(Presidente/Co-Orientador)

  
Vanderlei Both, Prof. Dr. (UFSM)  
(Examinador)

  
Liege Camargo da Costa (Departamento de Diagnóstico e Pesquisa)  
(Examinador)

## DEDICATÓRIA

Dedico todas minhas conquistas à minha família:

José Vinício Ludwig,  
Terezinha Glorete Lanes Ludwig,  
Camila Portela Rossato,  
Théo Rossato Ludwig

## **AGRADECIMENTOS**

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

A CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao professor Dr. Auri Brackmann pela orientação durante a minha Graduação e Pós-Graduação.

Ao professor Dr. Vanderlei Both, agradeço pela colaboração, disposição, sugestões e empréstimos de reagentes e equipamentos.

A Dra. Liege Camargo da Costa, por aceitar o convite para fazer parte da banca examinadora e por suas contribuições à dissertação.

Aos colegas de pós-graduação Fabio, Suele, Erani, Magno, Thays pelas contribuições na elaboração da dissertação.

A todos os colegas de iniciação científica do Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita pela ajuda na condução dos experimentos.

À Fepagro e seus funcionários pela disponibilização das sementes.

## RESUMO

### ATMOSFERA CONTROLADA E TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E QUÍMICA DE SEMENTES E GRÃOS DE SOJA

AUTOR: Vagner Ludwig

ORIENTADOR: Auri Brackmann

No Brasil atualmente existe um déficit de infraestrutura para armazenamento de semente e grãos de soja, adequado para manter a qualidade fisiológica de sementes e qualidade química de grãos. A redução da pressão parcial de oxigênio ( $O_2$ ) e aumento da pressão parcial de gás carbônico ( $CO_2$ ), podem reduzir a perda do potencial fisiológico das sementes e a qualidade de grãos de soja durante o armazenamento, devido à redução da respiração e degradação lipídica. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de concentrações de  $O_2$  e  $CO_2$  em atmosfera controlada combinado com diferentes temperaturas sobre a manutenção do potencial fisiológico de sementes e características químicas de grãos de soja. No ano de 2017, sementes das cultivares Brasmax Desafio RR e TEC IRGA 6070 RR foram armazenadas durante sete meses nas seguintes condições: [1] ambiente; [2] 1,0 kPa  $O_2$  + 0,04 kPa  $CO_2$ ; [3] 2,0 kPa  $O_2$  + 0,04 kPa  $CO_2$ ; [4] 2,0 kPa  $O_2$  + 30 kPa  $CO_2$ ; [5] 2,0 kPa  $O_2$  + 80 kPa  $CO_2$ . Em 2018 foram utilizadas as cultivares NA 5909 RR e c, cujas sementes foram mantidas durante sete meses nas seguintes condições [1] ambiente; [2] 1,0 kPa  $O_2$  + 0,04 kPa  $CO_2$ ; [3] 1,0 kPa  $O_2$  + kPa 15  $CO_2$ ; [4] 1,0 kPa  $O_2$  + 30 kPa  $CO_2$ ; [5] 2,0 kPa  $O_2$  + 0,04 kPa  $CO_2$ . Nos dois anos as cultivares foram armazenadas nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C. Para determinar a qualidade fisiológica das sementes os seguintes parâmetros foram avaliados: teste padrão de germinação, emergência entre areia, emergência a campo, comprimento e massa seca da parte aérea e radicular e condutividade elétrica. Para a avaliação da qualidade química foram realizados índice de peróxidos, índice de acidez e compostos voláteis dos grãos moídos. A condição de 1,0 kPa  $O_2$  manteve maior porcentagem de germinação após sete meses de armazenamento, não sendo recomendado utilizar temperatura superior a 25 °C. Em todas as temperaturas o uso de alta pressão parcial de  $CO_2$  (15 e 30 kPa) não apresentou efeitos positivos no potencial fisiológico das sementes em todas as cultivares. Na temperatura de 20 °C todas as cultivares alcançaram o padrão mínimo de germinação exigido pela legislação, quando armazenadas em atmosfera controlada. A temperatura de 25 °C não é recomendada para o armazenamento da cultivar Brasmax Desafio RR, independente da condição de atmosfera controlada. A cultivar NA 5909 RR atende o padrão de germinação em todas as temperaturas utilizadas no estudo e a condição ar ambiente (sem controle da atmosfera) não é recomendada para armazenar essa cultivar na temperatura de 25 e 30 °C. Os índices de peróxidos e de acidez foram maiores nos grãos armazenados na condição ar ambiente, evidenciando maior deterioração da qualidade do óleo. Além disso, o composto trans-2-hexenal apresentou correlação com o índice de acidez e peróxidos, podendo ser um importante marcador da oxidação lipídica de grãos de soja.

**Palavras-chave:** Germinação. Potencial de armazenamento. Manutenção da qualidade.

## ABSTRACT

# PHYSIOLOGICAL AND CHEMICAL QUALITY OF SOYBEAN SEEDS MERRIL STORED IN CONTROLLED ATMOSPHERE SUBMITTED AT DIFFERENT TEMPERATURES

AUTHOR: Vagner Ludwig  
ADVISOR: Auri Brackmann

In Brazil, there is a deficit of soybean and grain storage capacity to maintain seed physiological quality and chemical grain quality. Reduction of partial oxygen pressure ( $O_2$ ) and increase of carbon dioxide partial pressure ( $CO_2$ ) could maintain seed physiological potential and soybean grain quality during storage, due to reduced respiration and lipid degradation. The objective of this work was to evaluate the effect of different concentrations of oxygen ( $O_2$ ) and carbon dioxide in controlled atmosphere combined with different temperatures on the maintenance of the physiological potential of seeds and chemical characteristics of soybean grains. In the year 2017, the cultivars Brasmax Desafio RR and TEC IRGA 6070 RR were used. The seeds were kept for seven months under the following conditions [1] environment; [2] 1.0 kPa  $O_2$  + 0.04  $CO_2$ ; [3] 2.0 kPa  $O_2$  + 0.04  $CO_2$ ; [4] 2.0 kPa  $O_2$  + 30  $CO_2$ ; [5] 2.0 kPa  $O_2$  + 80  $CO_2$ . In 2018 the cultivar NA 5909 RR and Fepagro 37 RR were used. The seeds were kept for 7 months under the following conditions [1] environment; [2] 1.0 kPa  $O_2$  + 0.04  $CO_2$ ; [3] 1.0 kPa  $O_2$  + 15  $CO_2$ ; [4] 1.0 kPa  $O_2$  + 30  $CO_2$ ; [5] 2.0 kPa  $O_2$  + 0.04  $CO_2$ . In both years the cultivars were stored at temperatures of 20, 25 and 30 °C. For seed physiological quality evaluation the following parameters were evaluated: germination standard test, sand emergence, field emergence, shoot and root length and dry mass and electrical conductivity. For the chemical quality evaluation, peroxide index, acidity index and volatile compounds of the ground grains were evaluated. The condition of 1.0 kPa  $O_2$  maintained higher percentage of germination after seven months of storage, however it is not recommended to use a temperature above 25 °C during storage. Higher partial pressure of  $CO_2$  did not present positive effects on the physiological potential of the seeds of cultivars TEC IRGA 6070 RR, Brasmax Desafio RR and Fepagro 37 RR. At 20 °C all cultivars reached the minimum germination standard, according to the legislation. The temperature of 25°C is not recommended for Brasmax Desafio RR storage, regardless of the controlled atmosphere condition. The cultivar NA 5909 RR reached the germination pattern at all temperatures used in the study and the ambient air condition (without controlled atmosphere) is not recommended to store this cultivar at 25 e 30 °C . The peroxide and acidity indexes were higher in grains stored at ambient air condition, evidencing more deterioration of the oil quality. In addition, the compound trans-2-hexenal showed high correlation with the acid and peroxide indexes, and may be an important marker of lipid oxidation of soybean grains.

**Keywords:** Germination. Storage potential. Quality maintenance.



## LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1.....	31
Tabela 1 - Temperatura e níveis de oxigênio e gás carbônico no armazenamento em atmosfera controlada de sementes de soja cvs. Brasmax Desafio RR e TEC IRGA 6070 RR. Santa Maria, 2017.....	37
Tabela 2 - Temperatura e níveis de oxigênio e gás carbônico no armazenamento em atmosfera controlada de sementes de soja cvs. NA 5909 RR e Fepagro 37 RR. Santa Maria, 2018. ....	38
ARTIGO 2.....	59
Tabela 1 - Temperatura e níveis de oxigênio e gás carbônico no armazenamento em atmosfera controlada de grãos de soja cvs. Brasmax Desafio RR e TEC IRGA 6070 RR. Santa Maria, 2017.....	67
Tabela 2 - Temperatura e níveis de oxigênio e gás carbônico no armazenamento em atmosfera controlada de grãos de soja cvs. NA 5909 RR e Fepagro 37 RR. Santa Maria, 2018. ....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

GC-MS	Cromatógrafo a gás acoplado à espectrômetro de massa
%	Porcentagem
µL	Micro litro
µS	Micro siemens
AC	Atmosfera controlada
ATPase	Adenosina trifosfato sintase
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
CPA	Comprimento parte aérea
CR	Comprimento raiz
DNA	Ácido desoxirribonucléico
EC5	Emergência a campo cinco dias
EC8	Emergência a campo oito dias
EEA5	Emergência entre areia contagem cinco dias
EEA8	Emergência entre areia contagem oito dias
EROS	Espécie reativa de oxigênio
EST	Esterase
eV	Eletro volt
FID	Flame ionization detector
g	Gramma
h	Hora
HO <sup>·</sup>	Radical hidroxila
HPEDE	Ácido hidroperoxi-octadecadienoico
HPOTE	Ácido hidroperoxi-octadecatrienoico
IA	Índice de acidez
IP	Índice de peróxidos
Kg	Quilograma
kPa	Quilo Pascal
L	Litro
M	Molar

MDH	Malato desidrogenase
meq	Mili equivalente
ml	Mili litro
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
Mt	Milhões de toneladas
N <sub>2</sub>	Nitrogênio
NADPH	Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato
O <sub>2</sub>	Oxigênio
°C	Temperatura em graus Celsius
PCI	Principal componente I
PCII	Principal componente II
RNA	Ácido ribonucléico
RNA <sub>m</sub>	Ácido ribonucleico mensageiro
Rpm	Rotação por minuto
RR	Roundup Ready
s	Segundo
TPG5	Teste padrão de germinação contagem aos cinco dias
TPG8	Teste padrão de germinação contagem aos oito dias
UR	Umidade relativa
PUFAs	Polyunsaturated fatty acid
<sup>1</sup> O <sub>2</sub>	Oxigênio singleto

## LISTA DE FIGURAS

Artigo 1.....	41
Figura 1 - Teste padrão de germinação primeira contagem, de plântulas oriundas de sementes de soja, armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. ....	41
Figura 2 - Teste padrão de germinação segunda contagem, de plântulas oriundas de sementes de soja, armazenadas durante sete meses, safra 2017-2018. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.....	44
Figura 3 - Emergência entre areia primeira contagem (EEA5) de plântulas oriundas de sementes de soja, armazenadas durante sete meses. *Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. ....	45
Figura 4 - Emergência entre areia segunda contagem (EEA8), de plântulas oriundas de sementes de soja, armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. ....	47
Figura 5 - Emergência a campo primeira contagem, de plântulas oriundas de sementes de soja, armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.....	48
Figura 6 - Emergência a campo segunda contagem de plântulas oriundas sementes de soja armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.....	49
Figura 7 - Comprimento da parte aérea de plântulas de soja oriundas de sementes armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.....	51
Figura 8 - Comprimento da raiz de plântulas de soja oriundas de sementes armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. ....	52
Figura 9 - Massa seca da parte aérea de plântulas de soja oriundas de sementes armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. **ns: não significativo. Barras de erros representam o desvio padrão. ....	54

Figura 10 - Massa seca da raiz de plântulas de soja oriundas de sementes armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. ....	55
Figura 11 - <i>Heat map</i> mostrando a matriz de correlação de Pearson, entre parâmetros da qualidade fisiológica de sementes de soja armazenadas por sete meses. a) Brasmax Desafio RR, b) TEC IRGA 6070 RR, c) Fepagro 37 RR e d) NA 5909 RR.....	58
Figura 12 - Condutividade elétrica de sementes de soja armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.....	58
Artigo 2.....	6
Figura 1 - Índice de peróxidos e acidez de grãos de soja cv. TEC IRGA 6070 RR (a e b) e cv. Brasmax Desafio RR (c e d) armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e barras com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. 74	
Figura 2 - Índice de peróxidos e acidez de grãos de soja cv. NA 5909 RR(a, b) e cv. Fepagro 37 RR (c, d) armazenadas durante sete meses. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e barras com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.....	75
Figura 3 - Esquema simplificado da degradação de lipídios (autooxidação, lipoxigenase) e seus respectivos compostos voláteis em grãos de soja moídos da cultivar Fepagro 37 RR. Linha pontilhada: precede várias etapas catalíticas, Linha contínua: Reação mediada pela enzima lipase e/ou fosfolipase. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e barras com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. ns= não significativo. ....	78
Figura 4 - Esquema simplificado da degradação de lipídios (autooxidação, lipoxigenase) e seus respectivos compostos voláteis de grãos de soja moídos da cultivar NA 5909 RR. Linha pontilhada: precede várias etapas catalíticas, Linha contínua: Reação mediada pela enzima lipase e/ou fosfolipase. * Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e barras com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. ns = não significativo. ....	79
Figura 5 - Análise de componentes principais (ACP) mostrando os dois principais componentes (Variáveis analisadas (a), Tratamentos (b)) de grãos de soja da cultivar NA 5909 RR armazenados durante sete meses. IP: índice de peróxidos; IA: índice de acidez.....	81
Figura 6 - Análise de componentes principais (ACP) mostrando os dois principais componentes (Variáveis analisadas (a), Tratamentos (b) de grãos de soja da cultivar Fepagro 37 RR armazenados durante sete meses. IP: índice de peróxidos; IA: índice de acidez. ....	82

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>18</b>
1.1	HIPÓTESES .....	19
1.2	OBJETIVO GERAL.....	19
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>21</b>
2.1	ASPECTOS SOBRE A CULTURA DA SOJA .....	21
2.2	IMPORTÂNCIA DO USO DE SEMENTES DE ALTA QUALIDADE .....	21
2.3	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA SEMENTE .....	23
<b>2.3.1</b>	<b>Genético .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Físico .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Fisiológicos .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Sanitário .....</b>	<b>26</b>
2.3	DETERIORAÇÃO DE SEMENTES .....	26
2.4	ARMAZENAMENTO HERMÉTICO .....	29
2.5	QUALIDADE DE GRÃOS ARMAZENADOS .....	31
<b>3</b>	<b>ARTIGO 1 .....</b>	<b>34</b>
3.1	QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA ARMAZENADAS EM ATMOSFERA CONTROLADA EM DIFERENTES TEMPERATURAS.....	34
3.2	INTRODUÇÃO.....	35
3.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	36
<b>3.3.1</b>	<b>Material experimental e preparação das amostras .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Variáveis analisadas .....</b>	<b>39</b>
3.3.2.1	<i>Teor de umidade .....</i>	39
3.3.2.2	<i>Condutividade elétrica .....</i>	39
3.3.2.3	<i>Teste padrão de germinação .....</i>	39
3.3.2.4	<i>Emergência entre areia .....</i>	39
3.3.2.5	<i>Emergência em canteiro.....</i>	40
3.3.2.6	<i>Comprimento de plântulas e Massa seca de plântulas .....</i>	40
<b>3.3.3</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>40</b>

3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
3.4.1	Teste padrão de germinação.....	40
3.4.2	Germinação entre areia .....	44
3.4.3	Emergência a campo .....	47
3.4.4	Comprimento da parte aérea de plântulas .....	50
3.4.5	Comprimento da raiz de plântulas .....	51
3.4.6	Massa seca da parte aérea de plântulas .....	53
3.4.7	Massa seca da raiz de plântulas .....	54
3.4.8	Condutividade elétrica das sementes.....	56
3.5	CONCLUSÕES .....	59
3.6	REFERÊNCIAS .....	60
4	<b>ARTIGO 2</b> .....	<b>64</b>
4.1	EFEITO DA ATMOSFERA CONTROLADA EM DIFERENTES TEMPERATURAS SOBRE A QUALIDADE DO ÓLEO E PERFIL VOLÁTIL DE GRÃOS DE SOJA.	64
4.2	INTRODUÇÃO.....	64
4.3	METODOLOGIA.....	66
4.3.1	Material experimental e preparação das amostras .....	66
4.3.2	Variáveis analisadas .....	68
4.3.2.1	<i>Preparo da amostra e extração do óleo</i> .....	68
4.3.2.2	<i>Índice de acidez</i> .....	69
4.3.2.3	<i>Índice de peróxidos</i> .....	69
4.3.2.4	<i>Determinação dos compostos voláteis</i> .....	70
4.3.3	Análise estatística .....	71
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	71
4.4.1	Índice de peróxidos e índice de acidez .....	72
4.4.2	Compostos voláteis relacionados à oxidação lipídica.....	76
4.4.3	Análise de componentes principais .....	80
4.5	CONCLUSÕES .....	83

4.6	REFERÊNCIAS .....	84
5	<b>DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>87</b>
6	<b>CONCLUSÃO DA DISSERTAÇÃO.....</b>	<b>89</b>
7	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>90</b>





## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A infraestrutura e logística do sistema de armazenamento de grãos e sementes no Brasil é um dos entraves para o aumento da produção de soja. Na safra de 2018/2019 foram produzidos 222 milhões de toneladas (Mt) de grãos, sendo que a capacidade de armazenamento é de 158 milhões de toneladas, resultando num déficit de 64 milhões de toneladas (CONAB, 2019). Para a FAO, a capacidade de armazenamento recomendada deve suportar 20% além do que é produzido durante uma safra de grãos, agravando ainda mais a situação brasileira.

A falta de um sistema de armazenamento que suporte adequadamente toda a produção, ocasiona perdas qualitativas e quantitativas aos produtores e à indústria. A dificuldade de escoar a produção na safra e de adquirir unidades armazenadoras leva o produtor a utilizar formas de armazenamento inadequadas, tais como: manter os grãos a céu aberto, em armazéns sem controle de umidade relativa do ar (UR) e temperatura.

A alta temperatura e umidade relativa que ocorrem na região central do Brasil, são ideais para o desenvolvimento de insetos e fungos, que causam perdas durante o armazenamento através do consumo de reservas da semente induzido pelo metabolismo respiratório. Além disso, ataques de fungos aumentam a temperatura e teor de umidade da massa de grãos, devido ao processo respiratório liberar água, energia e CO<sub>2</sub>, induzindo a deterioração da semente e grãos. No armazenamento em silos convencionais, as sementes e grãos estão expostas a variações de temperatura e UR, o que ocasiona mudança no teor de água das sementes e o consequente aumento no metabolismo e deterioração, o que impossibilita o uso desse sistema de armazenamento para manter sementes com alta qualidade fisiológica e grãos com boa qualidade química, nestas condições climáticas. A manutenção da qualidade das sementes durante o armazenamento requer a adoção de práticas específicas. Uma das formas mais utilizadas para o armazenamento de sementes é a utilização de câmaras frigoríficas, onde é controlada a umidade relativa do ar e a temperatura, que devem ficar em torno de 60% e abaixo de 20 °C, respectivamente. Contudo, essa tecnologia possui um alto custo de aquisição e manutenção, impossibilitando o uso nas pequenas e médias propriedades produtoras de sementes soja.

Além da redução da qualidade fisiológica, com o aumento do ataque de fungos pode ocorrer a produção de micotoxinas, substâncias carcinogênicas nocivas ao ser humano e que diminuem a conversão alimentar de animais quando o produto contaminado é usado na fabricação de rações. A qualidade química do grão de soja também pode ser afetada quando ocorre o aumento do metabolismo do grão. Diversas características sofrem mudanças durante

o armazenamento, como o teor de umidade, conteúdo de lipídios, nitrogênio solúvel em água, índice de solubilidade do nitrogênio, sólidos solúveis, conteúdo de pigmentos e atividade da enzima lipoxigenase, enquanto há incremento da atividade da peroxidase, índice de peróxidos, concentração de ácidos graxos livres e nitrogênio não proteico (NARAYAN, 1988). No entanto as principais modificações estão relacionadas à fração lipídica, que é suscetível à rancidez hidrolítica e rancidez oxidativa, aumentando o índice de acidez e o índice de peróxidos, respectivamente. Essas alterações, são responsáveis pela modificação deletéria do aroma e sabor, principalmente do óleo extraído.

Uma tecnologia que está sendo adotada pelos produtores para suprir a demanda no período pós-colheita é o uso de silos bolsa. Este sistema possibilita o armazenamento hermético das sementes e grãos, através da modificação da atmosfera intergranular por conversão biológica de oxigênio ( $O_2$ ) em gás carbônico ( $CO_2$ ) pela respiração da semente e biota dentro do sistema, resultando na diminuição do metabolismo respiratório e, conseqüentemente, na redução do consumo de reservas, aumentando a manutenção da germinação e vigor das sementes. Além disso, o armazenamento hermético diminui flutuações da umidade relativa do ar intergranular e variações abruptas de temperatura, reduzindo a perda de qualidade por ciclos de absorção e perdas de água, e ainda facilita o controle do teor de umidade da semente no interior do silo bolsa, uma vez que as trocas com o meio externo são mínimas.

## 1.1 HIPÓTESES

- a) A redução da concentração de oxigênio reduz a deterioração da semente e grãos mantendo a qualidade fisiológica e química, mesmo quando armazenadas em temperaturas elevadas.
- b) A elevação da concentração de gás carbônico reduz a deterioração da semente e grãos mantendo a qualidade fisiológica e química, mesmo quando armazenadas em altas temperaturas.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

- a) Avaliar o efeito da interação de condições de atmosfera controlada e altas temperaturas sobre a qualidade fisiológica e química de sementes e grãos de soja.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a germinação e vigor das sementes armazenadas sob baixo oxigênio e alto gás carbônico, mantidas em diferentes temperaturas.
- b) Analisar a qualidade do óleo extraído e perfil volátil de grãos de soja armazenados sob baixo oxigênio e alto gás carbônico, armazenados em diferentes temperaturas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS SOBRE A CULTURA DA SOJA

A soja pertence à família Fabaceae, espécie *Glycine max* (L.) Merrill, que possui como centro de origem a China Central, foi domesticada em meados do século 11 D.C. (CASTRO; KLUGE; PEPES, 2008). No Brasil a cultura da soja foi introduzida em 1882, o cultivo foi impulsionado na década de 1980, com o avanço do cultivo no Cerrado, o que levou desenvolvimento aos estados de Goiás e Mato Grosso, antes regiões despovoadas e desvalorizadas (FREITAS, 2011). Na safra de 2018/2019 é estimado que a produção mundial de soja alcance 359,49 Mt, crescimento de 6,76 % em relação à safra de 2017/2018 (USDA, 2018). No Brasil na safra de 2018/2019 numa área de 35.818,8 mil hectares, 1,9 % maior em relação à safra passada, em virtude de adversidades climáticas é esperado diminuição na produtividade, principalmente no estado de Mato Grosso, Goiás e Paraná (CONAB, 2019). Estima-se que a produção total seja de 113.459,1 milhões de toneladas, montante que representa 52.0 % da produção nacional de grãos (CONAB, 2019).

A soja é uma importante fonte de proteína e óleo, usada para alimentação humana e na formulação de rações para a alimentação animal. O grande interesse no cultivo em parte é justificado pela composição do grão, que apresenta 35 a 55 % de proteínas digestíveis, 30 % de carboidratos, 17 a 27 % de lipídios (ALIYEV; MIRZOYEV, 2010). A proteína de soja possui qualidade semelhante a produtos de origem animal, devido à presença de aminoácidos essenciais para alimentação humana (SOUZA et al., 2010). Portanto, a soja é amplamente explorada na indústria para a fabricação de alimentos tais como: farinha, leite, proteína texturizada e creme, produtos que possuem características nutricionais que atuam na prevenção de doenças, além disso, é uma fonte de energia renovável na fabricação de biodiesel (ÁVILA et al., 2012).

### 2.2 IMPORTÂNCIA DO USO DE SEMENTES DE ALTA QUALIDADE

No Brasil, durante a safra de 2017/2018, apenas 70 % da área cultivada de soja foi semeada com sementes certificadas (CONAB, 2019). Em regiões onde a temperatura média do ar é baixa, a taxa de utilização de sementes certificadas é ainda menor, como exemplo o estado do Rio Grande do Sul, que em 2018 utilizou aproximadamente 45 % de sementes certificadas. Por outro lado, em estados da região Central e Nordeste a taxa de utilização de sementes certificadas alcança patamares de maior expressão, chegando a 80 %, em virtude da alta

temperatura durante o período de armazenamento, que dificulta a manutenção da qualidade fisiologia das sementes sem a utilização de armazéns refrigerados. O potencial produtivo da soja é influenciado, principalmente pela qualidade fisiológica, sanitária, genética e física das sementes (MENTEN; MORAES, 2010).

O uso de sementes certificadas é de grande importância, devido à garantia que as sementes apresentarem os padrões exigidos pela legislação quanto ao poder germinativo. O uso de ‘semente salva’ é uma prática amplamente utilizada, não havendo fiscalização e muito menos garantias da qualidade. Assim, lançar mão dessas sementes ocasiona alto risco ao produtor, uma vez que a semeadura bem-sucedida garantirá o primeiro componente de rendimento da soja, expresso pelo número de plantas por metro quadrado. Para o produtor, o principal parâmetro inerente à qualidade da semente é o estabelecimento e desenvolvimento inicial de plântulas (MARCOS FILHO, 2001). De acordo com Marcos Filho (2005), lotes de sementes com baixo vigor apresentam alta susceptibilidade a estresses bióticos e abióticos, crescimento lento, irregular e menor desenvolvimento do sistema radicular.

Outro problema das ‘sementes salvas’ é a falta de acompanhamento técnico durante o período de produção, não seguindo os padrões de produção de sementes, o que pode culminar com a produção de lotes de sementes com baixa germinação e vigor. Após a produção, o método de armazenamento de sementes pode não ser adequado. Por exemplo, é comum o uso de recipientes de polipropileno para acondicionar sementes até o próximo ciclo de produção, o que as expõem a variações de temperatura e umidade do ar, que, quando em demasia, aceleram a deterioração das sementes. Em suma, o uso de semente salva não dá garantia de desempenho satisfatório no campo, no entanto, a utilização de um sistema de armazenamento que proporcione maior manutenção da qualidade inicial das sementes pode reduzir potenciais problemas na semeadura da soja, desde que as sementes utilizadas tenham sido cultivadas de maneira adequada, conforme descrito por Peske et al. (2012).

O efeito do vigor da semente sobre a produção final das culturas é controverso. É evidente a relação com a maior uniformidade e velocidade de germinação, no entanto com o decorrer do desenvolvimento da cultura esse efeito é atenuado ou até mesmo imperceptível. A planta de soja possui alta plasticidade, habilidade de emitir haste para compensar a baixa população de plantas. Schuch et al. (2000) afirmam que o vigor das sementes influencia o crescimento inicial das plântulas, mas este efeito tende a diminuir com a evolução do crescimento até a maturação.

Para Peske et al. (2012), lotes com baixo vigor apresentam menor uniformidade e possuem menor velocidade de emergência. Isso ocorre devido à semente de baixo vigor ter que restaurar organelas e tecidos danificados antes de iniciar o crescimento do eixo embrionário, levando a um aumento no intervalo de tempo até que ocorra a emergência. Por outro lado, sementes com alta qualidade fisiológica mobilizam macromoléculas com maior velocidade, disponibilizando maiores teores de sacarose e proteínas solúveis, que são substrato para a glicólise e fosforilação oxidativa durante a pré-germinação (HENNING et al., 2010), acarretando em maior suprimento de ATP, para o reparo de DNA, síntese de RNAm e proteínas, consequentemente, o processo de emissão da radícula torna-se mais rápido (LOPES, 2016).

Diversos estudos reportam o efeito do uso de sementes com alto vigor. Schuch et al. (2010), observaram que sementes com alto vigor aumentaram a produção de matéria seca da parte aérea em 31% em relação a sementes de baixo vigor, além disso, a maior matéria seca foi observada durante todo o período vegetativo. O uso de sementes com alta qualidade fisiológica resultou em plantas de soja com maior altura aos 21 dias após semeadura, o que promoveu maior rendimento de grãos (SCHEEREN et al., 2010). Portanto, o uso de semente com alta qualidade diminui o risco de uma germinação deficiente, minimiza o efeito de fatores bióticos e abióticos, os quais são potenciais fatores estressantes para a germinação adequada das sementes.

## 2.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA SEMENTE

### 2.1.1 Genético

A qualidade genética da semente envolve a pureza varietal, o potencial de produtividade, a tolerância a pragas e doenças, além da resistência a condições ambientais desfavoráveis. Para Peske (2012), a qualidade genética da semente é garantida no campo para que as características desejadas sejam passadas para as próximas gerações, devido a garantia que não há incidência de contaminação varietal com outras cultivares e que a semente entregue toda a carga genética e expresse os eventos genéticos inseridos durante o melhoramento.

O genótipo é um dos fatores que mais influencia a qualidade fisiológica de sementes, sendo a escolha da cultivar preponderante quando se deseja armazenar sementes por longo prazo, pois, os genótipos apresentam diferentes níveis de tolerância ao armazenamento (CARVALHO et al., 2014; SCHONS et al., 2018).

### 2.1.2 Físico

A pureza da semente é uma característica que reflete a composição física de um lote, como a informação do grau de contaminação do lote com sementes de plantas daninhas, silvestres, plantas nocivas toleradas e material inerte. Outro parâmetro importante é o teor de água contido na semente, que influencia os processos metabólicos e a microflora da semente, além disso, na colheita, beneficiamento e armazenamento, o teor de água é fator que norteia a escolha de algumas práticas a serem adotadas como: início da colheita, regulagem da colhedora, método de secagem, entre outros.

O embrião das sementes de soja é composto de dois cotilédones e um eixo embrionário (epicótilo, hipocótilo e radícula). O eixo hipocótilo-radícula apresenta-se protegido pelo tegumento, sendo mais suscetível a danos mecânicos, podendo facilmente afetar o embrião (POPIGINIS, 1985). O processo de beneficiamento pode causar danos à semente, devido ao uso de elevadores, em função de quedas, abrasões e impactos, sendo que a integridade da semente correlaciona com o desempenho a campo em relação à germinação e vigor. Segundo Peske (2003), a qualidade física é um parâmetro fundamental para proporcionar o número de plantas requeridas para atingir altas produtividades. Em síntese, a condição física da semente é caracterizada pelo grau de umidade, tamanho, cor, densidade, aparência, danos mecânicos, danos causados por insetos e infecções por doenças (POPINIGIS, 1985).

### 2.1.3 Fisiológicos

O potencial fisiológico tem recebido maior atenção da pesquisa, por estar diretamente relacionado ao adequado estabelecimento do estande de plantas e da obtenção de alta produtividade, além de ser uns dos principais parâmetros para o produtor avaliar o desempenho inicial das sementes adquiridas (MARCOS FILHO, 2015). A germinação de sementes é a retomada do desenvolvimento do eixo embrionário que havia sido interrompido na maturidade fisiológica, período de criptobiose, quando esta é exposta a condições favoráveis (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). A germinação ocorre quando as sementes são viáveis, não dormentes, e as condições ambientais são favoráveis. O processo de germinação culmina de uma sequência de reações bioquímicas, onde ocorre a hidrólise de substâncias de reserva. O processo de germinação pode ser dividido em três fases: fase um ou reativação, ocorre a embebição, reativação da respiração e retomada do metabolismo primário, ocorrendo uma rápida absorção de água pela semente; fase dois ou indução do crescimento é a fase de repouso onde a semente diminui a absorção de água e prepara o aparato bioquímico para a síntese de



novas moléculas (síntese *de novo*), e fase três ou retomada do crescimento, quando ocorre a assimilação de substâncias de reserva e a semente retorna a absorver água, culminando na protrusão da raiz (NONOGAKI; BASSEL; BEWLEY, 2010). Além disso, a qualidade fisiológica é definida pelos mesmos autores como a capacidade de desempenhar funções vitais, caracterizada pela germinação, vigor e longevidade, afetando diretamente a implantação e estabelecimento da cultura em condições de campo.

O vigor da semente é importante para garantir ou diminuir os riscos de não ocorrer germinação satisfatória, quando as condições do meio são desfavoráveis para a germinação. Para Baskin e Baskin, (2004), semente com alto vigor é aquela capaz de germinar na maior amplitude possível de fatores do ambiente físico, considerando-se os limites impostos pelo seu genótipo. Sementes com alto vigor resultaram no aumento de 17% na produtividade (SCHEEREN et al., 2010). Segundo Marcos Filho e Kikuti (2006), o vigor de sementes é a capacidade de apresentar alto desempenho em diversas condições ambientais. Além disso, para Baskin e Baskin (2004) o vigor da semente envolve a remobilização de substâncias de reserva, como a biossíntese de proteínas, DNA, RNAm, carboidratos, lipídios relacionados à manutenção das membranas celulares e relacionados ao metabolismo celular. Portanto, a viabilidade é medida, principalmente, pelo teste de germinação e procura determinar a máxima germinação da semente sob condições favoráveis, enquanto o vigor detecta atributos mais sutis da qualidade fisiológica, não revelados no teste de germinação.

Dormência é a incapacidade de a semente germinar em condições ambientais favoráveis e em um determinado tempo (BASKIN; BASKIN, 2004). A dormência pode ser dividida em primária, ocorre quando a semente ainda está ligada à planta mãe que, por exemplo, pode ser induzida pela concentração de ácido abscísico e impermeabilidade do tegumento (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006), e secundária na qual a semente não germina após o destaque da planta mãe, que pode ser oriunda de impermeabilidade do tegumento, troca de gases, balanço entre fitorreguladores endógenos e exógenos e restrição ao crescimento do embrião. Em suma, as manifestações de ordem fisiológica mais evidentes no processo de deterioração, segundo (PESKE, 2006) são:

- Redução da velocidade de emergência: geralmente causada pela perda da permeabilidade de membranas, sendo o primeiro sintoma da perda de desempenho e qualidade das sementes;
- Redução na velocidade de crescimento;
- Queda quantitativa do crescimento;

- Plântulas mais suscetíveis a fatores ambientais, menor resistência;
- Decréscimo do potencial de conservação durante o armazenamento;
- Menor resistência a microrganismos;
- Maior exigência a condições ideais de germinação;
- Aumento da taxa de anormalidades de plântulas, associada à morte de tecidos ou distúrbios durante o crescimento;
- Menor germinação, em laboratório;
- Formação de plantas estéreis;
- Perda do poder germinativo.

#### 2.1.4 Sanitário

A menor sanidade da semente afeta negativamente a qualidade fisiológica, bem como a sanidade das plântulas, devido à infecção de diversos fungos como *Phomopsis* spp., *Colletotrichum truncatum*, *Fusarium* spp., além de reduzir o vigor e o poder germinativo da semente (HENNING et al., 2005). Outro aspecto importante é que a semente pode ser veículo para dispersão de patógenos, por exemplo *Diaporthe phaeseolorum* var *meridionales* (cancro da haste), *Cercospora sojina* (mancha olho de rã) e *Xanthomonas axonopodis* pv. *Glycines* (pústula bacteriana) (KRZYANOWSKI et al., 2008), que causam redução da germinação, do vigor das sementes e disseminação de patógenos para áreas isentas.

### 2.3 DETERIORAÇÃO DE SEMENTES

A deterioração da semente, inicia após a maturação fisiológica e é um processo inevitável, que pode ser acelerado ou retardado em função das condições climáticas após a maturidade fisiológica, como umidade de colheita, beneficiamento, condições de armazenamento, entre outros.

De acordo com Marcos Filho (2005), o processo de deterioração é determinado por alterações fisiológicas, bioquímicas, físicas e citológicas, iniciando na maturidade fisiológica, ocorre de maneira progressiva e irreversível, culminando com a morte da semente. De acordo com Delouche e Baskin (1973), a deterioração é uma sequência hipotética iniciada com a perda da integridade de membranas, conseqüente diminuição da seletividade de membranas e, por fim, redução do poder germinativo. Uma definição mais recente retrata a deterioração como uma série de alterações que ocorrem com o avanço do armazenamento e diminuem a tolerância

da semente a desafios externos, diminuindo sua habilidade para sobrevivência e capacidade de gerar uma plântula vigorosa (JYIOTI; MALIK, 2013).

Várias teorias sobre a sequência de eventos durante a deterioração já foram reportadas, no entanto, é necessário considerar o processo de deterioração como eventos simultâneos que culminam com a redução de plântulas normais, perda de viabilidade da semente e, por fim, morte das sementes. Os principais eventos relacionados ao processo de deterioração são degradação e inativação de enzimas (COPELAND; MCDONALD, 2001), redução da atividade respiratória e perda de integridade das membranas celulares (MCDONALD, 1999). Copeland e McDonald (2001) destacaram que para detectar o início da deterioração das sementes, as avaliações mais sensíveis são aquelas relacionadas à atividade de enzimas associadas à biossíntese em tecidos novos, uma vez que, com o processo de deterioração das sementes, as enzimas tornam-se menos eficientes para exercer sua atividade catalítica.

É possível identificar a atividade de uma enzima durante a embebição das sementes e verificar alterações quanto ao seu metabolismo. Dentre as alterações enzimáticas mais frequentes no processo de deterioração, destacam-se: alterações na estrutura de enzimas; inativação progressiva de enzimas; redução ou paralisação da síntese de enzimas; menor atividade de enzimas respiratórias; deformações no processo de síntese ou este é suprimido, acarretando em problemas na divisão e alongamento celular, respiração e atividades gerais de síntese (PESKE, 2006).

McDonald (1999) destaca os possíveis causadores da deterioração de sementes: Redução na atividade de  $\alpha$  e  $\beta$ -amilase, hidrolase, catalase, peroxidase, ATPase, citocromo oxidase, DNA-ligase, DNA-polimerase, esterase, fosfatase ácida, álcool e malato desidrogenase; acréscimo na atividade de RNAase, glutadiona oxidase, protease, fosfolipase; tanto a redução como acréscimo da atividade de isoesterases, superóxido dismutase, lipoxigenase. Para Marcos Filho (2005) algumas destas proteínas-chave podem ser usadas como medida da qualidade das sementes (vigor), mesmo quando há queda das reservas das sementes. Assim, o conhecimento da bioquímica das sementes pode ser considerado fundamental para o esclarecimento de grande parte das dúvidas ainda existentes sobre as modificações bioquímicas que ocorrem após a maturidade fisiológica. Além disso, como as condições de armazenamento alteram a velocidade da deterioração, a modificação na concentração gasosa retarda o processo de deterioração.

Em sementes armazenadas em condições não controladas, ocorre queda de atividade dos sistemas isoenzimáticos malato desidrogenase (MDH), álcool desidrogenase, esterase

(EST), isocitrato liase, superóxido dismutase e peroxidase, principalmente após seis meses sendo que no armazenamento em câmaras fria e seca, essas atividades são mantidas (CARVALHO et al., 2014). Vieira et al. (2013) observaram que a atividade MDH e EST de sementes de soja, diminuíram após o sexto mês de armazenamento a 25 °C.

A respiração celular é a primeira atividade a ser restabelecida durante o processo de germinação (PESKE, 2006), portanto sua reativação é fundamental para que a germinação ocorra com êxito, uma vez que a respiração gera um *pool* de ATP e NADPH, energia necessárias para reparar danos ocorridos na secagem e armazenamento, e a síntese de DNA, RNA e proteínas durante a síntese de novo. No entanto, com o envelhecimento, há queda gradativa do número e da eficiência das mitocôndrias, além da formação muito lenta, de novas mitocôndrias durante a embebição, alterações essas são verificadas, geralmente, antes de afetarem a velocidade de germinação e de crescimento (FERGUSON; TEKRONY; EGLI, 1990).

As membranas possuem importante papel no gerenciamento do fluxo de materiais entre compartimentos celulares, controle do metabolismo intermediário, estabelecendo interligação da atividade enzimática e manutenção da compartimentalização celular (MARCOS FILHO, 2005). A peroxidação lipídica é um processo que deve ser considerado durante a compreensão da deterioração das sementes, devido à influência dos peróxidos e seus subprodutos na eficiência das mitocôndrias. (MCDONALD, 1999).

Tatipata (2009) estudou o efeito do teor inicial de água umidade, duração do armazenamento sobre a integridade das membranas internas das mitocôndrias, concluindo que a deterioração das membranas está relacionada a mudanças nos fosfolipídios que as compõem, devido à redução do teor de fosfolipídios e proteínas extraídas das mitocôndrias, quando as sementes foram armazenadas com alto teor de água e ampliação da duração do armazenamento. Este mesmo autor afirma que o aumento do teor de água ativa a fosfolipase, ocasiona a hidrólise dos fosfolipídios e conseqüente desorganização das membranas, aumentando sua permeabilidade, reduzindo o suprimento de ATP pela atividade mitocondrial e a conseqüente redução da reparação celular.

A degradação dos fosfolipídios deve estar diretamente ligada à peroxidação lipídica, uma vez que, esse processo gera espécies reativas de oxigênio que reagem com os componentes de membrana, causando a desestruturação e colapso do sistema seletivo da célula. Uma alternativa que busca reduzir a peroxidação lipídica é o uso de atmosfera controlada, visto que esse processo necessita do suprimento de oxigênio. Portanto, a redução da peroxidação lipídica

irá proporcionar melhor manutenção da integridade das membranas e, conseqüentemente, a semente vai retomar o metabolismo com maior facilidade, uma vez que não terá necessidade de remobilizar a maior parte da energia para reparo de estruturas e sim para desdobrar macromoléculas necessárias para *síntese de novo* (HE et al., 2011; MARCOS FILHO; KIKUTI, 2006).

Sementes possuem dois tipos de RNAm, primeiramente apenas o RNAm armazenado que foi transcrito antes da maturidade fisiológica e posteriormente o RNAm sintetizado durante a *síntese de novo* (RAJJOU, 2004). Para que o vigor da semente seja expresso é necessário que a síntese de RNAm, durante a absorção de água, atenda a demanda de proteínas necessárias para completar a germinação, visto que foram identificados mais de 10.000 RNAm em dicotiledôneas (HE et al., 2011; KIMURA; NAMBARA, 2010), portanto o processo de síntese de RNAm, é importante para que a semente expresse o potencial de vigor e germinação, uma vez que, esse processo é relacionado ao conteúdo energético e a capacidade de remobilização de macromoléculas pré-existentes.

#### 2.4 ARMAZENAMENTO HERMÉTICO

Os fundamentos da tecnologia de atmosfera modificada e controlada, em silos bolsa, baseiam-se na redução dos níveis de oxigênio e aumento dos níveis de gás carbônico, reduzindo a taxa respiratória das sementes, crescimento microbiano e a deterioração enzimática. Na Argentina durante o ano de 2014 cerca de 200.000 silos bolsa foram comercializados, armazenando mais de 40% da produção do país. Essa tecnologia está sendo adotada em mais de 50 países, que representam ampla variação climática, como países tropicais (Sudão e Brasil) e de clima temperado (Rússia e Canadá) (GASTÓN et al., 2009). O silo bolsa, também chamado de silo bag é um sistema que possibilita flexibilidade e pode ser adaptado para uma gama de volume de grãos. É utilizado para aumentar a capacidade de armazenamento, sendo um método alternativo ao armazenamento tradicional para reduzir as perdas na pós-colheita (RIDLEY et al., 2011).

Para que o processo de conservação seja eficaz, deve-se ter em vista a redução da umidade dos grãos armazenados, sendo que grãos com altos teores de umidade constituem-se em locais de desenvolvimento de microrganismos, insetos e ácaros. O armazenamento hermético atua como barreira física entre o ambiente interno e externo, reduzindo trocas de vapor de água. Uma das principais causas da perda de potencial fisiológico durante o

armazenamento é o aumento do teor de umidade da semente, associado à respiração da semente, a fungos e à variação da umidade externa, que afeta o equilíbrio higroscópico (FREITAS; FARONI; SOUSA, 2016; QUEZADA et al., 2006).

O armazenamento em silos herméticos consiste na redução do O<sub>2</sub> e no consequente aumento do CO<sub>2</sub>, que é liberado através da respiração da semente e da microflora associada. Isso reduz a deterioração das sementes, pela inibição de microrganismos por hipóxia (abaixo de 3%) e pela alta concentração de CO<sub>2</sub>. A atmosfera é mantida devido à hermeticidade do sistema (ADLER; CORINTH; REICHMUTH, 2000; BANKS; ANNIS, 1990; BARTOSIK; CARDOSO; NAVARRO, 2012; RODRÍGUEZ et al., 2002). Ressalta-se que uma atmosfera com alto CO<sub>2</sub> e baixo em O<sub>2</sub> pode suprimir a capacidade de reprodução e/ou desenvolvimento dos insetos e fungos, assim como a própria atividade metabólica de semente/grão, favorecendo a sua conservação (QUEZADA et al., 2006; VARNAVA; NAVARRO; DONAHAYE, 2005), além de reduzir a taxa de oxidação e os efeitos deletérios do processo oxidativo, aumentando a longevidade das sementes (GROOT et al., 2015) e diminuindo a atividade de microrganismos (SAMAPUNDO et al., 2007).

As reações químicas envolvidas no processo respiratório são controladas por enzimas e o aumento da umidade dos grãos favorece a atividade biológica porque as enzimas e o substrato são mais facilmente mobilizados para o processo de respiração. Quanto maior for a temperatura, maior será a atividade metabólica dos grãos, aumentando assim a deterioração da matéria prima, contudo o baixo oxigênio reduz a acidez, atividade da enzima peroxidase em grãos, parâmetros relacionados à qualidade dos grãos de soja (ALENCAR et al., 2010). Para Ochandio (2017) a taxa respiratória da semente de soja não é afetada pela pressão parcial de O<sub>2</sub> até 2,0 kPa O<sub>2</sub>, abaixo disso ocorre a redução da taxa respiratória devido a hipoxia. Tipo de grão, teor de umidade, temperatura, tempo de armazenamento, concentração de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, afetam a taxa respiratória no interior dos silos (ABALONE et al., 2011; BARRETO et al., 2013).

O armazenamento em silos bolsa em regiões tropicais e subtropicais pode ser favorecido devido ao maior consumo de O<sub>2</sub> por insetos e grãos, uma vez que, atmosfera modificada é estabelecida mais rapidamente devido ao metabolismo do grão e biota associada. Outra vantagem da utilização do armazenamento hermético é o suprimento da falta de infraestrutura de armazenamento e tecnologia pós-colheita nas propriedades rurais ou empresas de armazenamento (QUEZADA et al., 2006).

Existem relatos na literatura sobre o efeito da alta concentração de CO<sub>2</sub> sobre o desenvolvimento de insetos. Riudavets et al. (2018) reportam que altas concentrações de CO<sub>2</sub>,

no armazenamento em atmosfera modificada controlam o caruncho *Sitophilus zeamais* em milho.

Diversos estudos realizados com armazenamento hermético encontraram maior qualidade dos produtos neste sistema de armazenamento do que os grãos armazenados em sistema convencional (ANE et al., 2011; WILLIAMS; BARIBUTSA; WOLOSHUK, 2014).

Rodríguez et al. (2010) demonstraram que a redução da concentração de oxigênio e o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> reduziram acentuadamente a atividade metabólica das sementes de soja favorecendo a manutenção da qualidade durante o armazenamento. Rupollo et al. (2006) verificaram que a redução do O<sub>2</sub> e o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, durante o armazenamento em atmosfera modificada, diminuíram o processo respiratório dos grãos e dos organismos presentes, estabilizando o processo de deterioração da massa de grãos. Os mesmos autores afirmam que o sistema de armazenamento hermético foi mais eficiente para conservação de grãos de aveia com 8%, 11% e 14% de umidade por 12 meses comparado ao armazenamento convencional.

No armazenamento hermético, o índice de acidez foi significativamente menor, sendo este um indicativo de uma melhor conservação dos grãos de aveia (RUPOLLO et al., 2004). Costa et al. (2010) verificaram que grãos de milho com teor de água de 14,5 %, armazenados em silos bolsa mantiveram qualidade satisfatória por 180 dias, no entanto não foi mensurada a pressão parcial dos gases no interior do silo. Existe pouca informação sobre as condições ideais para o armazenamento em sistema hermético, o que eleva os riscos dos produtores que adotam essa técnica e dificulta a recomendação dos profissionais da agronomia sobre a concentração gasosa, teor de umidade e temperatura adequada para o armazenamento de soja (TAHER et al., 2019). No Brasil existem poucos estudos com foco no armazenamento de sementes de soja em ambientes com controle de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, portanto é necessário verificar o efeito do armazenamento hermético sobre a qualidade de sementes e grão de soja.

## 2.5 QUALIDADE DE GRÃOS ARMAZENADOS

Em pequenas propriedades, perdas quantitativas de grãos podem chegar a 15% no campo, 13 a 20% durante o beneficiamento e 15 a 25% durante o armazenamento (ABASS et al., 2014), isto leva a uma expressiva perda de alimento e deprecia a qualidade do produto, contribuindo para a insegurança alimentar, principalmente em países subdesenvolvidos (MANANDHAR; MILINDI; SHAH, 2018). A deterioração e desperdício anual de alimentos

nos países em desenvolvimento é equivalente a cerca de US\$ 310 bilhões, quase 65% ocorre durante as fases de produção, processamento e armazenamento (PEDRICK, 2012).

Diversas mudanças ocorrem durante o armazenamento, principalmente referente a qualidade nutricional do grão, que afeta as características de produtos derivados da soja. O aparecimento de *off-flavor*, aroma e sabor desagradável em derivados, podem ser parcialmente atribuídos à peroxidação lipídica (HOU; CHANG, 2004), contudo mesmo que os peróxidos não apresentem nem sabor ou odor, esses são rapidamente metabolizados a aldeídos, cetonas, álcoois, hidrocarbonetos, ésteres, furanos e lactonas, levando à formação de sabor e odor desagradáveis nos óleos e gorduras (O'BRIEN, 2004).

O grão de soja é formado por tecidos vivos, que necessitam de suprimento de ATP, NADPH para manutenção da maquinaria celular, após a maturação fisiológica. O principal processo de obtenção de energia é através da respiração aeróbica, no entanto quando ocorre o aumento da desorganização das membranas celulares, várias vias do metabolismo são inibidas ou ativadas. A fermentação é ativada quando não há suprimento adequado de oxigênio, conseqüentemente a indução da fermentação ocasiona o acúmulo de etanol e acetaldeído. Esses compostos são tóxicos à célula e seu acúmulo aumenta durante a deterioração. A peroxidação de lipídios, além de etanol e aldeídos produz ácidos graxos de cadeias curtas e compostos fenólicos (HOU; CHANG, 2004). Portanto, grãos com maior peroxidação lipídica irão apresentar maior concentração de aldeídos, álcoois e cetonas, compostos que reduzem a qualidade nutricional.

Uma forma amplamente utilizada para determinar a concentração de compostos voláteis é a cromatografia gasosa, que pode ser uma importante ferramenta para identificar as mudanças bioquímicas durante o armazenamento de grãos. A identificação de compostos voláteis como marcadores da maturidade fisiológica de grãos de soja foi realizada por Boué et al., (2003), que reportaram aumento da concentração de hexanal, etanal, E-2-heptanal, 1-hexanol e E-2-octanol quando o grão de soja atinge o estágio R8. A identificação de compostos voláteis de grãos pode ser realizada tanto para prever a deterioração como identificar compostos produzidos pela oxidação e degradação enzimática de lipídios.

Espécies reativas de oxigênio derivam da redução de oxigênio ( $O_2$ ) que dá origem ao superóxido, peróxido de hidrogênio, radical hidroxila ( $HO\cdot$ ) e oxigênio singleto ( $^1O_2$ ) (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006). Em sementes secas, as espécies reativas de oxigênio (EROS) podem resultar de reações não enzimáticas, como a peroxidação lipídica e as reações de Amadorie-Maillard, a degradação lipídica em glioxissomos, reações respiratórias



em mitocôndrias (ERTEN; CADWALLADER, 2017). Além disso, enzimas específicas podem produzir EROS como NADPH oxidase na membrana plasmática e peroxidases na parede celular (JIANG et al., 2018).

Valores elevados de índice de peróxidos ocasionam maiores perdas no processo de refino e proporcionam menor qualidade do óleo, que por sua vez indica baixa qualidade da matéria-prima, manejo inadequado ou falta de controle durante o processamento (JAYAS; JEYAMKONDAN, 2002). O índice de peróxido é a medida da rancidez oxidativa em sua fase inicial e mede a concentração de substâncias, em termos de miliequivalentes (meq) de peróxidos por mil gramas de amostra, esse índice é amplamente usado na determinação da qualidade de óleos e gorduras, e tem alta correlação com o sabor (O'BRIEN, 2004). Esse parâmetro é um indicador muito sensível no estágio inicial da oxidação e prevê quando e se a deterioração do sabor e odor irá ocorrer, em função de sua instabilidade. Quando sua concentração atinge certo nível, mudanças complexas ocorrem, formando compostos de baixo peso molecular, oriundos de sua degradação.

Várias pesquisas reportaram que o uso de atmosfera modificada e atmosfera controlada possuem o efeito de retardar a degradação lipídica. A utilização de atmosfera modificada com 100% de nitrogênio inibiu a ocorrência de ácidos graxos livres em amendoim armazenados por 15 semanas (OPIO; PHOTCHANACHAI, 2018), conseqüentemente reduziu a acidez do óleo. A redução da pressão parcial de O<sub>2</sub> durante o armazenamento reduziu a respiração de grãos e vegetais, ocasionando maior manutenção da estabilidade de lipídios e inibição da atividade de microrganismos (ÖLMEZ; AKBAS, 2009). Portanto, é necessário investigar a redução da pressão parcial de O<sub>2</sub> e aumento da pressão parcial de CO<sub>2</sub> sobre parâmetros de qualidade de sementes e verificar o efeito na estabilidade lipídica do óleo e dos grãos de soja armazenados por longos períodos de armazenamento.

### 3 CAPÍTULO 1

#### 3.1 QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA ARMAZENADAS EM ATMOSFERA CONTROLADA EM DIFERENTES TEMPERATURAS

##### RESUMO

AUTOR: Vagner Ludwig

ORIENTADOR: Auri Brackmann

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de oxigênio ( $O_2$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ ), combinado com diferentes temperaturas sobre a manutenção do potencial fisiológico e características químicas da semente de soja. No ano de 2018, sementes das cultivares Brasmax Desafio RR e TEC IRGA 6070 RR foram mantidas durante sete meses nas seguintes condições [1] ar ambiente; [2] 1,0 kPa  $O_2$  + 0,00 kPa  $CO_2$ ; [3] 2,0 kPa  $O_2$  + 0,00 kPa  $CO_2$ ; [4] 2,0 kPa  $O_2$  + 30 kPa  $CO_2$ ; [5] 2,0 kPa  $O_2$  + kPa 80  $CO_2$ . Em 2018 foram armazenadas sementes das cultivares NA 5909 RR e Fepagro 37 RR durante sete meses nas seguintes condições [1] ar ambiente; [2] 1,0 kPa  $O_2$  + kPa 0,0  $CO_2$ ; [3] 1,0 kPa  $O_2$  + 15 kPa  $CO_2$ ; [4] 1,0 kPa  $O_2$  + 30 kPa  $CO_2$ ; [5] 2,0 kPa  $O_2$  + kPa 0,0  $CO_2$ . A qualidade física e fisiológica foi avaliada pelos seguintes testes. A condição de 1,0 kPa  $O_2$  manteve maior porcentagem de germinação após sete meses de armazenamento, no entanto não é recomendado utilizar temperatura superior a 25 °C nesta condição de armazenamento. Alta pressão parcial de  $CO_2$  não apresentou efeitos positivos no potencial fisiológico das sementes das cultivares em todas as cultivares. Na temperatura de 20 °C, todas as cultivares alcançaram o padrão mínimo de germinação exigido pela legislação. A temperatura de 25 °C não é recomendada para o armazenamento da cultivar Brasmax Desafio RR, independente da condição de atmosfera controlada. A cultivar NA 5909 RR atendeu o padrão de germinação em todas as temperaturas avaliadas no estudo, quando foi utilizada atmosfera controlada. A condição ar ambiente (sem controle da atmosfera) não é recomendada para armazenar essa cultivar na temperatura de 25 e 30 °C. Sendo que a condição de AC é eficiente em manter a qualidade fisiológica de sementes de soja após 7 meses de armazenamento.

**Palavras-chave:** Germinação. Vigor. Potencial fisiológico.

### 3.2 INTRODUÇÃO

Na safra de 2018/2019 a estimativa da produção de soja no mundo foi de 360,5 milhões de toneladas. O Brasil ocupa o segundo lugar no ranking mundial com 113 milhões de toneladas, atrás do Estados Unidos da América (USDA, 2019). O uso de sementes com alta qualidade fisiológica é um dos pilares da construção da produtividade da cultura da soja, sendo que o custo de semente representa aproximadamente 3,0 % do custo total. Para Menten e Moraes (2010), a qualidade fisiológica, sanitária e física da semente são as bases para que a cultura de soja expresse o seu potencial genético.

O controle da umidade relativa e temperatura são primordiais para a manutenção da qualidade de sementes, de acordo com Radha et al. (2014). No entanto, a redução da temperatura eleva o custo do armazenamento e exige instalações adequadas que também possuem alto custo de aquisição. Em sistemas herméticos a variação da umidade é reduzida, portanto se a semente for seca de maneira adequada, variações externas da umidade relativa do ar podem ser desprezadas. O teor de água do grão não sofreu alteração durante o armazenamento em sistemas herméticos (ALENCAR et al., 2010; SCHONS et al., 2018).

O armazenamento em silos herméticos consiste na redução do O<sub>2</sub> e o consequente aumento do CO<sub>2</sub> que é liberado através da respiração da semente e da microflora associada. Isso reduz a deterioração das sementes, pela inibição de microrganismos por hipóxia (abaixo de 3%) e pela alta concentração de CO<sub>2</sub>, sendo que a atmosfera é mantida devido à hermeticidade do sistema (BARTOSIK; CARDOSO; RODRÍGUEZ et al., 2008; BANKS; ANNIS, 1990; ADLER; CORINTH; REICHMUTH, 2000; NAVARRO; DONAHAYE, 2005).

Ressalta-se que uma atmosfera com alto CO<sub>2</sub> e baixo em O<sub>2</sub> pode suprimir a capacidade de reprodução e/ou desenvolvimento dos insetos e fungos, assim como a própria atividade metabólica das semente ou grãos, favorecendo a sua conservação (NAVARRO et al., 2012; QUEZADA et al., 2006; VARNAVA et al., 1995), além de reduzir a taxa de oxidação e os efeitos deletérios do processo oxidativo, aumentando a longevidade das sementes (GROOT et al., 2015) e diminuindo a atividade de microrganismos (SAMAPUNDO et al., 2007). Rodríguez et al. (2010) demonstraram que a redução da concentração de oxigênio e o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, em atmosfera modificada, reduziram acentuadamente a atividade metabólica das sementes de soja favorecendo a manutenção da qualidade durante o armazenamento.

Nos últimos anos em vista da grande demanda de estruturas de armazenamento, o armazenamento hermético em silos bolsa surgiu como alternativa ao sistema deficitário, princi-

palmente no Brasil. Inicialmente o sistema era usado apenas com viés de armazenamento emergencial de grãos, contudo diversos trabalhos encontraram redução da perda de qualidade de grãos quando armazenado em sistema hermético. Foi constatado que grãos de milho podem ser armazenados em sistema hermético, com 16-20% de teor de umidade (WEINBERG et al., 2008). O armazenamento hermético reduziu a perda de peso, descoloração e infestação de insetos no sistema Purdue Improved Crop Storage (PICS) bag (WALKER et al., 2018) e em feijão preservou a coloração, o conteúdo de lipídios e proteínas, reduziu a condutividade elétrica e tempo de cozimento (SILVA et al., 2018; VANIER et al., 2014). Em soja o uso de alta concentração de CO<sub>2</sub> manteve a qualidade fisiológica de soja (AGUIAR et al., 2012; OCHANDIO et al., 2017). Groot et al. (2015) vão além da qualidade de grãos e recomendam o uso de anoxia, para complementar secagem e diminuição da temperatura para o armazenamento em banco de sementes. De acordo com esses autores, a atmosfera controlada surge como uma técnica promissora, para o armazenamento de sementes, podendo proporcionar boa manutenção da qualidade fisiológica, comparado ao armazenamento sem controle da atmosfera e umidade relativa do ar, ou até mesmo sendo utilizada junto com a temperatura abaixo de 20 °C. Além disso, o armazenamento hermético em silos bolsa pode ser uma alternativa para a proteção de sementes, para empresas armazenadoras, bem como para os produtores (JONES; ALEXANDER; JAMES, 2011; FREITAS et al., 2016). No entanto, a falta de informações sobre as condições adequadas no armazenamento hermético para diferentes produtos, impõem riscos aos produtores que adotam esse sistema (TAHER et al., 2019).

O objetivo foi avaliar o efeito da redução da pressão parcial de oxigênio e aumento da pressão parcial de dióxido de carbono, na manutenção da qualidade fisiológica de sementes de soja e verificar a possibilidade do aumento da temperatura quando é utilizada atmosfera controlada.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.3.1 Material experimental e preparação das amostras

Os experimentos foram conduzidos no Núcleo de Pesquisa Pós-colheita (NPP) do Departamento de Fitotecnia da UFSM. No ano de 2017, as sementes da cultivar Brasmax Desafio RR foram adquiridas do município de Sinop – MS e do cultivar TEC IRGA 6070 RR foram adquiridas em uma revenda de sementes certificadas em Santa Maria – RS. No ano de 2018 o

experimento foi realizado com sementes das cultivares NA 5909 RR e FEPAGRO 37 RR, ambas adquiridas no Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária ( DDPA ) / Centro de Pesquisa de Sementes, localizado no município de Júlio de Castilhos. Logo após a chegada no NPP foi realizada a determinação do teor de água, na qual lotes aqueles com alto teor de água, passaram por secagem com ar forçado. A temperatura do ar introduzido na massa de sementes foi de 35 °C, até chegar ao teor de 11,0 a 11,5 %. Após a secagem, foi determinada a retenção em peneira (Brasil, 2009), que, no ano de 2017, as cvs. Brasmax Desafio RR e TEC IRGA 6070 RR apresentaram peneira 6,0 e 5,5, respectivamente. No ano de 2018 a retenção em peneira foi de 6,5 a 7,5 mm, para ambos cultivares, NA 5909 RR e FEPAGRO 37 RR. Após foi realizada a pesagem e homogeneização das amostras composta por 1,0 kg de sementes.

As sementes foram armazenadas em silos herméticos de metal com volume de 24 L. Para a obtenção das condições de atmosfera foi realizado a diluição da pressão parcial de oxigênio (O<sub>2</sub>), através da injeção, na atmosfera do interior do silo, de nitrogênio (N<sub>2</sub>) proveniente de um gerador de N<sub>2</sub>, que funciona pelo princípio “*Pressure Swing Adsorption*” (PSA). A pressão parcial de CO<sub>2</sub> foi obtida através da injeção do gás de um cilindro de alta pressão de CO<sub>2</sub>. Duas vezes por semana foi realizada a determinação e correções das pressões parciais dos gases no interior dos silos, com auxílio de um analisador de gases marca Isolcell modelo Oxycarb. A temperatura de cada tratamento foi obtida com a alocação dos silos no interior de câmaras, monitoradas por termostatos eletrônicos e com termômetros de mercúrio, para aferição diária da temperatura. As sementes foram armazenadas por sete meses. As condições utilizadas nos experimentos estão descritas na tabela 1 e 2.

Tabela 1: Temperaturas e níveis de oxigênio e de gás carbônico no armazenamento em atmosfera controlada de sementes de soja cvs. Brasmax, Desafio RR e TEC IRGA 6070 RR. Santa Maria, 2017.

Temperatura	kPa O <sub>2</sub>	kPa CO <sub>2</sub>
20 °C	20,9	0,0 (ar ambiente)
20 °C	1,00	0,0
20 °C	2,00	0,0
20 °C	2,00	30
20 °C	2,00	80
25 °C	20,9	0,0
25 °C	1,00	0,0
25 °C	2,00	0,0

25 °C	2,00	30
25 °C	2,00	80
30 °C	20,9	0,0
30 °C	1,00	0,0
30 °C	2,00	0,0
30 °C	2,00	30
30 °C	2,00	80

Fonte: (Autor)

Tabela 2: Temperaturas e níveis de oxigênio e de gás carbônico no armazenamento em atmosfera controlada de sementes de soja cvs. NA 5909 RR e Fepagro 37 RR. Santa Maria, 2018.

Temperatura	kPa O <sub>2</sub>	kPa CO <sub>2</sub>
20 °C	20,9*	0,0 (ar ambiente)
20 °C	1,00	0,0
20 °C	1,00	15
20 °C	1,00	30
20 °C	2,00	0,0
25 °C	20,9	0,0
25 °C	1,00	0,0
25 °C	1,00	15
25 °C	1,00	30
25 °C	2,00	0,0
30 °C	20,9	0,0
30 °C	1,00	0,0
30 °C	1,00	15
30 °C	1,00	30
30 °C	2,00	0,0

Fonte: (Autor)

### 3.3.2 Variáveis analisadas

#### 3.3.2.1 Teor de água

A determinação do teor de água foi realizada por gravimetria utilizando-se uma estufa a 105 °C, durante 24 h, com aproximadamente 50 g de sementes pesadas antes e depois da secagem na estufa, de acordo com metodologia adaptada de Brasil (2009).

#### 3.3.2.2 Condutividade elétrica

Determinada com quatro repetições de 50 sementes, pesadas e colocadas em copos plásticos de 200 mL, nos quais foram adicionados 75 mL de água destilada. Após, os copos foram colocados em uma câmara climatizada com temperatura de 25 °C, durante 24 horas. Após este período, foi determinada a condutividade elétrica da solução contendo as sementes. A leitura foi feita com um condutivímetro digital da marca ASKO® modelo EC Basic AK51. Os dados foram expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  de semente (VIEIRA, 1999).

#### 3.3.2.3 Teste padrão de germinação

Cada tratamento foi dividido em quatro subamostras de 50 sementes, semeadas sobre duas folhas de papel filtro e cobertas por uma 3ª folha, umedecidos com água destilada 2,5 vezes o peso do papel. Após acondicionadas em câmara de crescimento com temperatura de 25 °C, com fotoperíodo de 13 horas. Foram realizadas duas contagens no teste padrão de germinação aos cinco dias (TPG5) e aos oito dias (TPG8). Os dados foram expressos em porcentagem de plântulas normais de acordo com (BRASIL, 2009).

#### 3.3.2.4 Emergência entre areia

Foram utilizadas quatro repetições, cada uma com 50 sementes, semeadas em areia previamente peneirada com peneira de 0,08mm, lavada e esterilizada em estufa por 36 horas a 105 °C. A semeadura foi realizada a dois centímetros de profundidade, em bandejas de plástico de 5 cm x 20 cm x 30 cm. Foi realizado a contagem da emergência entre areia aos cinco (EEA5) e aos oito dias (EEA8). Os dados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

### 3.3.2.5 *Emergência em canteiro*

Foram semeadas 200 sementes, divididas em 4 fileiras de 50 sementes, com espaçamento entre sementes de 1,5 cm e entre fileiras de 5,0 cm. Foi realizado a contagem da emergência em canteiro aos cinco (EC5) e aos oito dias (EC8). Os dados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, segundo (BRASIL, 2009).

### 3.3.2.6 *Comprimento de plântulas e Massa seca de plântulas*

Para determinar o comprimento de plântulas foram utilizadas as 25 plântulas normais retiradas do teste padrão de germinação primeira contagem, e com um paquímetro foi realizada a mensuração do comprimento da raiz (CR) e parte aérea (CPA). Os dados foram expressos em cm. A massa seca de plantas foi determinado, após a retirada dos cotilédones e separado a parte aérea e raiz e, posteriormente, foram levados a uma estufa de circulação de ar forçado, na temperatura de 60 °C até peso constante. Após as amostras foram retiradas e pesadas em balança de precisão de 0,001 g, foram determinados a massa seca da raiz (MSR) e parte aérea (MSPA). Os dados foram expressos em g de matéria seca  $10^{-1}$  plântulas.

### 3.3.3 **Análise estatística**

Para a condução dos experimentos foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições compostas por 1 kg de sementes. Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidades das variâncias residuais, sendo que os dados expressos em porcentagem foram transformados pela fórmula arco seno  $(X+0,5/100)^{0,5}$  e submetidos à análise da variância em nível de 5% de probabilidade de erro. Para a comparação de médias foi utilizado o teste de Scott-Knott com o software estatístico SISVAR®.

## 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.4.1 **Teste padrão de germinação**

No teste padrão de germinação a cultivar TEC IRGA 6070 RR armazenada nas condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>, apresentou maior germinação no



TPG5 e TPG8, comparado a condição ar ambiente e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>, quando armazenados na temperatura de 20 °C (Figura 1 e 2). Silva et al. (2018) encontraram maior germinação em feijão armazenado em silo bag comparado ao armazenamento em condição ar ambiente (25 °C e 75% UR), após 30 dias de armazenamento, sendo que essa diferença foi mantida até o final do armazenamento (120 dias). Por outro lado, Aguiar et al. (2012) encontraram maior manutenção da germinação quando as sementes foram armazenadas com 5,0 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de semente, independente da temperatura utilizada durante o armazenamento. Provavelmente a alta concentração de CO<sub>2</sub> reduziu a concentração de O<sub>2</sub>, fator complementar responsável pela maior manutenção da qualidade fisiológica da semente.

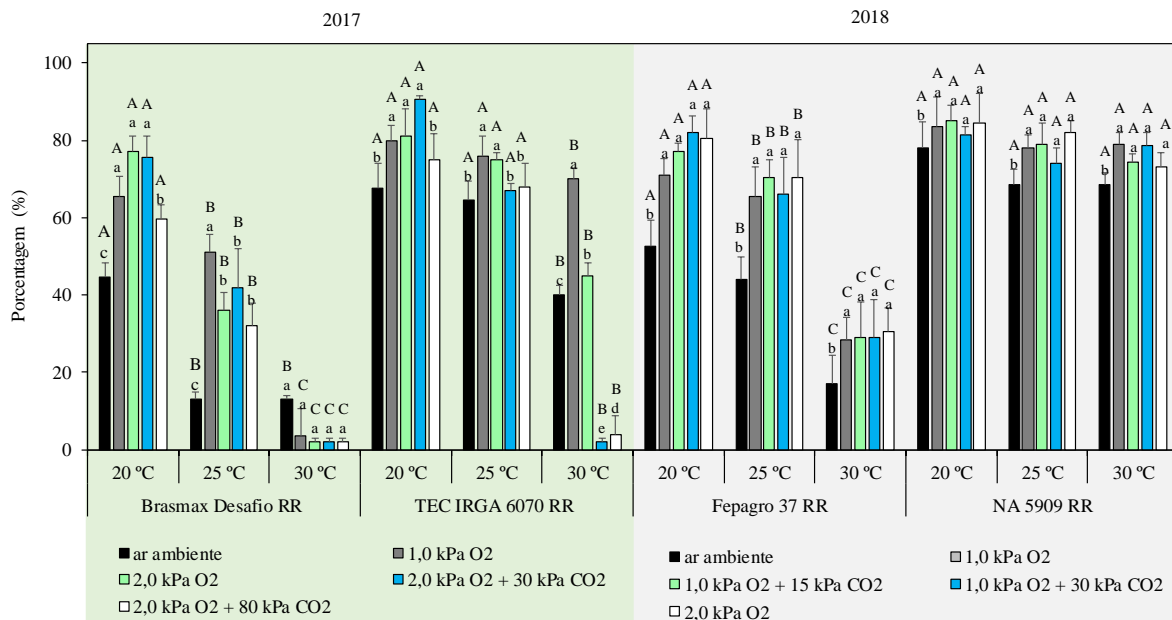


Figura 1: Teste padrão de germinação primeira contagem de sementes de cultivares de soja armazenadas durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

Na temperatura 25 °C a maior germinação no TPG5 foi observada na condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub>, indicando que para essa cultivar a elevação da temperatura e simultânea elevação da concentração de CO<sub>2</sub> (2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>) não apresentou efeito na manutenção da germinação, uma vez que essas condições tiveram germinação igual a condição ar ambiente (Figura 1). No entanto na literatura foi encontrado que o armazenamento com 25 e 50 % de CO<sub>2</sub> manteve maior emergência de plântulas de arroz, das cultivares IRGA 424 e IRGA 423, comparado ao armazenamento na condição ar ambiente

(AGUIAR et al., 2015). Por outro lado, quando a temperatura de armazenamento foi elevada para 30 °C, a germinação diminuiu significativamente em todas as condições. Nesta temperatura, a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> proporcionou maior germinação (70 %) em relação às demais condições, sendo que a germinação decresceu na seguinte ordem 2,0 kPa O<sub>2</sub>, ambiente, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>. Na literatura é relatado o efeito benéfico do CO<sub>2</sub> na germinação, o uso de atmosfera controlada com 50 % de CO<sub>2</sub> manteve a germinação de sementes de *Macrotyloma uniflorum* após seis meses de armazenamento comparada as condições controle, 30 e 40% de CO<sub>2</sub> (DIVYA et al., 2016).

Sementes da cultivar TEC IRGA 6070 RR, armazenadas na condição ambiente, na temperatura de 20 e 25 °C, apresentaram menor germinação no TPG8 em relação às demais condições. Resultado similar foi encontrado em sementes de *Jatropha curcas* L. no qual o armazenamento sem controle da atmosfera apresentou menor germinação após seis meses comparado a atmosfera controlada com alto CO<sub>2</sub> e varredura com nitrogênio (ANANDALAKSHMI et al., 2015). Na temperatura de 25 °C, a condição ar ambiente apresentou menor germinação no TPG8, provavelmente a alta concentração de O<sub>2</sub> provocou maior deterioração das sementes. Contudo na temperatura de 30 °C, apenas a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> manteve a germinação próxima de 80% (Figura 2).

No início do armazenamento as cultivares Brasmax Desafio RR e Fepagro 37 RR apresentaram respectivamente 88,0 e 90,0% de germinação no TPG5. Após sete meses de armazenamento, as cultivares Brasmax Desafio RR e Fepagro 37 RR na temperatura de 20 °C mantiveram maior germinação no TPG5 e TPG8, comparado à temperatura de 25 e 30 °C (Figura 1 e 2). Altas temperaturas aumentam a velocidade das reações, afetando enzimas envolvidas no reparo das estruturas e metabolização de espécies reativas de oxigênio (BERNAL-LUGO, LEOPOLD, 1998). Grãos de milho, armazenados na temperatura de 15 °C e 25 °C, apresentaram maior porcentagem de germinação do que na temperatura de 30 °C (SANTOS et al., 2012). Sementes da cultivar Brasmax Desafio RR submetidas a 20 °C, apresentaram maior germinação no TPG 5 nas condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> (figura 1).

Sementes da cultivar Brasmax Desafio RR submetidas à condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>, apresentaram redução na germinação no TPG5, comparado com as condições 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>, contudo manteve maior germinação do que a condição ar ambiente (figura 1). Na temperatura de 25 °C, a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> manteve maior germinação comparado às demais condições (Figura 1), além disso as condições 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> mantiveram maior germinação comparada

ao ar ambiente. No TPG8 sementes da cultivar Brasmax Desafio RR armazenadas na condição ar ambiente em 25 °C, apresentaram menor germinação comparado às demais condições, a condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> apresentou resposta intermediária. As sementes nesta condição apresentaram menor germinação comparada às condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> (Figura 2). No entanto, nenhuma condição de armazenamento nas temperaturas de 25 e 30°C, para essa cultivar, manteve germinação dentro dos níveis aceitáveis (80% de poder germinativo) no TPG5 e TPG8 (Figura 1 e 2).

Na cultivar NA 5909 RR a porcentagem de germinação no TPG5 e TPG8 no início do armazenamento foram de 85,0 e 93,0%, respectivamente, após sete meses de armazenamento. A menor germinação foi encontrada na condição ar ambiente independente da temperatura e a mesma resposta foi encontrada na cultivar Fepagro 37 RR (Figura 1 e 2), fato que demonstra o efeito da baixa pressão de O<sub>2</sub>. Sementes de feijão submetidas ao armazenamento com nitrogênio, apresentaram redução de 89% para 71% de germinação após 12 meses, enquanto o tratamento controle reduziu a germinação para 0,0% (BABARINSA; NDAM; OMODARA, 2017).

Fato notável é que a temperatura de armazenamento não influenciou a germinação nos testes TPG5 e TPG8 na cultivar NA 5909 RR (Figura 2), no entanto na cultivar Fepagro 37 RR a germinação reduziu de acordo com a elevação da temperatura (Figura 2). Provavelmente essa resposta é inerente às características genéticas dessa cultivar ou a manejos diferentes durante o processo de produção, pois ambas cultivares, NA 5909 RR e Fepagro 37 RR foram produzidas na mesma região. Isso pode ser explicado devido ao período de viabilidade das sementes de soja serem dependentes das características genéticas da espécie, que sofrem interferência do armazenamento (GRIS et al., 2010).

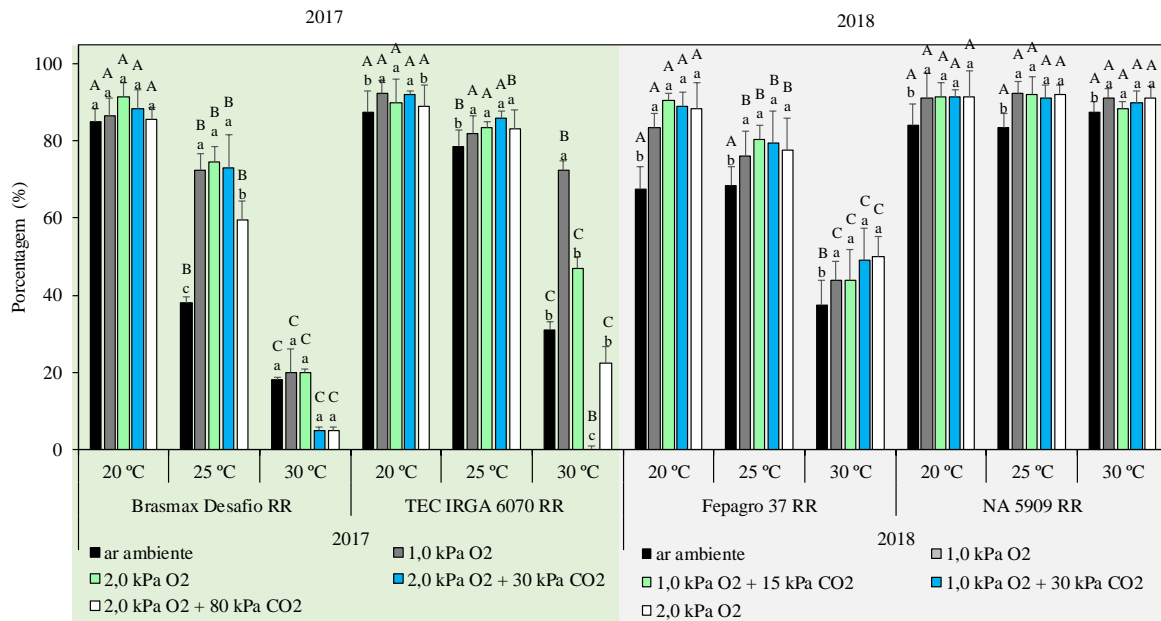


Figura 2: Teste padrão de germinação segunda contagem de sementes de soja, armazenadas durante sete meses, safra 2017-2018. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

### 3.4.2 Germinação entre areia

Com o intuito de determinar o potencial de germinação de um lote é necessário utilizar mais de um teste de germinação e vigor (MARCOS FILHO, 2015a). Foi realizado teste de emergência entre areia (EEA) com contagens aos 5 (EEA5) e 8 (EEA8) dias conforme descrito por Brasil (1999). Nas cultivares TEC IRGA 6070 RR e Brasmax Desafio RR o armazenamento a 30 °C reduziu a emergência entre areia aos cinco e aos oito dias (Figura 3 e 4) comparado a 20 e 25 °C. De acordo com Paraginski et al. (2015), a redução da temperatura dos grãos diminui a velocidade das reações bioquímicas e metabólicas dos grãos, pelas quais reservas armazenadas no tecido de sustentação são desdobradas, transportadas e resintetizadas no eixo embriônico permitindo a manutenção das características iniciais de armazenamento dos grãos por períodos mais longos.

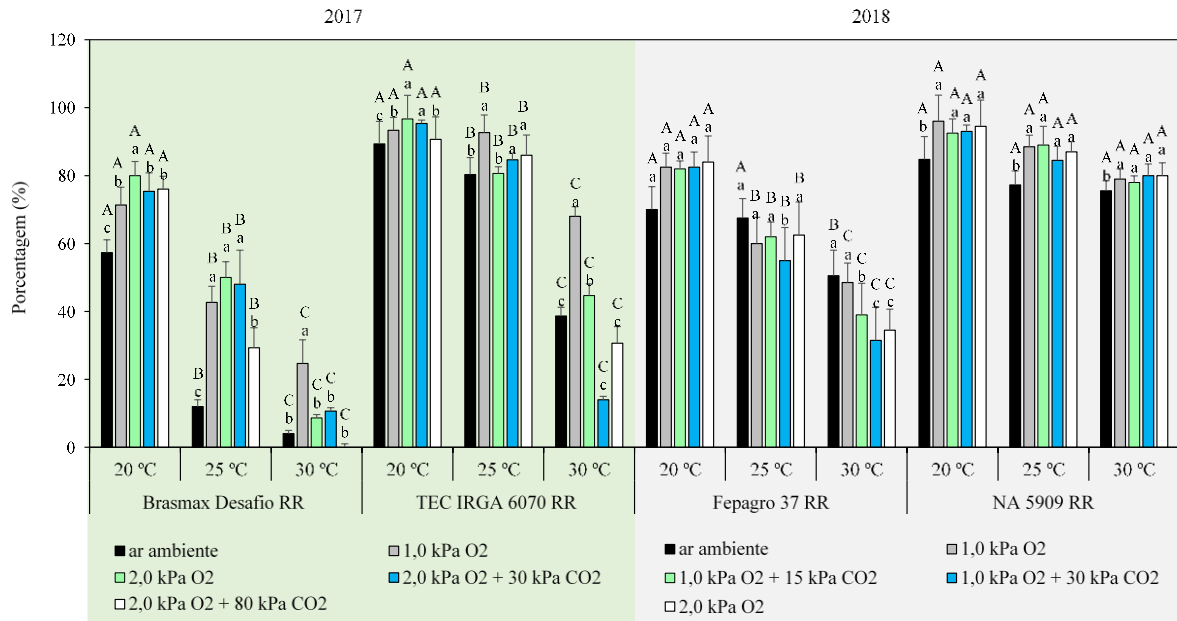


Figura 3: Emergência entre areia primeira contagem de sementes de soja, armazenadas durante sete meses. \*Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

Na EEA5 sementes da cultivar TEC IRGA 6070 RR, armazenadas na temperatura de 20 °C apresentaram maior emergência na condição 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>, seguido da condição 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>, enquanto a menor foi observada na condição ar ambiente (Figura 3). A 25 °C, as condições ar ambiente e 2,0 kPa O<sub>2</sub> apresentaram menor EEA5 (Figura 3). Na temperatura de 30 °C, a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> manteve maior EEA5 em relação às demais condições. A emergência rápida e uniforme é essencial para alcançar alto rendimento e boa qualidade e quantidade de grãos em culturas anuais (YARI; AGHAALIKANI; KHAZAEI, 2010).

No teste de EEA8 de sementes da cultivar TEC IRGA 6070 RR, armazenadas na temperatura de 20 °C, foi menor na condição ar ambiente em relação às demais condições (Figura 4), evidenciando o efeito do baixo oxigênio na manutenção da qualidade fisiológica. Na temperatura de 25 °C não houve diferença entre as condições, contudo o tratamento ar ambiente apresentou menor germinação no teste padrão de germinação e na germinação a campo (Figura 1, 2, 5 e 6). A condição 1,0 kPa O<sub>2</sub> armazenada na temperatura de 30 °C, manteve maior GEA8 comparado às demais condições, sendo a única a alcançar o padrão mínimo de germinação. De

acordo com Rodríguez et al. (2010), a redução da concentração de oxigênio reduziu acentuadamente a atividade metabólica das sementes de soja favorecendo a manutenção da qualidade durante o armazenamento.

A emergência de sementes da cultivar Brasmax Desafio RR nos testes EEA5 e EEA8, armazenadas a 20 °C na condição ar ambiente, foi menor comparado às demais condições (Figura 3 e 4). Na temperatura de 25 °C, a maior germinação no teste de EEA8 foi observada nas condições 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> comparado a condição 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> e ar ambiente (Figura 4). A condição 1,0 kPa O<sub>2</sub>, na temperatura de 30 °C, manteve maior emergência do que as demais condições, no entanto o efeito da redução do oxigênio não foi suficiente para contrabalançar o efeito deletério do aumento da temperatura no potencial de germinação, uma vez que essas sementes apresentaram germinação abaixo de 80%. A EEA8 na temperatura de 25 °C foi maior nas condições 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> comparado às demais condições. Neste caso, tanto o aumento da pressão parcial de CO<sub>2</sub> como a condições ar ambiente não foram eficientes na manutenção da germinação após sete meses de armazenamento. No entanto foi reportado que o armazenamento com concentração de CO<sub>2</sub> acima de 80% ou redução da concentração de O<sub>2</sub> até 2%, mantiveram a viabilidade de sementes de arroz, como reduziu a incidência de *Aspergillus flavus*, comparada ao armazenamento com 5% de O<sub>2</sub> e concentrações de CO<sub>2</sub> mais baixa (15, 20, 40 e 60%) (GUPTA; SINHA; ATWAL, 2014).

Na cultivar Fepagro 37 RR nos testes de EEA5 e EEA8 a condição ar ambiente manteve germinação igual a das sementes armazenadas na temperatura de 20 e 25 °C (Figura 3 e 4), por outro lado, as condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> na temperatura de 20 °C mantiveram maior germinação, comparado a 25 e 30 °C. Na temperatura de 25 °C, a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> proporcionou menor EEA5. Na temperatura de 30 °C as condições de 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram menor EEA5 e EEA8 (Figura 3 e 4), comparado a 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> e ambiente. Fato notável é que o aumento da temperatura e a elevação da pressão parcial de CO<sub>2</sub> resulta em redução na EEA5 e EEA8. No entanto, na literatura há relatos de que a alta concentração de CO<sub>2</sub> apresenta efeito positivo na manutenção do vigor e da germinação de semente de soja (AGUIAR et al., 2012).

Na cultivar Fepagro 37 RR foi observado menor germinação no teste de EEA5 na temperatura de 25 °C na condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> (Figura 3). Fato relacionado ao alto CO<sub>2</sub>, sementes de *Secale cereale* armazenadas por cinco anos na temperatura de 10 °C, em

atmosfera com CO<sub>2</sub>, apresentaram porcentagem de germinação igual a condição sem controle da atmosfera (BARZALI et al., 2005).

Sementes da cultivar NA 5909 RR armazenadas na condição ar ambiente apresentaram menor germinação nos teste de EEA5 e EEA8, independente da temperatura de armazenamento utilizada (Figura 3 e 4). Fato notável é que na temperatura de 20 °C, sementes desta cultivar proporcionaram germinação acima de 80 % após sete meses de armazenamento, em todas as condições de atmosfera utilizadas.

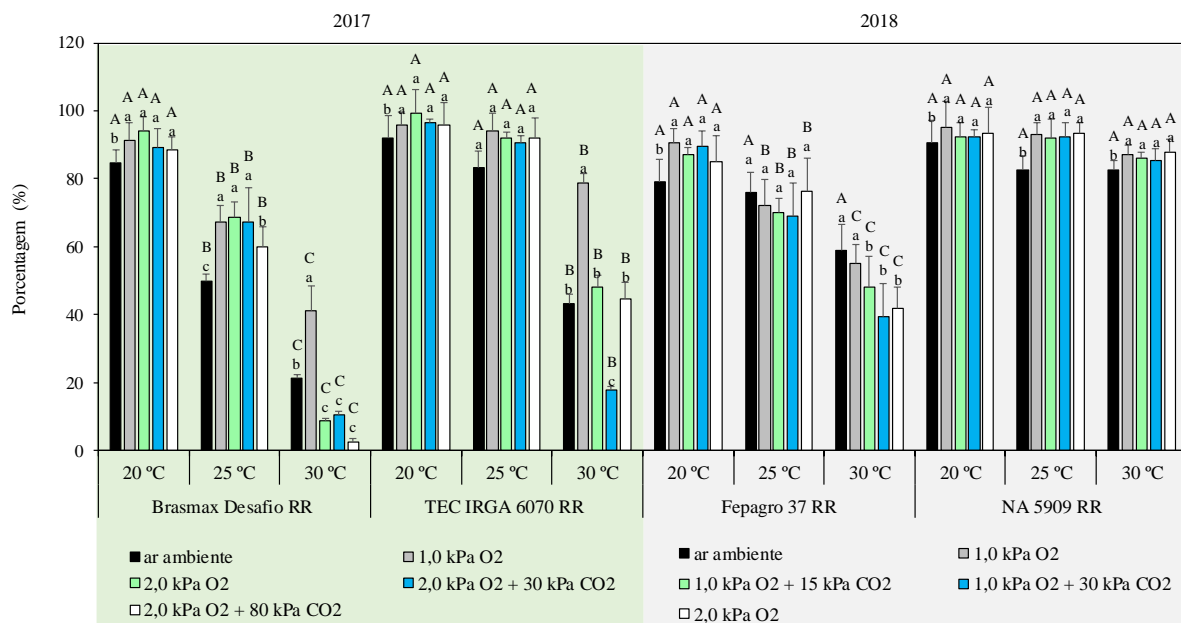


Figura 4: Emergência entre areia segunda contagem de sementes de soja, armazenadas durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

### 3.4.3 Emergência a campo

A emergência a campo (EC) indica uma importante informação sobre a qualidade fisiológica da semente quando exposta a condições não ideais de temperatura e umidade, sendo esta avaliação o principal teste de vigor da semente (MARCOS FILHO, 2015b). O aumento da temperatura reduziu a EC5 e EC8 (Figura 5 e 6) na cultivar TEC IRGA 6070 RR. Na temperatura de 20 °C, a condição ar ambiente apresentou menor EC em ambas contagens. Na temperatura de 25 °C a condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub> manteve maior EC5 e EC8 comparada às demais

condições. O armazenamento hermético manteve maior qualidade das sementes de *Phleum pratense* e *Sesamum indicum* L., principalmente quando associado ao baixo teor de umidade (ELLIS; HONG, 2007). Na temperatura de 30 °C, a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> apresentou maior EC8 em relação às demais condições, contudo analisando os testes de emergência entre areia, teste padrão de germinação e emergência a campo cabe ressaltar que todas condições tiveram germinação abaixo do mínimo tolerado pela legislação (80% poder germinativo).

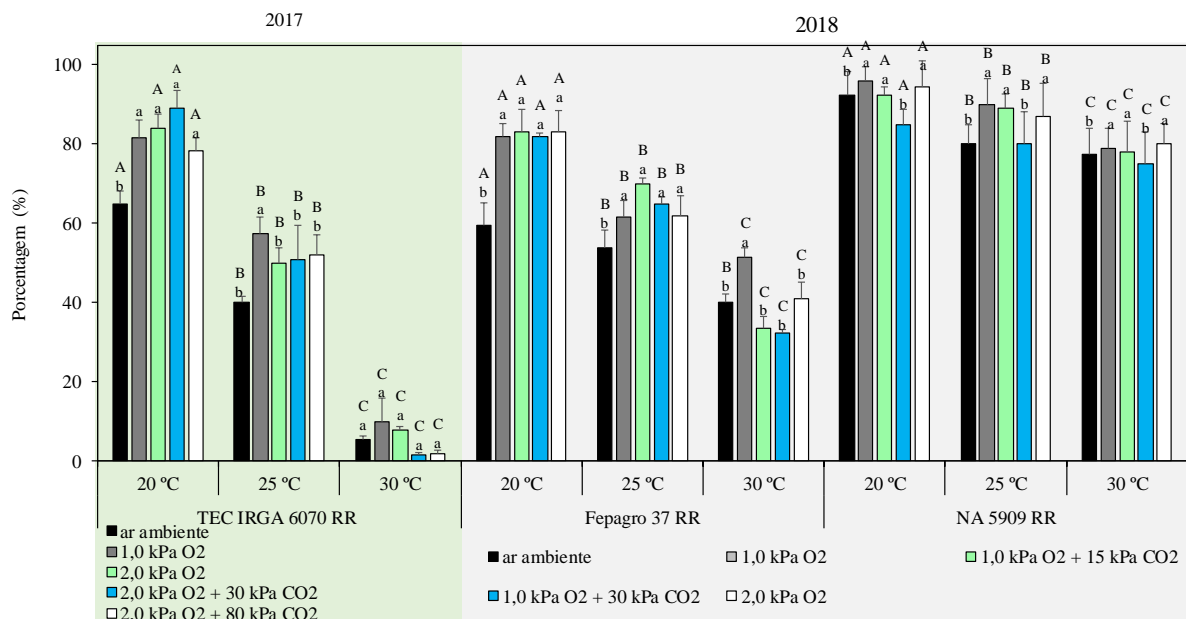


Figura 5: Emergência a campo primeira contagem de sementes de soja, armazenadas durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

Nos testes de EC5 e EC8, a cultivar Fepagro 37 RR apresentou menor germinação na condição ar ambiente quando as sementes foram armazenadas na temperatura de 20 e 25 °C (Figura 5 e 6), comparado as condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>, fato explicado pela redução da pressão parcial de O<sub>2</sub>, que possivelmente reduziu a respiração e consumo das reservas. Por outro lado, na temperatura de 30 °C houve maior porcentagem de germinação na condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, nos testes de EC5 e EC8, evidenciando o efeito do baixo O<sub>2</sub> na manutenção do potencial fisiológico.



Sementes da cultivar NA 5909 RR apresentaram nos testes de EC5 e EC8 redução da germinação quando submetidas às temperaturas elevadas, sendo que a 20 °C houve maior germinação, seguido da temperatura de 25 e 30 °C, respectivamente (Figura 5 e 6). Entre as condições de armazenamento, a maior porcentagem de germinação no teste de EC5, nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C, foi observada a 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>, comparada ao ar ambiente e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> (Figura 5). Portanto, para essa cultivar o uso de 30 kPa CO<sub>2</sub> não foi eficiente na GC. De acordo com Shekar et al. (2018) o armazenamento com CO<sub>2</sub> (20, 40, 60 ou 80%) manteve maior germinação e vigor de sementes de milho, após seis meses de armazenamento, comparado a condição controle sem adição de CO<sub>2</sub>, além disso a germinação e o vigor aumentaram de acordo com a elevação da concentração de CO<sub>2</sub>. Na EC8 a condição ar ambiente apresentou menor porcentagem de germinação comparado as demais condições, independentes da temperatura de armazenamento (Figura 6).

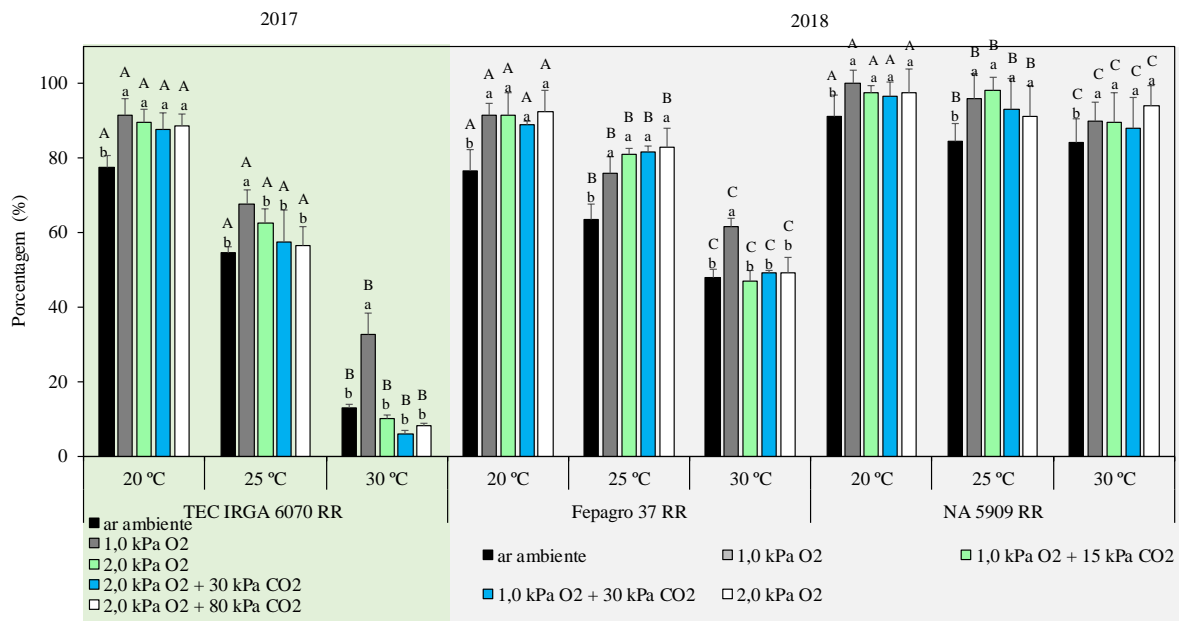


Figura 6: emergência a campo segunda contagem de sementes de soja, armazenadas durante sete meses. \* barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de scott-knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

#### 3.4.4 Comprimento da parte aérea de plântulas

Vigor é uma característica complexa e nem sempre pode ser completamente avaliado por um único teste, e dependendo dos métodos adotados, os resultados podem ser bem diferentes (FREITAS et al., 2002). Para obter informações sobre o vigor das sementes deve basear-se na interpretação dos resultados de dois ou três testes cujos princípios possam estar intimamente relacionados com os objetivos desejados (MARCOS FILHO, 2015 a).

Na cultivar Brasmax Desafio RR não houve diferença no comprimento da parte aérea de plântulas (CPA), quando as sementes foram armazenadas na temperatura de 20 ou 25 °C na condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> (Figura 7), por outro lado nas demais condições o maior CPA foi observado na temperatura de 20 °C, decrescendo com o aumento da temperatura. Na temperatura de 25 °C foi observado menor CPA na condição ar ambiente comparado às demais condições, além disso a 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> apresentou menor CPA comparado às condições 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>.

Plântulas da cultivar TEC IRGA 6070 RR apresentaram maior CPA na condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> na temperatura de 20 °C (Figura 7). O CPA da cultivar NA 5909 RR não foi afetado pela temperatura de armazenamento (Figura 7), no entanto, na temperatura de 30 °C, o menor CPA foi observado nas condições ar ambiente e 1,0 kPa O<sub>2</sub>. Na temperatura de 25 °C, o menor CPA foi encontrada na condição ar ambiente. A cultivar Fepagro 37 RR não apresentou diferença para o parâmetro CPA. Resposta similar foi encontrada em arroz, no qual o armazenamento com diferentes concentrações de CO<sub>2</sub> não resultou em diferença no comprimento da parte aérea de plântulas de arroz submetidas a 45 dias de armazenamento (AGUIAR et al., 2015).

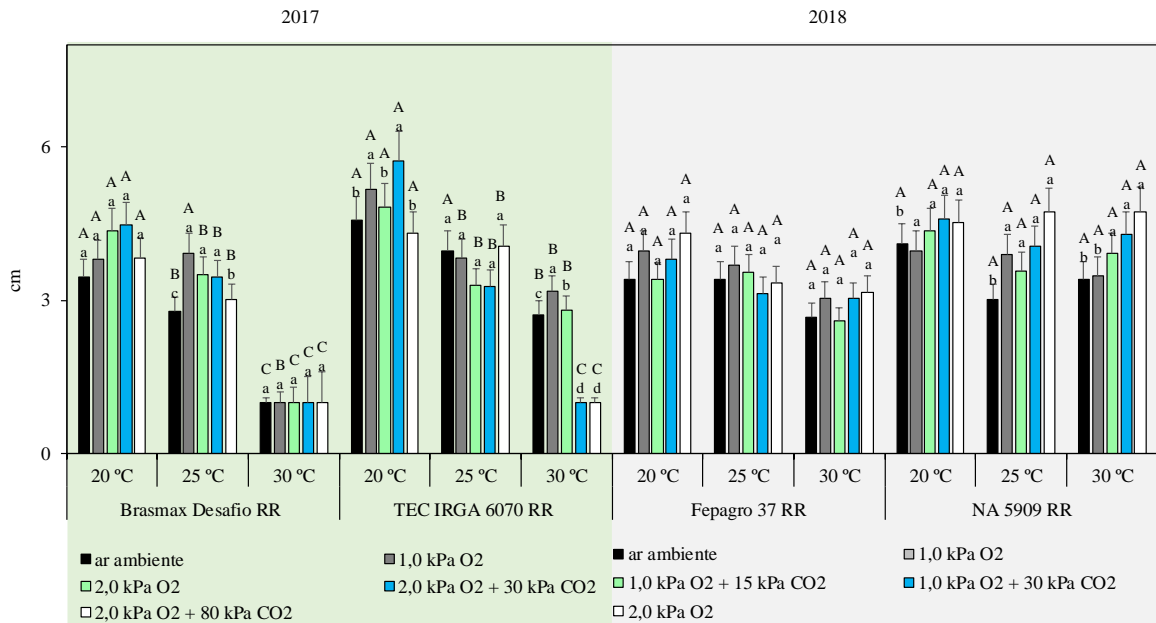


Figura 7: Comprimento da parte aérea de plântulas de soja de sementes armazenadas durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

### 3.4.5 Comprimento da raiz de plântulas

O comprimento de raiz (CR) da cultivar TEC IRGA 6070 RR foi menor quando as sementes foram armazenadas na condição ar ambiente, comparado às demais condições na temperatura de 20 °C (Figura 8), fato que reitera a maior deterioração das sementes mantidas na condição ar ambiente, visto que apresentam menor porcentagem de germinação em todos os testes realizados (Figura 1, 2, 3, 4, 5 e 6), além de menor MSR (Figura 10). Contudo, na temperatura de 25 °C não houve diferença entre as condições de armazenamento. Cabe ressaltar o efeito benéfico do uso da baixa pressão parcial de O<sub>2</sub>, porém a menor porcentagem de germinação, no TPG8, foi encontrada na condição ar ambiente e a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> apresentou maior porcentagem de germinação e emergência no TPG5 e na EC. A mesma resposta foi observada na temperatura de 30 °C, onde as condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> apresentaram maior CR do que o ar ambiente e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>. Resultado similar foi encontrado por Divya et al. (2016) onde a concentração de 50% CO<sub>2</sub> não teve efeito no comprimento de raiz de plântulas de *Macrotyloma uniflorum* comparado a condição controle, no entanto as concentrações de 30 e 40% de CO<sub>2</sub> apresentaram maior manutenção do

comprimento de raiz, após seis meses de armazenamento. De acordo com Aguiar et al. (2015) foi observado maior comprimento da parte radicular de plântulas de arroz armazenadas com 50% de CO<sub>2</sub>, comparado ao armazenamento na condição ar ambiente e 25% de CO<sub>2</sub>.

A cultivar Brasmax Desafio RR quando armazenada na temperatura de 20 °C não houve diferença entre a condição ar ambiente e as condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> (Figura 8), contudo é importante destacar que a condição ar ambiente teve menor MSR comparada a 1,0 kPa O<sub>2</sub> (Figura 10). Na temperatura de 25 °C, as condições 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram maior CR comparado a condição ar ambiente e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>. Efeito do dióxido de carbono pode ser diretamente associado com as atividades das enzimas amilase, desidrogenase e outras envolvidas na germinação, permitindo uma maior mobilização das reservas das sementes para a formação de radículas das plântulas (CARVALHO et al., 2012), no entanto o uso de 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> não apresentou maior manutenção do CR (Figura 8). Plântulas da cultivar NA 5909 RR, do armazenamento controle apresentaram menor CR em relação às demais condições de AC, em todas temperaturas testadas (Figura 8).

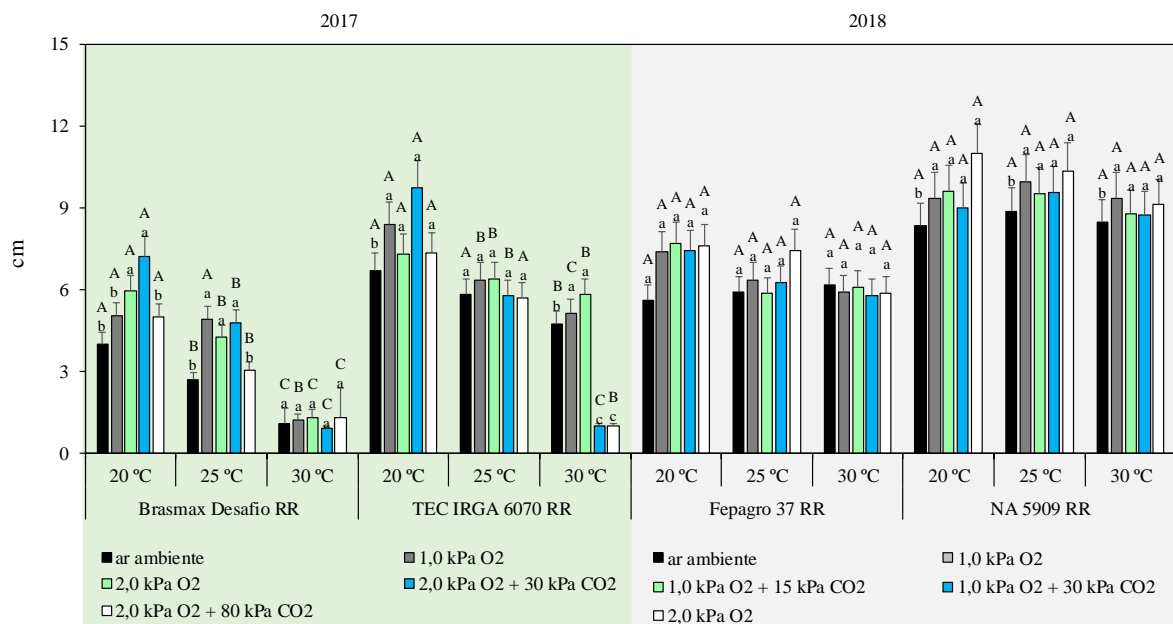


Figura 8: Comprimento da raiz de plântulas de soja de sementes armazenadas durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

### 3.4.6 Massa seca da parte aérea de plântulas

A massa seca da parte aérea (MSPA) é de extrema importância, pois a plântula inicialmente utiliza a reserva dos cotilédones para emergir. A partir da emergência o processo de fotossíntese é iniciado e, quanto maior área fotossinteticamente ativa, maior será a capacidade da planta em assimilar fotossintatos e, conseqüentemente, mais rápido é o estabelecimento da plântula. Na cultivar TEC IRGA 6070 RR a MSPA foi similar quando a temperatura usada no armazenamento foi de 20 e 25 °C, independente da condição utilizada (Figura 9). Na temperatura de 30 °C, as condições de 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram menor MSPA. Provavelmente a alta concentração de CO<sub>2</sub> foi estressante para a semente. Schuch et al. (2000) verificaram que diferenças no vigor das sementes causaram diferenças na produção de matéria seca, durante todo o período vegetativo, tendo as plantas oriundas de sementes de alto vigor apresentado produção de matéria seca até 31% superior às oriundas de sementes de baixo vigor.

A MSPA da cultivar Brasmax Desafio RR foi reduzida na temperatura de 30 °C (Figura 9). A alta temperatura aumenta a velocidade das reações e, conseqüentemente, aumenta a taxa respiratória. Não houve diferença na MSPA nas temperaturas de 20 e 30 °C, por outro lado, quando mantidas a 25 °C a maior MSPA foi encontrada nas condições com 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>, contudo nessas condições foi observado menor germinação no TPG5 (Figura 2), além disso a condição 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> apresentou menor TPG8, GEA5 e GEA8 (Figura 6, 3 e 4). Já a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> apresentou maior MSPA do que a condição ar ambiente.

Na cultivar Fepagro 37 RR, a temperatura de armazenamento de 30 °C reduziu a MSPA e MSR, sendo que a maior manutenção da MS foi observada na temperatura de 20 °C (Figura 9). Na temperatura de 20 °C, as condições ar ambiente e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram menor MSPA em relação a 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> (Figura 9). Por outro lado, na temperatura de 25 °C, a menor MSPA foi observada na condição ar ambiente e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>, se comparado a 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub>.

Na cultivar NA 5909 RR a massa seca da parte aérea (MSPA) não foi afetada pelas condições de armazenamento nem pela temperatura (Figura 9). Resultado similar foi encontrado por Aguiar et al. (2015) em um estudo com diferentes concentrações de CO<sub>2</sub> durante o armazenamento de arroz, não encontraram diferença nos parâmetros massa seca da raiz e da parte aérea de plântulas de arroz após 45 dias de armazenamento.

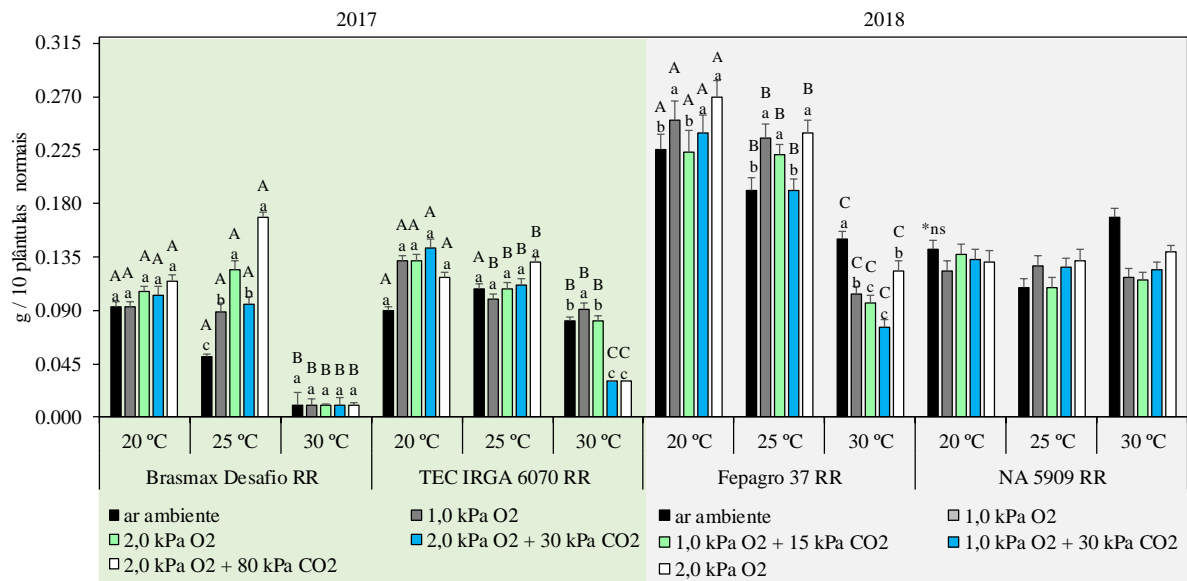


Figura 9: Massa seca da parte aérea (g) de plântulas de soja oriundas de sementes armazenadas durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. \*\*ns: não significativo. Barras de erros representam o desvio padrão.

### 3.4.7 Massa seca da raiz de plântulas

A massa seca da raiz (MSR) é um indicativo de vigor da semente, pois quanto mais desenvolvido o sistema radicular da planta, maior capacidade de captação de água e nutrientes. Quando as sementes da cultivar TEC IRGA 6070 RR foram armazenadas a 20 °C, a condição ar ambiente teve menor MSR em relação às demais condições, por outro lado, quando armazenadas a 25 °C, não houve diferença entre as condições (Figura 10). Na temperatura de 30 °C a resposta foi similar ao encontrado na MSPA (Figura 9), onde a condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram menor MSR, além disso a redução da pressão parcial de O<sub>2</sub> para 1,0 kPa, manteve a MSR na temperatura de 30 °C. Efeitos do vigor sobre a matéria seca também foram observados por outros autores quando avaliado o comportamento da comunidade de plantas em relação ao vigor (HÖFS et al., 2004; LUDWIG et al., 2011; MIELEZRSKI et al., 2008).

A MSR das plântulas da cultivar Brasmax Desafio RR, quando armazenadas na condição ar ambiente, reduziu de acordo com o aumento da temperatura (Figura 10). Nas demais condições não houve diferença na MSR, quando armazenadas na temperatura de 20 e 25 °C, por outro lado a 30 °C houve redução da MSR. A condição ar ambiente apresentou menor MSR

em sementes mantidas a 20 e 25 °C, fato que evidencia o efeito benéfico do uso de baixa pressão parcial de O<sub>2</sub> e efeito deletério da pressão parcial de 80 kPa CO<sub>2</sub>. Fato notável é que na temperatura de 25 °C, o uso de 1,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> também manteve maior MSR, por outro lado o uso do CO<sub>2</sub> apresentou menor manutenção da MSR comparado à redução do O<sub>2</sub>.

Na cultivar Fepagro 37 RR a massa seca raiz (MSR) na temperatura de 20 °C foi maior na condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub>, seguido pelas condições de 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> (Figura 10), sendo que a condição ar ambiente proporcionou sementes com menor MSR, ficando evidente o efeito do baixo O<sub>2</sub> na manutenção do potencial fisiológico da semente. Já na temperatura de 25 °C a condição ar ambiente e 1,0 kPa O<sub>2</sub> apresentou maior MSR comparado às condições 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>. A temperatura de armazenamento não influenciou o comprimento da raiz (CR) desta cultivar (Figura 8).

Plântulas da cultivar NA 5909 RR apresentaram redução na MSR quando armazenadas na condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub> na temperatura de 30 °C em relação a 20 e 25 °C (Figura 10). Na temperatura de 20 e 25 °C, a maior MSR foi observada na condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub>, em contrapartida na temperatura de 30 °C a resposta foi inversa, essa condição apresentou menor MSR em relação às demais condições.

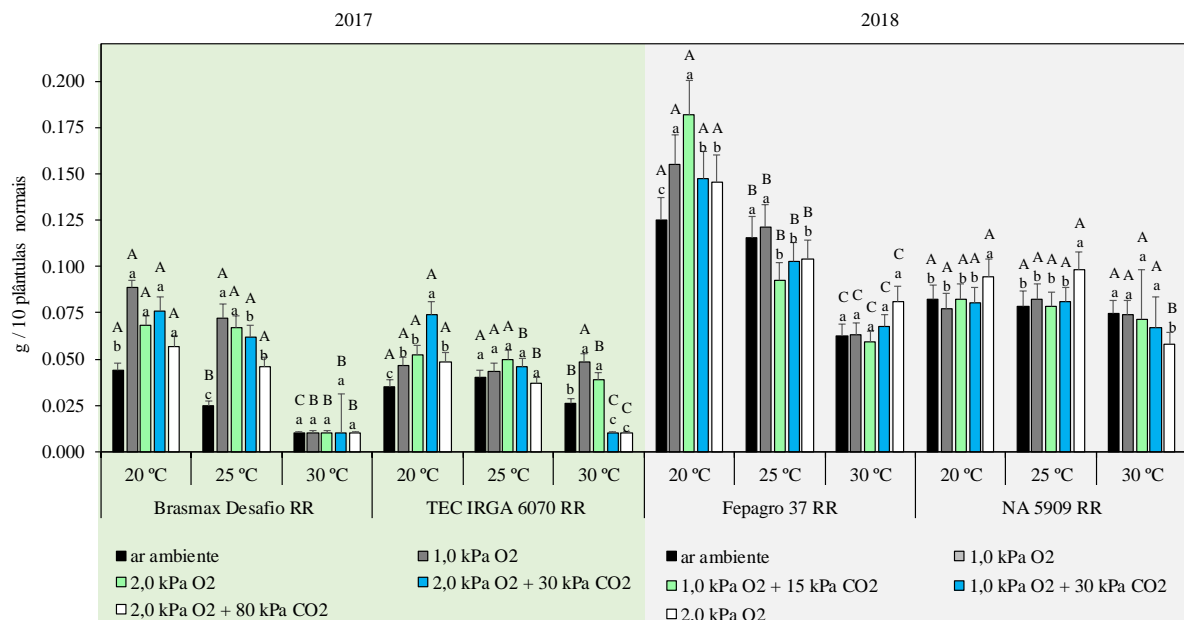


Figura 10: Massa seca da raiz de plântulas de soja oriundas de sementes armazenadas durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não

diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

### 3.4.8 Condutividade elétrica das sementes

A condutividade elétrica é um método de avaliação rápido e barato do vigor. Na cultivar TEC IRGA 6070 RR esta foi maior na temperatura de 30 °C, reduzindo com a diminuição da temperatura de 25 °C para 20 °C, na qual foram observados os menores valores (Figura 11). Resposta distinta foi observada no GEA5, GC5 e GC8 (Figura 3, 5 e 6). Não houve diferença na condutividade elétrica entre as condições de armazenamento na temperatura de 20 e 25 °C. Entretanto, no presente trabalho foram observadas variações na germinação das sementes, entre as pressões parciais de gases adotadas, para o TPG, GEA e GC, porém não foram observadas diferenças no teste de condutividade elétrica.

A condutividade elétrica na cultivar Brasmax Desafio RR foi reduzida em função da diminuição da temperatura, em que 30 °C apresentou maior condutividade, seguida da temperatura de 25 e 20 °C, respectivamente (Figura 11). Em sementes da cultivar Brasmax Desafio RR armazenadas na temperatura de 30 °C, a condutividade foi maior nas condições 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> comparado aos demais tratamentos.



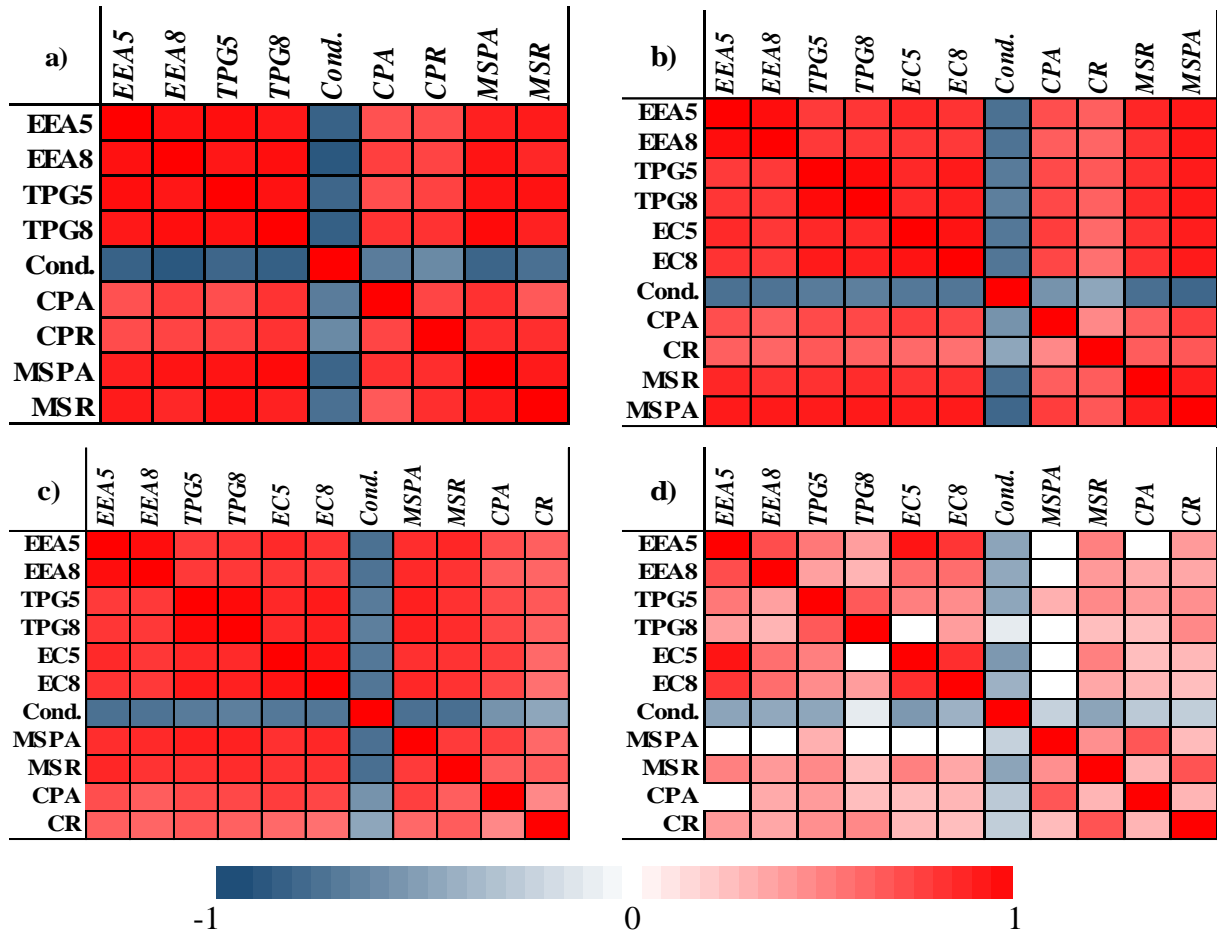


Figura 11: *Heat map* mostrando a matrix de correlação de Pearson, entre parâmetros da qualidade fisiológica de sementes de soja armazenadas por sete meses. a) Brasmax Desafio RR, b) TEC IRGA 6070 RR, c) Fepagro 37 RR e d) NA 5909 RR. EEA: emergência entre areia; TPG: teste padrão de germinação; EC: emergência a campo; Cond.: condutividade elétrica; MSPA: massa seca da parte aérea; MSR: massa seca da raiz; CPA: comprimento da parte aérea; CR: comprimento da raiz.

A maior condutividade elétrica na cultivar Fepagro 37 RR foi observada na temperatura de 30 °C quando comparada com a temperatura de 20 e 25 °C, fato que apresenta relação inversa com a porcentagem de germinação dos seguintes testes TPG5, TPG 8, GEA5, GEA8, GC5, GC8 (Figura 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7). Na temperatura de 20 °C, a condição ar ambiente e 1,0 kPa O<sub>2</sub> apresentou menor condutividade elétrica, no entanto a condição ar ambiente apresentou menor porcentagem de germinação no TPG5, TPG 8, GEA5, GEA8, GC5, GC8 (Figura 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7). Na temperatura de 25° C a condutividade elétrica foi maior na condição ar ambiente, comparado às s demais condições, identificando menor potencial fisiológico das sementes da

condição ar ambiente que apresentaram menor porcentagem de germinação no TPG5, TPG 8, GC5, GC8 (Figura 1, 2, 4 e 5).

Na cultivar NA 5909 RR a condutividade elétrica na condição ar ambiente e 1,0 kPa O<sub>2</sub> foi menor na temperatura de 20 °C quando comparado com as temperaturas de 25 e 30 °C (Figura 11). O armazenamento em atmosfera controlada com 0,0 % O<sub>2</sub> + 60,0 % CO<sub>2</sub>, 0,0 % O<sub>2</sub> + 40,0 % CO<sub>2</sub> que mantiveram a qualidade fisiológica de sementes de *Cajanus caja* L. pelos testes de tetrazólio e condutividade elétrica, após 10 meses de armazenamento (MANJUNATHA et al., 2016).

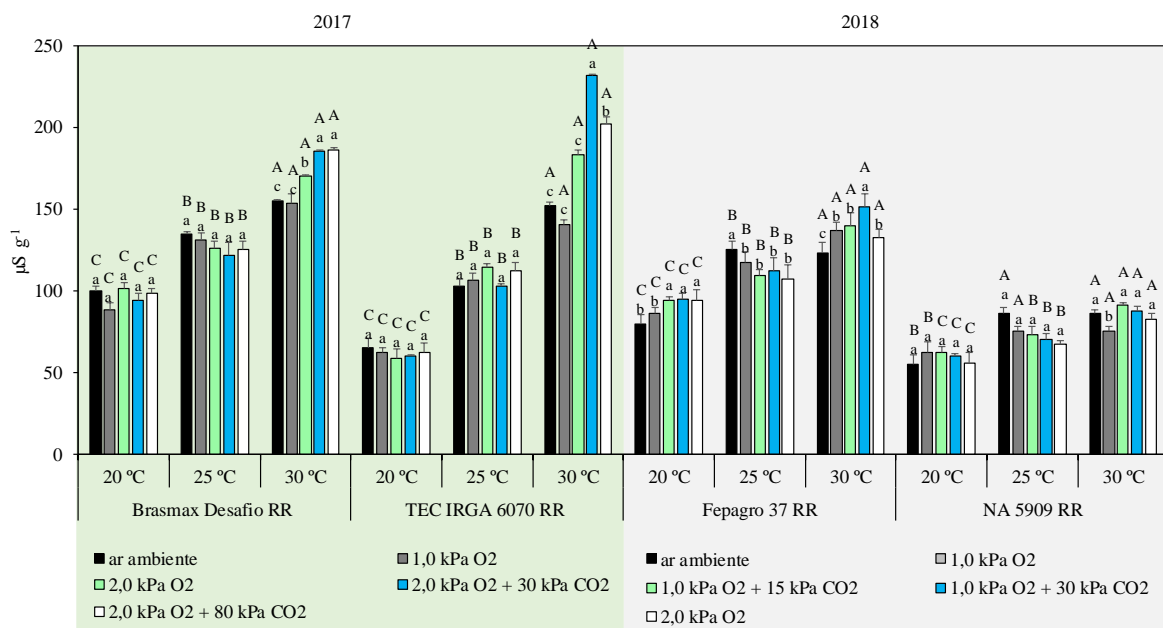


Figura 12: Condutividade elétrica de sementes de soja armazenadas durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento, dentro de cada cultivar, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

Uma das principais causas da perda de potencial fisiológico durante o armazenamento é o aumento do teor de umidade da semente, associado ao aumento da respiração, ocorrência de fungos e variação da umidade externa que afeta o equilíbrio higroscópico da semente (QUEZADA et al., 2006; FREITAS et al., 2016). O teor de água da semente não apresentou diferença estatística em nenhuma das cultivares avaliadas (dados não apresentados).

### 3.5 CONCLUSÕES

A condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> resulta em maior porcentagem de germinação após sete meses de armazenamento, no entanto não é recomendado utilizar temperatura superior a 25 °C durante o armazenamento.

A uso de alta pressão parcial de CO<sub>2</sub> não apresenta efeitos positivos no potencial fisiológico das sementes das cultivares em todas as cultivares TEC IRGA 6070 RR, Brasmax Desafio RR, Fepagro 37 RR e NA 5909 RR.

Na temperatura de 20 °C todas as cultivares alcançam o padrão mínimo de germinação exigido pela legislação em todas as condições de AC e ar ambiente.

A temperatura de 25 °C não é recomendada para o armazenamento da cultivar Brasmax Desafio RR, independente da condição de atmosfera controlada. A cultivar NA 5909 RR atende o padrão de germinação na temperatura de 20 °C, em todas as condições de armazenamento. Na temperatura de 25 e 30 °C esta cultivar deve ser armazenada somente em AC para atingir o padrão mínimo de germinação.

### 3.6 REFERÊNCIAS

- ADLER, C.; CORINTH, H. G.; REICHMUTH, C. Modified atmospheres. In: **Subramanyam, hagstrum, d.w. (eds.), alternatives to pesticides in stored-products**. IPM Kluwer, Boston, MA, p. 105-146, 2000.
- AGUIAR, R. W. de S. et al. Efeito do dióxido do carbono, temperatura e armazenamento sobre sementes de soja e micoflora associada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 554-560, 2012.
- AGUIAR, R. W. de S. et al. Effect of carbon dioxide on quality of rice seeds. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 5, p. 1413-1422, 2015.
- ALENCAR, E. R. De et al. Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 303-308, 2010.
- ANANDALAKSHMI, R. et al. Influence of seed storage atmosphere on oil content and germination of physic nut (*Jatropha curcas* L.). **International Journal of Advanced Life Sciences**, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2015.
- BABARINSA, F. A.; NDAM, O. N.; OMODARA, M. A. Controlled atmosphere storage of brown cowpea under nitrogen. **Croatian Journal of Food Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 102-107, 2017.
- BANKS, H.J.; ANNIS, P.C. Comparative advantage of high CO<sub>2</sub> and low O<sub>2</sub> types of controlled atmospheres for grain storage. In: **Food Preservation by Modified Atmospheres**. Ed. Calderon, M.; Barkai-Golan, R., CRC Press, Boca Raton. pp 93-119, 1990.
- BARTOSIK, R.; CARDOSO, L.; RODRÍGUEZ, J. Early detection of spoiled grain stored in hermetic plastic bags (silo-bags) using CO<sub>2</sub> monitoring. In: **Proceedings of the 8th international conference controlled atmospheres and fumigation of stored products**. Sichuan Publishing House of Science and Technology, Chengdu, China, p.550-554, 2008.
- BARZALI, M. et al. Effects of different temperatures and atmospheres on seed and seedling traits in a long-term storage experiment on rye (*Secale cereale* L.). **Seed Science and Technology**, v. 33, n. 3, p. 713-721, 2005.
- BERNAL-LUGO, I.; LEOPOLD, A. C. Changes in soluble carbohydrates during seed storage. **Plant Physiology**, v. 98, n. 3, p. 1207-1210, Mar. 1992.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. - Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- CARVALHO, M. O. et al. The use of modified atmospheres to control *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae* on stored rice in Portugal. **Journal of Stored Products Research**, v. 50, p. 49-56, 2012.
- DIVYA, P. et al. Modified atmosphere storage technique for the management of pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* in Horse gram. **Legume Research - An International Journal**, v. 39, n. 3, p. 474-478, 2016.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D. Seed longevity - moisture content relationships in hermetic and open storage. **Seed Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 423-431, 2007.

FREITAS, R. A. et al. Storability of cotton seeds predicted by vigour test. **Seed Science and Technology**, v.30, n.2, p.403-410, 2002.

FREITAS, R. S.; FARONI, L. R. A.; SOUSA, A. H. Hermetic storage for control of common bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* (Say). **Journal of Stored Products Research**, v. 66, p. 1-5, 2016.

GRIS, C. F. et al. Qualidade Fisiológica e teor de lignina no tegumento de sementes de soja convencional e transgênicas RR submetidas a diferentes épocas de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 374-381, 2010.

GROOT, S. P. C. et al. Prolonging the longevity of ex situ conserved seeds by storage under anoxia. **Plant Genetic Resources**, v. 13, n. 01, p. 18-26, 2015.

GUPTA, A.; SINHA, S. N.; ATWAL, S. S. Modified Atmosphere Technology in Seed Health Management: Laboratory and Field Assay of Carbon Dioxide Against Storage Fungi in Paddy. **Plant Pathology Journal**, v. 13, n. 3, p. 193-199, 2014.

HÖFS, A. et al. Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, p. 92-97, 2004.

JONES, M.; ALEXANDER, C.; JAMES, L. D. **Profitability of Hermetic Purdue Improved Crop Storage (PICS) Bags for African Common Bean Producers: Working papers**. Purdue University, Department of Agricultural Economics, 2011. Disponível em: <<https://econpapers.repec.org/RePEc:ags:puaewp:117708>>. Acesso em: 20 abr. 2019

LUDWIG, M. P. et al. Qualidade de sementes de soja armazenadas após recobrimento com aminoácido, polímero, fungicida e inseticida. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 3, p. 395-406, 2011.

MANJUNATHA, B. et al. Studies on influence of modified atmospheric storage conditions on biochemical parameters in pigeonpea seeds. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 8, n. 3, p. 1249-1252, 2016.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015a. 600p.

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

MENTEN, J.O.; MORAES, M. H. D. Tratamento de sementes: histórico, tipos, características e benefícios. **Informativo ABRATES**, vol. 20, n. 3, p. 52-71, 2010.

MIELEZRSKI, F. et al. Desempenho individual e de populações de plantas de arroz híbrido em função da qualidade fisiológica das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 86-94, 2008.

NAVARRO, S.; DONAHAYE, J. E. Innovative environmentally friendly technologies to maintain quality of durable agricultural produce. In: **BEN-YEOSHUA, S. (ed.), environmentally friendly technologies for agricultural produce quality**. CRC Press, New York, USA, p.203-260, 2005.

NAVARRO, S. et al. Controlled or Modified Atmospheres. In: **HAGSTRUM, D. W.; PHILLIPS, T. W.; CUPERUS, G. Stored Product Protection**. Kansas State University, September 2012. cap. 16 p. 191-202.

OCHANDIO, D. et al. Modelling respiration rate of soybean seeds (*Glycine max* (L.)) in hermetic storage. **Journal of Stored Products Research**, v. 74, p. 36-45, 2017.

PARAGINSKI, R.T. et al. Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 358-363, 2015.

PESKE, S. T.; ROSENTHAL. M. D.; ROTA, G. R. M. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 3.ed., Pelotas: Editora e Gráfica da UFPel, 2006, 415p.

QUEZADA, M. Y. et al. Hermetic storage system preventing the proliferation of *Prostephanus truncatus* Horn and storage fungi in maize with different moisture contents. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, n. 3, p. 321-326, 2006.

RADHA, B. N. et al. DNA Damage During Seed Ageing. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science**, v. 7, n. 1, p. 34-39, 2014.

RODRÍGUEZ, J. C. et al. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag. EEA INTA Balcarce, 2010. Disponível em: <<http://www.engormix.com>>. Acesso em: 07 abr. 2019

SAMAPUNDO, S. et al. The influence of modified atmospheres and their interaction with water activity on the radial growth and fumonisin B1 production of *Fusarium verticillioides* and *F. proliferatum* on corn. Part I: The effect of initial headspace carbon dioxide concentration. **International Journal of Food Microbiology**, v. 114, n. 2, p. 160-167, 2007.

SANTOS, S. B. et al. Perda de matéria seca em grãos de milho armazenados em bolsas herméticas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 674-682, 2012.

SCHONS, A. et al. Respostas do genótipo, tratamento de sementes e condições de armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 109-121, 2018.

SCHUCH, L. O. B. et al. Emergência no campo e crescimento inicial de aveia preta em resposta ao vigor das sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 6, n. 2, p. 97-101, 2000.

SHEKAR, V. R. et al. Effect of modified atmosphere with elevated levels of CO<sub>2</sub> on *Sitophilus oryzae* (L.) in stored maize. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 6, n. 4, p. 693-700, 2018.

SILVA, M. G. C. et al. Hermetic storage as an alternative for controlling *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: *Chrysomelidae*) and preserving the quality of cowpeas. **Journal of**

**Stored Products Research**, v. 78, p. 27-31, 2018.

TAHER, H. I. et al. Predicting soybean losses using carbon dioxide monitoring during storage in silo bags. **Journal of Stored Products Research** v. 82, p.1-8, 2019.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**, June, 2019. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2019

VANIER, N. L. et al. Effects of nitrogen-modified atmosphere storage on physical, chemical and technological properties of Carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Current Agricultural Science and Technology**, v. 20, p. 10-20, 2014.

VARNAVA, A.; NAVARRO, S.; DONAHAYE, E. Long-term hermetic storage of barley in PVC-covered concrete platforms under Mediterranean conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v. 6, n. 1–2, p. 177-186, 1995.

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

WALKER, S. et al. Comparative effects of hermetic and traditional storage devices on maize grain: Mycotoxin development, insect infestation and grain quality. **Journal of Stored Products Research**, v. 77, p. 34-44, 2018.

WEINBERG, Z. G. et al. The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions—in vitro studies. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, n. 2, p. 136-144, 2008.

YARI, L.; AGHAALIKANI, M.; KHAZAEI, F. Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **ARP Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2010.

## 4 CAPÍTULO 2

### 4.1 EFEITO DA ATMOSFERA CONTROLADA EM DIFERENTES TEMPERATURAS SOBRE A QUALIDADE DO ÓLEO E PERFIL VOLÁTIL DE GRÃOS DE SOJA

#### RESUMO

AUTOR: Vagner Ludwig

ORIENTADOR: Auri Brackmann

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de concentrações de oxigênio ( $O_2$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ ) combinadas com diferentes temperaturas sobre a manutenção de características químicas de sementes de soja. No ano de 2018, sementes das cultivares Brasmax Desafio RR e TEC IRGA 6070 RR foram mantidas durante sete meses nas seguintes condições [1] ar ambiente; [2] 1,0 kPa  $O_2$  + 0,04  $CO_2$ ; [3] 2,0 kPa  $O_2$  + 0,04  $CO_2$ ; [4] 2,0 kPa  $O_2$  + 30  $CO_2$ ; [5] 2,0 kPa  $O_2$  + 80  $CO_2$ . Em 2018 foram avaliadas as cultivares NA 5909 RR e Fepagro 37 RR, cujas sementes foram armazenadas durante sete meses nas seguintes condições [1] ar ambiente; [2] 1,0 kPa  $O_2$  + 0,04  $CO_2$ ; [3] 1,0 kPa  $O_2$  + 15  $CO_2$ ; [4] 1,0 kPa  $O_2$  + 30  $CO_2$ ; [5] 2,0 kPa  $O_2$  + 0,04  $CO_2$ . A condição ar ambiente apresentou maiores índices de acidez e peróxidos, nas três temperaturas utilizadas e nos dois anos de experimentos. O uso da atmosfera controlada manteve menor índice de acidez sendo recomendado a adoção desta técnica para manter a qualidade do óleo bruto extraído de soja, sendo que apenas a redução da pressão parcial de oxigênio é eficiente na manutenção da qualidade do óleo de soja. O composto trans-2-hexenal apresentou correlação com os índices de acidez e peróxidos, podendo ser um importante marcador da oxidação lipídica de grãos de soja.

Palavras-chave: Trans-2-hexenal. Oxidação do óleo. Óleo de soja.

### 4.2 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é o produto agrícola mais produzida no mundo. Para a safra de 2018/2019 estima-se uma produção mundial de 359,49 milhões de toneladas, com um crescimento de 6,76% em relação à safra de 2017/2018 (USDA, 2018). A soja é uma importante fonte de proteína e óleo, usada não somente na alimentação humana, mas de forma expressiva na formulação de rações para a alimentação animal. O grande interesse no cultivo em parte é



justificado pela composição do grão, que apresenta 35 a 55% de proteínas digestíveis, 30 % de carboidratos, 17 a 27% de lipídios (ALIYEV; MIRZOYEV, 2010). A proteína de soja possui qualidade semelhante a produtos de origem animal, devido à presença de aminoácidos essenciais à alimentação humana (SOUZA et al., 2010). Outro fato importante é que o óleo de soja é o mais consumido no mundo, alcançando 57 milhões de toneladas (Mt). Estima-se que no Brasil em 2019 serão produzidos 8,6 Mt de óleo de soja, das quais 8,0 Mt são destinadas ao mercado interno e 1,41 Mt serão exportadas (ABIOVE, 2019).

Durante o armazenamento podem ocorrer modificações indesejáveis decorrentes das condições inadequadas, tais como temperatura elevada, alta umidade dos grãos, alta umidade relativa do ar, ataque de insetos e fungos, que podem reduzir a qualidade do óleo extraído dos grãos de soja. Condições de armazenamento adequadas permitem a preservação de características qualitativas de grãos, podendo evitar uma significativa deterioração durante longos períodos de armazenamento (FLEURAT-LESSARD, 2002).

Várias pesquisas reportam que o uso de atmosfera modificada e atmosfera controlada possuem efeito de retardar a degradação lipídica. A utilização de atmosfera modificada com 100% nitrogênio inibiu a ocorrência de ácidos graxos livres em amendoim armazenados por quinze semanas e, conseqüentemente, reduziu a acidez do óleo (OPIO; PHOTCHANACHAI, 2018). A redução da pressão parcial de O<sub>2</sub> durante o armazenamento reduziu a respiração de grãos e vegetais, ocasionando maior estabilidade de lipídios e inibição da atividade de microrganismos (ÖLMEZ; AKBAS, 2009; ZHAO; CRANSTON, 1995).

A modificação na fração lipídica dos grãos de soja é o principal fator da alteração na característica do óleo, que ocorre principalmente pela autoxidação e rancidez hidrolítica (BOBBIO, BOBBIO, 2001). A autoxidação ocasiona a formação de compostos com aroma e sabor indesejáveis, que são formados principalmente da quebra das cadeias insaturadas dos ácidos graxos livres (TZSCHOPPE et al., 2016). Em produtos com elevado teor de lipídios a formação de compostos voláteis é intrinsecamente relacionado à concentração de ácidos graxos livres (ERTEN; CADWALLADER 2017). Os compostos pertencentes à classe dos aldeídos são considerados os mais importantes (PEREZ et al., 1999; LADIKOS; LOUGOVOIS, 1988) e relacionados aos odores rançosos (PEREZ et al., 1999), principalmente aqueles que possuem baixo peso molecular (POKORNY, 2001).

O índice de peróxidos é um importante parâmetro para identificar o grau de oxidação dos lipídios (GOTOH; WADA, 2006), no entanto os hidroperóxidos apresentam uma característica transitória, devido ao fato de serem compostos instáveis (CAO et al., 2014). Os

principais produtos da degradação de hidroperóxidos são compostos de baixo peso molecular tais como: aldeídos, cetonas, álcoois, furanos, entre outros (CHOE; MIN, 2006; LEE et al., 2003).

A ação da lipoxigenase sobre os ácidos graxos livres também pode produzir compostos de baixo peso molecular que influenciam no aroma e sabor do óleo e outros produtos derivados da soja. Em farinha okara, um subproduto da soja, a alta concentração de aldeídos é a principal causa do aroma desagradável (VONG; LIU, 2017). Em produtos derivados de soja a ação da lipoxigenase sobre os ácidos graxos pode resultar em sabor desagradável, denominado *beany flavor* (JIANG et al., 2018). Além disso, o *off-flavor* por esta catalise enzimática é de difícil remoção durante o processamento do produto (YANG et al. 2013).

A ação da lipoxigenase sobre ácidos graxos livres como o ácido linoleico e linolênico, resulta na produção de ácido hidroperoxi-octadecadienoico (HPEDE) e ácido hidroperoxi-octadecatrienoico (HPOTE), respectivamente. A hidroperóxido liase degrada o HPEDE a 2-nonanal, 2,4-decadienal, hexanal, 2-heptanal e o HPOTE a 3-hexenal, Z,Z- 3,6 nonadienal, E-2-hexenal, 3-hexenal entre outros (VONG; LIU, 2018). Portanto, o uso de baixa pressão parcial de oxigênio pode inibir a ação da enzima lipoxigenase e reduzir a autooxidação, reduzindo a degradação dos ácidos graxos livres, diminuindo o aroma e sabor indesejados causados pela alta concentração de aldeídos, bem como reduzir a produção de hidroperóxidos, compostos relacionados à perda do valor nutricional dos alimentos.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do uso da atmosfera controlada na qualidade do óleo de soja e redução da produção de compostos voláteis oriundos da degradação lipídica de grãos de soja, armazenados em diferentes temperaturas.

### 4.3 METODOLOGIA

#### 4.3.1 Material experimental e preparação das amostras

Os experimentos foram conduzidos no Núcleo de Pesquisa Pós-colheita (NPP), no departamento de Fitotecnia da UFSM. No ano de 2017, os grãos da cultivar Brasmax Desafio RR foram adquiridas do município de Sinop – MS e da cultivar TEC IRGA 6070 RR foram adquiridas em uma unidade de beneficiamento de grãos certificada em Santa Maria – RS. No ano de 2018, o experimento foi realizado com grãos das cultivares DNA 5909 RR e Fepagro 37 RR, ambas adquiridas no centro de pesquisa de sementes da FEPAGRO-RS, localizado no município de Júlio de Castilhos. Logo após a chegada no NPP, foi realizada a determinação do teor de

umidade, na qual lotes com teor de umidade maior que 11 %, passaram por secagem com ar forçado com temperatura de 35 °C introduzido na massa de grãos, até o teor de umidade alcançar 11,0 a 11,5 %. Após a secagem, foi determinado a retenção em peneira, no ano de 2017 as cvs. Brasmax Desafio RR e TEC IRGA 6070 RR apresentaram peneira 6,0 e 5,5, respectivamente. No ano de 2018 os grãos foram passados por peneiras de diferentes malhas para homogeneizar o tamanho, sendo que a peneira onde o maior número ficou retida foi a de 6,5 a 7,5 mm, para ambos cultivares. Após foi realizado a pesagem e homogeneização das amostras, que tiveram 1,0 kg de grãos.

As sementes foram armazenadas em silos de metal com volume de 24 L. Para a obtenção das condições de atmosfera foi realizado a diluição da pressão parcial de oxigênio (O<sub>2</sub>), através da injeção no silo de nitrogênio (N<sub>2</sub>) proveniente de um gerador de N<sub>2</sub>, que funciona pelo princípio “*Pressure Swing Adsorption*” (PSA). A pressão parcial de CO<sub>2</sub> foi obtida através da injeção do gás de um cilindro de alta pressão de CO<sub>2</sub>. Duas vezes por semana foi realizada a determinação e correção manual da pressão parcial dos gases no interior dos silos, com auxílio de um analisador de gases marca Isolcell modelo Oxycarb. A temperatura de cada tratamento foi obtida com a alocação dos silos no interior de câmaras, monitoradas por termostatos eletrônicos e com termômetros de mercúrio, para aferição diária da temperatura. Os grãos foram armazenados por sete meses. As condições utilizadas nos experimentos estão descritas na Tabela 1 e 2.

Tabela 1: Temperaturas e níveis de oxigênio e de gás carbônico no armazenamento em atmosfera controlada de grãos de soja cvs. Brasmax Desafio RR e TEC IRGA 6070 RR. Santa Maria, 2017.

Temperatura	kPa O <sub>2</sub>	kPa CO <sub>2</sub>
20 °C	20,9	0,0 (ar ambiente)
20 °C	1,00	0,0
20 °C	2,00	0,0
20 °C	2,00	30
20 °C	2,00	80
25 °C	20,9	0,0
25 °C	1,00	0,0
25 °C	2,00	0,0
25 °C	2,00	30
25 °C	2,00	80

30 °C	20,9	0,0
30 °C	1,00	0,0
30 °C	2,00	0,0
30 °C	2,00	30
30 °C	2,00	80

Fonte: (Autor)

Tabela 2: Temperaturas e níveis de oxigênio de gás carbônico no armazenamento em atmosfera controlada de grãos de soja cvs. NA 5909 RR e Fepagro 37 RR. Santa Maria, 2018.

Temperatura	kPa O <sub>2</sub>	kPa CO <sub>2</sub>
20 °C	20,9	0,0 (ar ambiente)
20 °C	1,00	0,0
20 °C	1,00	15
20 °C	1,00	30
20 °C	2,00	0,0
25 °C	20,9	0,0
25 °C	1,00	0,0
25 °C	1,00	15
25 °C	1,00	30
25 °C	2,00	0,0
30 °C	20,9	0,0
30 °C	1,00	0,0
30 °C	1,00	15
30 °C	1,00	30
30 °C	2,00	0,0

Fonte: (Autor)

### 4.3.2 Variáveis analisadas

#### 4.3.2.1 Preparo da amostra e extração do óleo

Os grãos de soja foram moídos em moinho de facas (Marconi, 630/1, São Paulo, Brasil). Para o índice de acidez e peróxidos, que utilizam a fração lipídica, foi utilizado a extração do óleo de acordo com metodologia descrita por (HARA; RADIN, 1978). Aproximadamente  $50 \pm 0,1$  g da amostra moída foram pesadas em frascos âmbar de 1 L, após foram adicionados 300 ml da solução de hexano:isopropanol (HIP) (3:2; v/v) e submetidos à agitação constante por 1 hora. Em seguida, foi realizado a filtragem do extrato para retirada de resíduos sólidos, após foram adicionados 120 mL da solução de sulfato de sódio (6,7%), para separar as fases. Posteriormente, a fase superior contendo os lipídios dissolvidos em hexano foi seca em rota evaporador (Alpax, modelo 802, São Paulo, Brasil) a uma temperatura de 40 °C e 100 rpm por 30 min para obtenção do óleo.

#### 4.3.2.2 Índice de acidez

Foi determinado de acordo com o método Cd 3d-63 da AOCS (2009). Em um erlenmeyer de 250 mL foram pesados  $2,0 \pm 0,1$  g do óleo extraído e dissolvidos em 60 mL da solução de tolueno:isopropanol (1:1; v/v). Posteriormente, 3 gotas de fenolftaleína (1%) foram adicionadas, após foi realizada a titulação com a solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 M, até atingir a coloração rósea, persistindo por 30 segundos. Os dados foram expressos em g de ácido oleico  $100 \text{ g}^{-1}$  de óleo. O índice de acidez foi determinado pela equação a seguir:

$$IA = \frac{(A - B) \times f \times 0,01 \times 28,2}{P}$$

Onde:

A = mL da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação da amostra;

B = mL da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação do branco;

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio;

P = g da amostra utilizada.

#### 4.3.2.3 Índice de peróxidos

O método utilizado foi IDF 74:1991, onde o valor de peróxidos é determinado por espectrofotometria, devido à co-oxidação de  $\text{Fe}^{2+}$  para  $\text{Fe}^{3+}$  por hidroperóxidos e formação do complexo avermelhado do tiocianato de  $\text{Fe}^{3+}$  (SHANTHA e DECKER, 1994). Foi elaborada

uma curva de calibração externa, em uma faixa de concentração de 1 a 40  $\mu\text{g}$ , com solução de cloreto férrico. Para execução da técnica,  $0,1 \pm 0,01$  do óleo, extraído das amostras, foi colocado em tubos de ensaio e dissolvido em uma solução de clorofórmio: metanol (7:3; v/v). Após, foram adicionados 50  $\mu\text{L}$  de uma solução de cloreto ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) 0,06 M e 50  $\mu\text{L}$  de tiocianato de amônio (30% em água). Os tubos foram mantidos por 5 min em repouso ao abrigo da luz, antes da leitura em espectrofotômetro (Bel photonics, SP1105, Porto Alegre, Brasil) em 500 nm, inclusive um branco contendo todos reagentes menos a amostra. Os dados foram expressos em miliequivalentes (meq) de  $\text{O}_2$  ativo por quilograma de amostra ( $\text{meq O}_2 \text{ kg}^{-1}$  de óleo). O IP foi determinado através da equação a seguir:

$$\text{IP} = \frac{(\text{Aa} - \text{Ab}) \times 1/m}{55,84 \times m_0 \times 2}$$

Onde:

IP: índice de peróxidos ( $\text{meq O}_2 \text{ kg}^{-1}$  de óleo)

Aa = absorvância da amostra;

Ab = absorvância do branco;

m = coeficiente angular da curva de calibração;

55,84 = massa atômica do Fe.

$m_0$  = massa da amostra em gramas

2 = fator necessário para expressar o resultado em miliequivalentes de peróxidos.

#### 4.3.2.4 Determinação dos compostos voláteis

A extração dos compostos voláteis foi realizada através da técnica de microextração em fase sólida aplicada ao *headspace* (*Headspace solid-phase micro-extraction* - HS-SPME) do vial contendo a amostra moída em moinho de facas (Marconi, 630/1, São Paulo, Brasil). A fibra de revestimento misto divinilbenzeno/carboxen/polidimetilsiloxano (DVB/Car/PDMS) 2 cm – 50/30  $\mu\text{m}$  (Supelco<sup>TM</sup>) foi utilizada para adsorver os compostos voláteis. A fibra foi exposta no *headspace* do vial de 20 mL com tampa de silicone/PTFE, que continha  $5,0 \pm 0,1$  g da amostra moída. Antes da exposição da fibra, os frascos foram submetidos ao banho de imersão a 35 °C por 15 min para atingir o equilíbrio térmico e 60 min para adsorção dos compostos voláteis da amostra na fibra.

Os compostos voláteis foram quantificados com um cromatógrafo a gás DANI® (Dani Instruments Spa., Viale Brianza, Cologno Monzese, Italy gas), equipado com detector de ionização de chama (FID). A fibra foi termicamente desorvida por 10 min no injetor com temperatura de 250 °C, no modo *Split less*. A coluna usada para separação dos compostos voláteis foi DN-5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 mm), com fluxo de gás nitrogênio de 1,0 mL min<sup>-1</sup>. A seguinte rampa de temperatura foi utilizada: temperatura inicial de 35 °C mantida por 5 min, após a temperatura foi elevada 2 °C min<sup>-1</sup> até 80 °C e, por fim, foi utilizada a rampa de temperatura de 5 °C min<sup>-1</sup> até 230 °C. Essa temperatura foi mantida por 5 min. A temperatura do detector FID foi de 230 °C. Para calcular o índice de retenção foi analisada uma série de n-alcenos (C6-C30) na mesma condição cromatográfica utilizadas para quantificar os compostos voláteis.

A identificação dos compostos voláteis foi realizada com um cromatógrafo a gás (Shimadzu QP2010 Plus) acoplado com um espectrômetro de massa (GC/MS; Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan). As mesmas condições cromatográficas descritas na quantificação dos compostos voláteis foram usadas, o gás de arraste utilizado foi o hélio. O GC/MS foi utilizado no modo de ionização de elétrons, com energia de ionização de 70 eV e o analisador tipo quadrupolos simples, operando no modo varredura em um intervalo de 35 -350 m/z. O espectro de massa de cada composto foi comparado ao espectro de massa disponível na biblioteca do National Institute of Standards and Technology (NIST), além disso o índice de retenção linear calculado foi comparado com o índice de retenção linear disponível na literatura científica.

### 4.3.3 Análise estatística

Para a condução dos experimentos foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições compostas por 1,0 kg de grãos. Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros e homogeneidades das variâncias residuais, sendo que os dados expressos em porcentagem foram transformados pela fórmula arco seno  $(X+0,5/100)^{0,5}$  e submetidos à análise da variância em nível de 5% de probabilidade de erro. Para a comparação de médias será utilizado o teste de Scott-Knott com o software estatístico SISVAR®. Foi realizada a análise de componentes principais com o software estatístico Unscrambler®, para melhor visualizar a relação dos tratamentos com as variáveis.

## 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.4.1 Índice de peróxidos e índice de acidez

O índice de peróxidos é um dos métodos mais utilizados para identificar o nível de oxidação de óleos e gorduras, uma vez que os peróxidos são os primeiros compostos formados quando a gordura se deteriora. Esse parâmetro é utilizado para caracterizar o nível de rancidez oxidativa do óleo.

Entre as temperaturas utilizadas no armazenamento da cultivar TEC IRGA 6070 RR, houve diferença apenas quando os grãos foram armazenados na condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>, onde o maior índice de peróxidos foi observado na temperatura de 20 °C, comparado a 25 e 30 °C (Figura 1a). Na condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub> o menor índice de peróxidos foi observado na temperatura de 30 °C comparado a 20 e 25 °C. Provavelmente os grãos armazenados nessa condição estavam em processo inicial de peroxidação lipídica, enquanto que nas condições com alta temperatura, a peroxidação lipídica já havia ocorrido e os hidroperóxidos foram degradados a moléculas com baixo peso molecular como aldeídos, cetonas, álcoois. O maior índice de peróxidos na temperatura de 20 °C está de acordo com Smaniotto et al. (2016), que encontraram maior índice de peróxidos na temperatura de 20 °C em comparação com a temperatura de 27 °C. Por outro lado, também é reportado na literatura menor produção de hidroperóxidos na temperatura de 20 °C, explicado pelo fato que a formação de hidroperóxidos pode ser acelerada pela elevação da temperatura (ALBUQUERQUE, 2010).

Na temperatura de 20 °C, a condição ar ambiente proporcionou maior índice de peróxidos do que o uso de AC (Figura 1a), fato que pode ser relacionado com a redução da concentração de oxigênio nos tratamentos em AC, que reduz a peroxidação lipídica. No entanto, a condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> apresentou menor índice de peróxido do que as demais condições de AC, o que pode estar relacionado ao uso de 30 kPa CO<sub>2</sub> ou a instabilidade dos peróxidos, que podem terem sido convertidos a compostos de baixo peso molecular (VONG; LIU, 2017).

As condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> proporcionaram menor índice de peróxidos na temperatura de 25 °C (Figura 1b), fato relacionado com a redução da pressão parcial de oxigênio e uso de 30 kPa CO<sub>2</sub> e 80 kPa CO<sub>2</sub>. O dióxido de carbono, além de reduzir a taxa respiratória, inibe fungos associados aos grãos, o que ocasionam menor degradação das membranas induzida por complexos enzimáticos produzidos por esses microrganismos (PARKHEY, NAITHANI, KESHAVKANT, 2012; PIZÁ et al. 2019).



Na temperatura de 30 °C a condição ar ambiente apresentou maior índice de peróxidos do que as condições de atmosfera controlada (Figura 1a), no entanto a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> teve maior índice de peróxidos em relação às condições de 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub>. A atmosfera com alto CO<sub>2</sub> manteve menor índice de acidez e menor índice de peróxido do óleo extraído das sementes de *Jatropha curcas* L. (ANANDALAKSHMI et al., 2015)

A rancidez hidrolítica induzida, principalmente, pela ação da lipase e da fosfolipase sobre o mono, di e triglicérides, liberando ácidos graxos livres, é outro parâmetro importante na qualidade do óleo. O índice de acidez é o método utilizado para avaliar o grau de rancidez hidrolítica, pois é definido como a quantidade de uma base requerida para neutralizar os ácidos graxos livres na amostra de óleo. Para a cultivar TEC IRGA 6070 RR O índice de acidez foi maior na condição ar ambiente comparado às condições de AC, independente da temperatura de armazenamento (Figura 1b), fato relacionado à redução da pressão parcial de oxigênio. De acordo com Ruppolo et al. (2004), o armazenamento de aveia em silos herméticos proporcionou menor índice de acidez, ao longo de 12 meses, em relação ao armazenamento convencional.

Na cultivar Brasmax Desafio RR o índice de peróxidos foi maior na condição ar ambiente comparado às condições de AC, independente da temperatura de armazenamento (Figura 1c). No entanto, na temperatura de 20 °C, a condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub> apresentou menor índice de peróxidos comparado às demais condições de AC. Em amêndoas doces (*Prunus dulcis*) armazenadas a 23 °C, a embalagem de polipropileno com vácuo manteve menor índice de peróxidos em relação à condição ar ambiente após 10 meses de armazenamento (RAISI et al., 2015). O índice de acidez nesta cultivar foi maior na condição ar ambiente quando comparado com as condições de AC, independente da temperatura de armazenamento (Figura 1d), no entanto nas temperaturas de 20 e 25 °C foi observado que a condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 80 kPa CO<sub>2</sub> apresentou menor índice de acidez comparado a 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>. O aumento do índice de acidez é relacionado ao avanço da deterioração da semente, sendo que o conteúdo de radicais livres, desenvolvimento de acidez do óleo estão relacionados à deterioração das sementes (ISAAC et al., 2016).

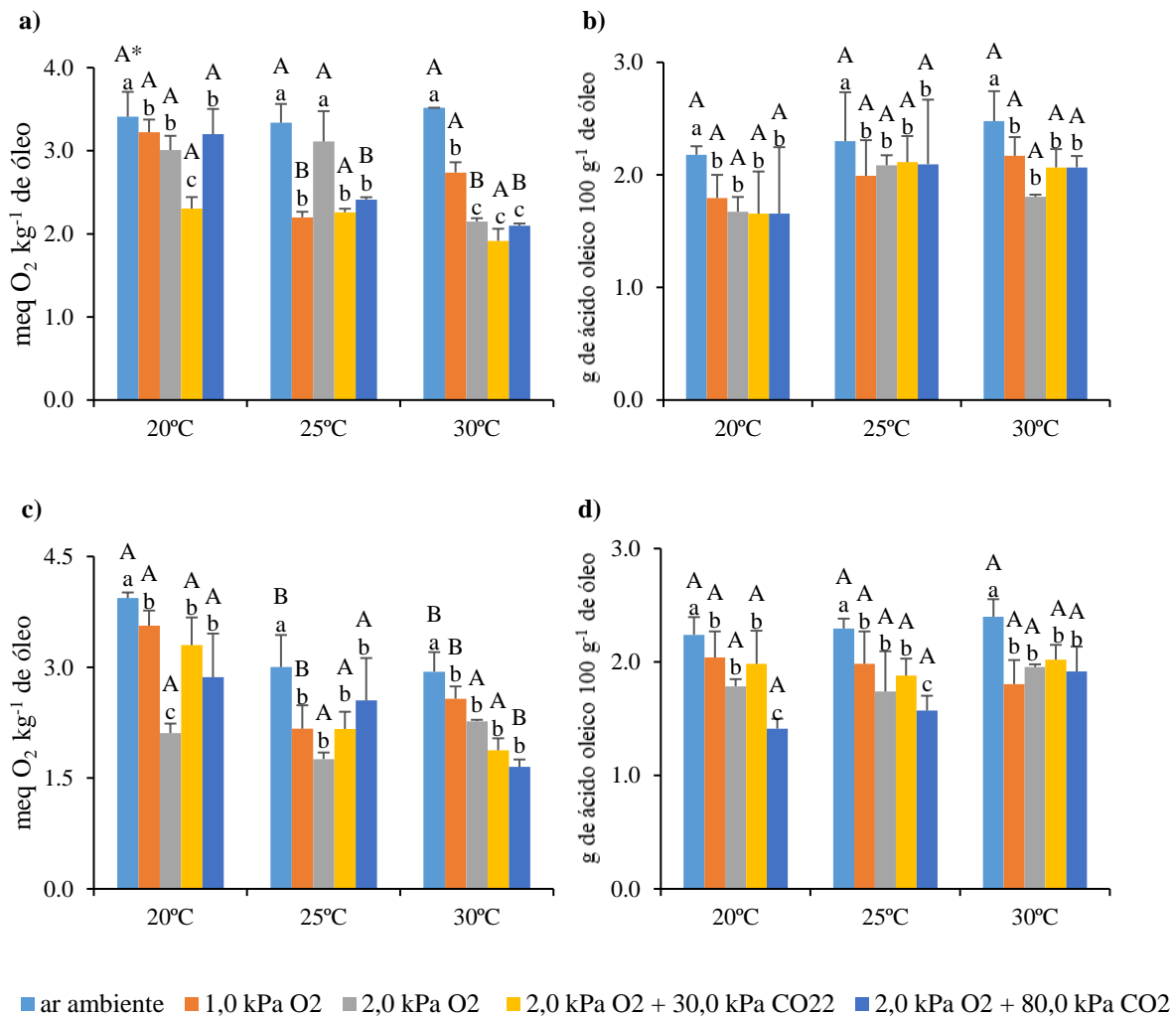


Figura 1: Índices de peróxidos e de acidez de grãos de soja cv. TEC IRGA 6070 RR (a e b) e cv. Brasmax Desafio RR (c e d) armazenados durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e barras com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

No experimento conduzido em 2018, nas cultivares NA 5909 RR e Fepagro 37 RR o índice de peróxidos foi maior na condição ar ambiente, quando comparado com as condições de AC, independente da temperatura de armazenamento (Figura 2a e 2c). Esses resultados estão de acordo com GROOT et al., (2015) e Rupollo et al., (2004), que encontraram menor índice de peróxidos em grãos armazenados em atmosfera modificada em relação aos armazenados em ambiente.

Nas cultivares NA 5909 RR e Fepagro 37 RR o índice de acidez foi maior na condição ar ambiente independente da temperatura de armazenamento (Figura 2b e 2d). Contudo, houve diferença entre as condições de AC na cultivar NA 5909 RR, quando os grãos foram

armazenados em temperatura de 20, 25 e 30 °C. O menor índice de acidez foi verificado nas condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> (figura 2b), portanto, a utilização das condições de 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram menor índice de acidez comparado com a condição ar ambiente.

Para a cultivar Fepagro 37 RR a temperatura de 25 °C nas condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa e 2,0 kPa O<sub>2</sub> proporcionaram menor índice de acidez (figura 2d). Na temperatura de 30 °C a condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa apresentou maior índice de acidez do que as demais condições de AC. Fato notável é que o índice de acidez do óleo não aumentou com a elevação da temperatura, em nenhuma das cultivares estudadas. No entanto, é reportado na literatura que o armazenamento de soja na temperatura de 27 °C causa o incremento no índice de acidez do óleo comparado à temperatura de 20 °C (SMANIOTTO et al., 2016).

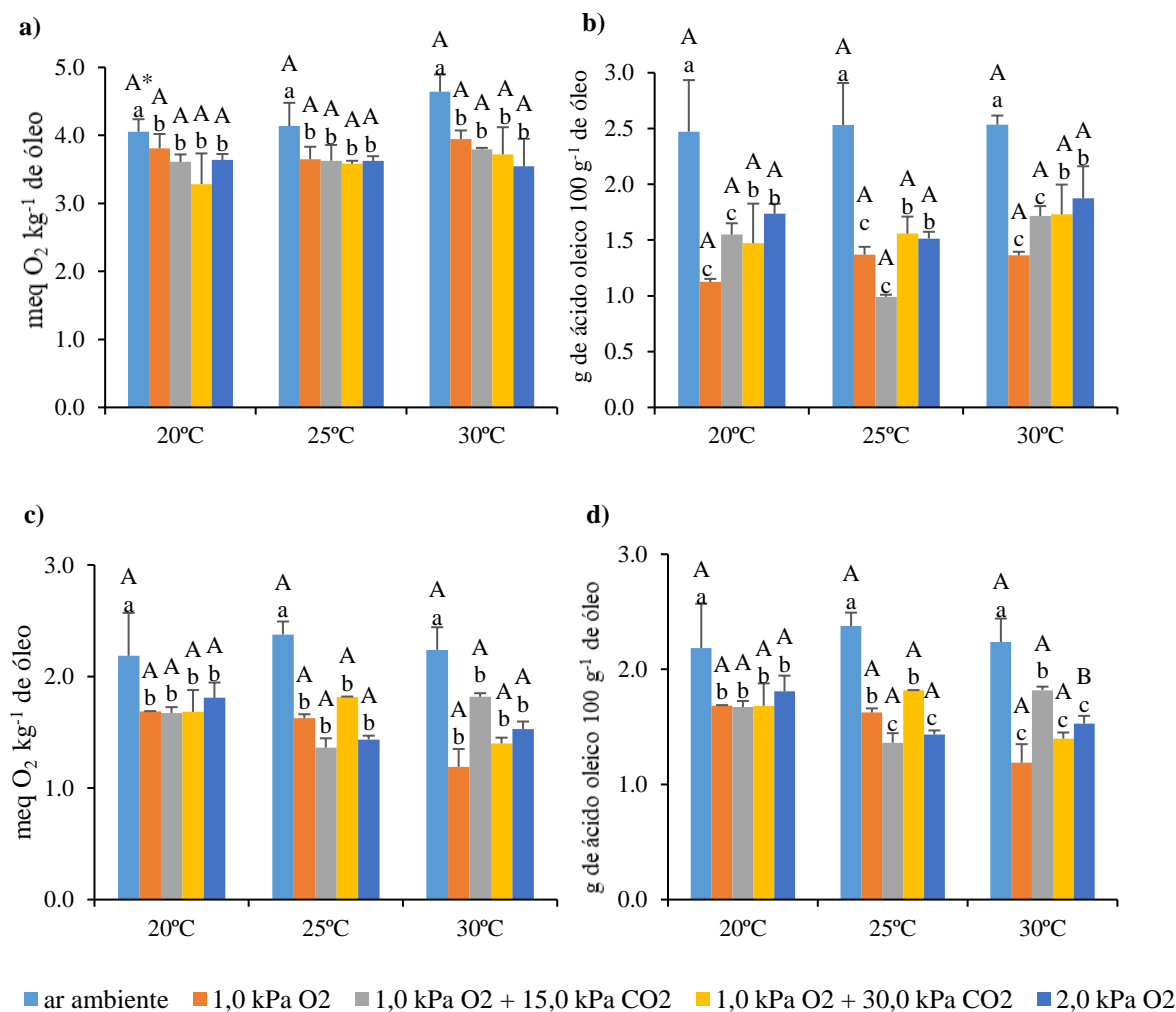


Figura 2: Índices de peróxidos e de acidez de grãos de soja, cvs. NA 5909 RR (a, b) e Fepagro 37 RR (c, d), armazenados durante sete meses. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e barras com letras maiúsculas iguais em cada temperatura

de armazenamento não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão.

#### 4.4.2 Compostos voláteis relacionados à oxidação lipídica

Na determinação de compostos voláteis foram identificados 26 compostos: 9 aldeídos, 8 álcoois, 10 compostos entre cetonas, ésteres e furanos. No entanto, somente os principais compostos relacionados à degradação lipídica serão discutidos no presente trabalho, sendo eles: hexanal, trans-2-hexenal, nonanal, trans-2-nonanal, heptanal, octano-3-ol, octano-3-ona e butirolactona (CAO et al., 2014; ERTEN; CADWALLADER, 2017; FRANKEL, 1982; MU et al., 2019; SARTORI et al., 2018; VONG; LIU, 2017, 2018). O *beany flavor* é atribuído a concentração de hexanal, hexanol, trans-2-nonanal, 2-pentilfurano e 1-octen-3-ol, compostos associados à oxidação de PUFA's catalisado pela lipoxigenase ou autooxidação (YUAN; CHANG; 2007).

O hexanal é um importante aldeído relacionado à formação de *off-flavor* em alimentos (VONG; LIU, 2017, 2018). Por ser produto da degradação do ácido linoleico, pode ser relacionado com o avanço na deterioração lipídica do alimento, relacionado à maior atividade da enzima lipoxigenase e, principalmente, ao aumento da autooxidação (VONG; LIU, 2017, 2018; YANG et al., 2013).

Na cultivar Fepagro 37 RR, a abundância de hexanal na temperatura de 20 °C não apresentou diferença entre os tratamentos, provavelmente a baixa temperatura não desencadeou o processo de autooxidação (YANG et al., 2013). As condições ar ambiente e 1,0 kPa O<sub>2</sub> apresentaram menor abundância de hexanal na temperatura de 25 °C. Provavelmente houve menor autooxidação, na condição de baixa pressão parcial com oxigênio de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, fato que reduziu a degradação pela autooxidação. Na condição ambiente, a menor abundância de hexanal, pode estar relacionado ao fato dos hidroperóxidos serem decompostos pela hidroperóxidos ciclase (LIN et al., 2014), gerando ácido jasmônico em resposta ao estresse induzido pelo maior ataque de fungos na condição ar ambiente em relação às condições de atmosfera controlada.

A maior concentração do aldeído trans-2-hexenal foi observada na condição ar ambiente nas temperaturas de 20 e 25 °C (Figura 3). Esse composto é produto da degradação enzimática e da autooxidação do ácido linoleico (VONG; LIU, 2017, 2018). Na temperatura de 30 °C foi observada grande abundância de trans-2-hexenal nas condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> e a elevação da concentração de CO<sub>2</sub> aumentou a abundância deste composto, portanto o armazenamento com 15 e 30 kPa CO<sub>2</sub> não apresentou efeito sobre a

redução da abundância deste composto, conseqüentemente o grau de deterioração lipídica do grão foi maior do que às condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub> e 2,0 kPa O<sub>2</sub>. As concentrações de heptanal e decanal, compostos relacionados à deterioração de ácidos graxos poli-insaturados (FRANKEL, 1982), não apresentaram diferença entre as condições de armazenamento.

A concentração da octano-3-ona, uma cetona relacionada à autoxidação do ácido linoleico, foi menor nas condições de 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> na temperatura de 20 °C. Provavelmente, essas condições apresentaram menor degradação do ácido linoleico, uma vez que também tiveram baixa concentração de trans-2-hexenal. Na temperatura de 30 °C a menor concentração de octano-3-ona foi observada nas condições ar ambiente e 2,0 kPa O<sub>2</sub>. Provavelmente o principal produto da autoxidação na condição ambiente foi o trans-2-hexenal, reduzindo a formação da octano-3-ona na condição ar ambiente mantida a 30 °C.

A condição 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> na temperatura de 20 e 30 °C apresentou maior concentração de octeno-3-ol comparado às outras condições e na temperatura de 25 °C também foi observada maior concentração na condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub>. O octeno-3-ol e nonanal foram descritos como um dos principais constituintes do odor de rançoso (MU et al., 2019). Estes compostos possuem baixo limiar de odor contribuindo para o *off-flavor* e podem ser usados como marcadores da qualidade do óleo de *Juglans regia* L. (ZHOU et al., 2018).

Foi verificado que a abundância de nonanal foi maior na condição 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> na temperatura de 20 e 30 °C. O nonanal é caracterizado como produto da autoxidação do ácido oleico (SARTORI et al., 2018). Na temperatura de 25 °C não houve diferença entre as condições de armazenamento.

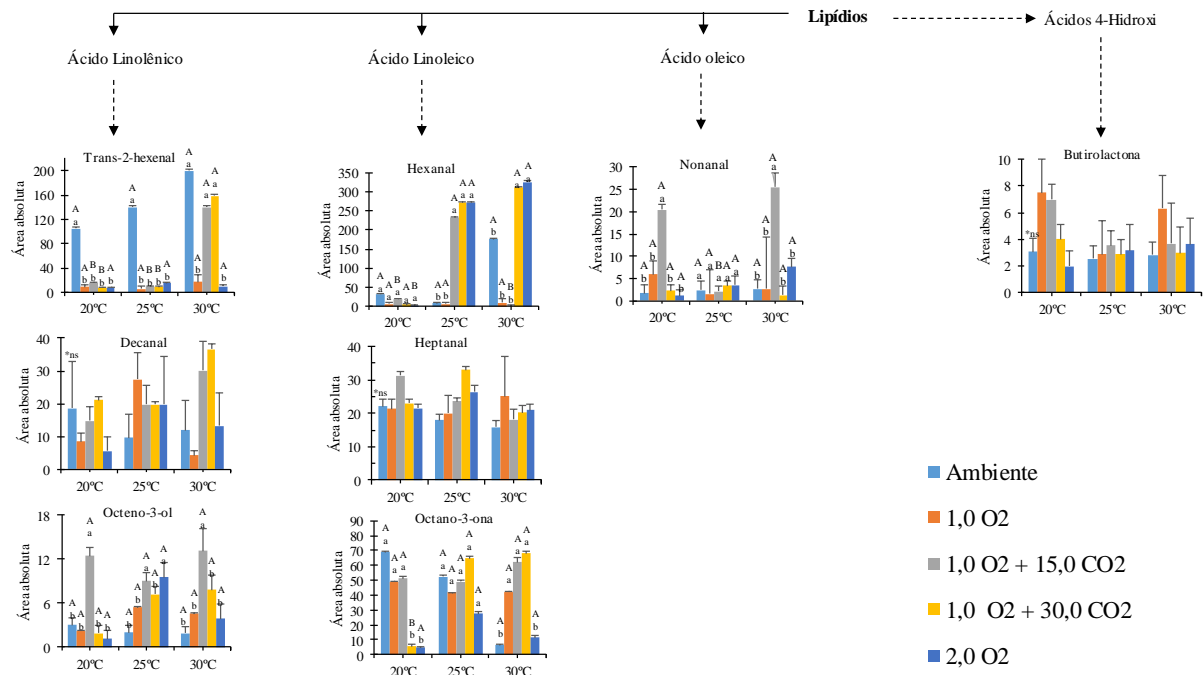


Figura 3: Esquema simplificado da degradação de lipídios (autoxidação, lipoxigenase) e seus respectivos compostos voláteis em grãos de soja moídos da cultivar Fepagro 37 RR. Linha pontilhada: precede várias etapas catalíticas, Linha contínua: Reação mediada pela enzima lipase e/ou fosfolipase. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e barras com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. ns= não significativo.

Na cultivar NA 5909 RR, a abundância de hexanal foi maior na condição ar ambiente na temperatura de 20 °C. Nas temperaturas de 25 e 30 °C não houve diferença entre as condições de armazenamento. Já o trans-2-hexenal apresentou maior abundância em ar ambiente em todas as temperaturas, fato que indica maior grau de deterioração dos grãos na condição ambiente. Na temperatura de 30 °C as condições 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram alta abundância de trans-2-hexenal, porém estatisticamente igual à condição ar ambiente.

A abundância de heptanal foi maior nas temperaturas de 25 e 30 °C, sendo que as condições de AC não influenciaram e não diferiram da condição ambiente. Essa mesma resposta foi encontrada em amêndoas cruas (YANG et al., 2013). Foi observado maior abundância do composto octano-3-ona na temperatura de 25 °C, comparado com as temperaturas de 20 e 30 °C nas condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>. Houve aumento da abundância na condição ar ambiente mantida na temperatura de 30 °C quando comparado com as demais condições de armazenamento. O aumento da temperatura na condição ar ambiente proporcionou aumento na concentração de octano-3-ona, fato que pode

ser relacionado com o maior grau de deterioração lipídica nos grãos (ERTEN; CADWALLADER, 2017).

A concentração de decanal foi maior nas condições de 2,0 kPa O<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub> na temperatura de 30 °C, sendo que o aumento da temperatura de 20 e 25 °C para 30 °C ocasionou incremento na concentração de decanal, nas condições ar ambiente, 1,0 kPa O<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 30 kPa CO<sub>2</sub>, comprovando que velocidade e intensidade da oxidação dos lipídios é acelerada pelo aumento da temperatura (RAISI, et al., 2015).

A formação da butirolactona pode estar relacionada à peroxidação lipídica (CHUNG; EISERICH; SHIBAMOTO, 1993). A concentração foi maior na condição ar ambiente, independente da temperatura de armazenamento, fato que evidencia o maior grau de deterioração lipídica nos grãos armazenados na condição ar ambiente. Por outro lado, a temperatura de 20 °C proporcionou menor abundância de butirolactona comparado as temperaturas de 25 e 30 °C.

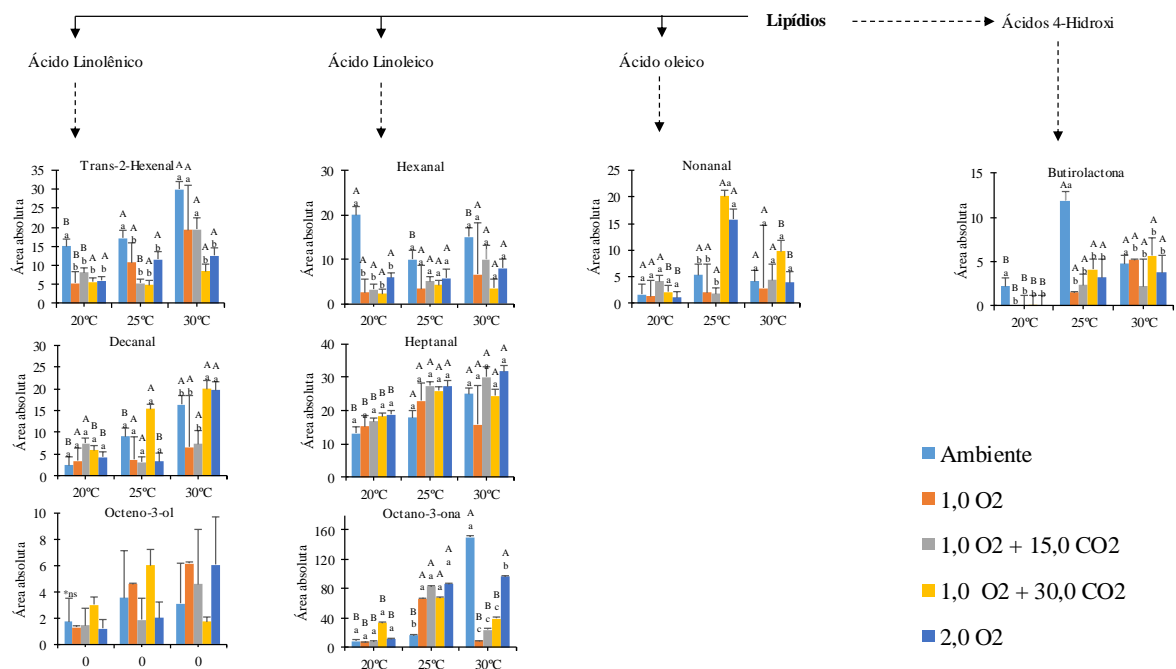


Figura 4: Esquema simplificado da degradação de lipídios (autoxidação, lipoxigenase) e seus respectivos compostos voláteis de grãos de soja moídos da cultivar NA 5909 RR. Linha pontilhada: precede várias etapas catalíticas, Linha contínua: Reação mediada pela enzima lipase e/ou fosfolipase. \* Barras com letras minúsculas iguais na condição de atmosfera controlada e barras com letras maiúsculas iguais em cada temperatura de armazenamento não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Barras de erros representam o desvio padrão. ns = não significativo.

#### 4.4.3 Análise de componentes principais

Para obter uma visão geral da relação dos tratamentos com os parâmetros avaliados foi realizado uma análise de componentes principais. Na cultivar NA 5909 RR o componente principal I separou a condição com 2,0 kPa de O<sub>2</sub>, nas temperaturas de 20 e 25 °C, o componente principal II (CP II) separou principalmente a condição ar ambiente das condições de atmosfera controlada (Figura 5b).

A condição ar ambiente teve uma correlação com o índice de acidez, índice de peróxidos, que são parâmetros relacionados ao grau de estabilidade do óleo, fato que é, em parte, explicado pela maior concentração de hexanal e trans-2-hexenal (Figura 5a), compostos originados da degradação do ácido linoleico e linolênico. A condição com 2,0 kPa de O<sub>2</sub> na temperatura de 20 °C apresentou correlação com o acetaldeído, butanol, heptanol, trans-2-nonanal, 3-octanol e benzaldeído. A condição com 2,0 kPa de O<sub>2</sub> na temperatura de 25 °C teve correlação com a butirolactona e acetato de hexila.



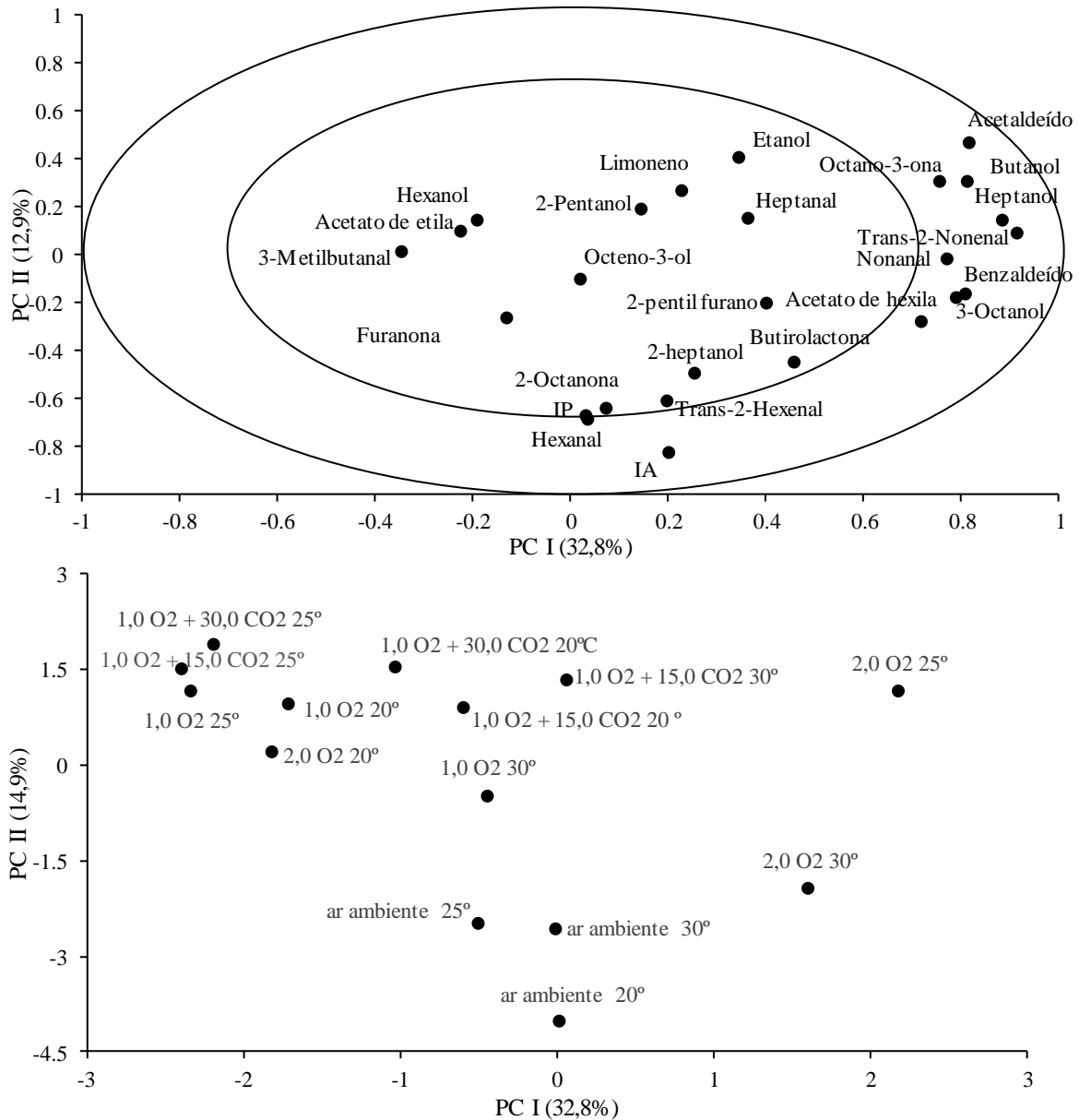


Figura 5: Análise de componentes principais (ACP) mostrando os dois principais componentes (Variáveis analisadas (a), Tratamentos (b)) de grãos de soja da cultivar NA 5909 RR armazenados durante sete meses. IP: índice de peróxidos; IA: índice de acidez.

Na cultivar Fepagro 37 RR o PCI separou a condição ar ambiente em todas as temperaturas e a condição de 2,0 kPa O<sub>2</sub>, nas temperaturas de 25 e 30 °C, das demais condições de atmosfera controlada (Figura 6). O PCII separou a condição 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> na temperatura de 20 °C de todas as outras condições de armazenamento. A condição ar ambiente e 2,0 kPa O<sub>2</sub> apresentaram correlação com o aldeído trans-2-hexenal, originado na degradação de ácidos graxos livres, com o índice de peróxidos e acidez, indicativo da menor estabilidade dos lípidios nesses tratamentos, além disso, apresentaram correlação com 3-octanol.

A condição 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 15 kPa CO<sub>2</sub> apresentou correlação com o trans-2-nonanal e butirolactona e acetato de hexila. A butirolactona é proveniente da degradação de lipídios pela b-oxidação (VONG; LIU, 2017). O trans-2-nonanal é originado na degradação de ácidos graxos livres.

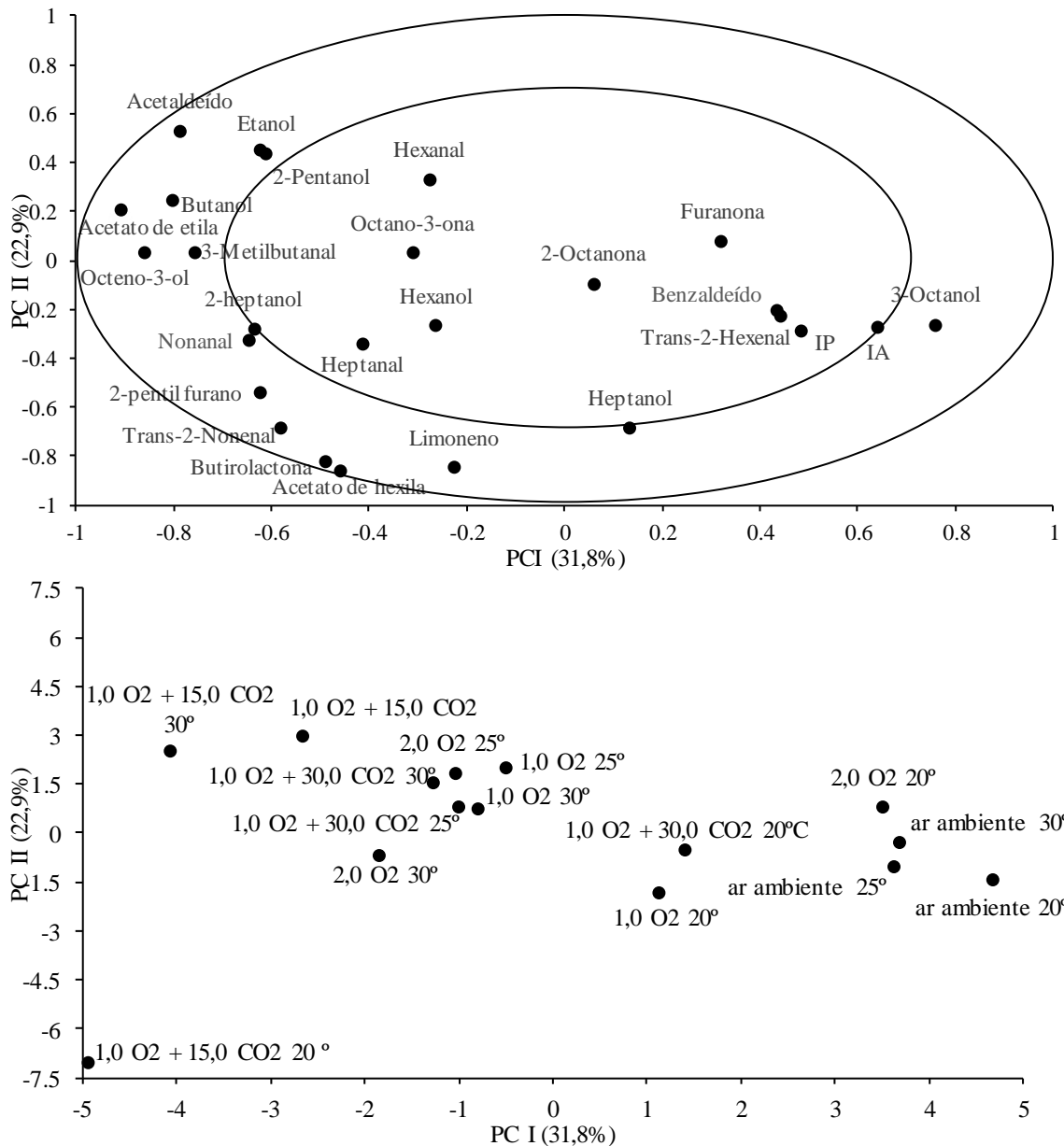


Figura 6: Análise de componentes principais (ACP) mostrando os dois principais componentes (Variáveis analisadas (a), Tratamentos (b) de grãos de soja da cultivar Fepagro 37 RR armazenados durante sete meses. IP: índice de peróxidos; IA: índice de acidez.

#### 4.5 CONCLUSÕES

O armazenamento em atmosfera controlada proporciona menor o índice de acidez e índice de peróxidos do óleo obtido da soja armazenada por sete meses nas condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub>, 2,0 kPa O<sub>2</sub>, sendo estas condições as mais recomendadas para obter maior qualidade do óleo.

A utilização de alta pressão parcial de dióxido de carbono não proporciona maior manutenção da qualidade do óleo, sendo que sua injeção apenas reduz da pressão parcial de oxigênio no silo que é eficiente em manter a qualidade do óleo.

A qualidade do óleo de soja pode ser mantida se os grãos forem armazenados na temperatura de 20 e 25 °C, mas necessita a utilização da atmosfera controlada.

O composto trans-2-hexenal é um importante marcador da deterioração lipídica de grãos de soja, apresentando boa correlação com os índices de peróxido e de acidez do óleo de soja.

#### 4.6 REFERÊNCIAS

- ABIOVE, Capacidade Instalada da Indústria Brasileira de Óleos Vegetais, 2019. Disponível em: <<http://abiove.org.br/estatisticas/>>. Acesso: 25 abr. 2019.
- ALBUQUERQUE, A. R.; **Autooxidação de ésteres metílicos de ácidos graxos: estudo teórico-experimental**, Dissertação (Mestrado em Química), Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2010.
- ALIYEV, J. A. Photosynthesis, photorespiration and productivity of wheat and soybean genotypes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v.65, n.5/6, p.7-48, 2010.
- ANANDALAKSHMI, R. et al. Influence of seed storage atmosphere on oil content and germination of physic nut (*Jatropha curcas* L.). **International Journal of Advanced Life Sciences**, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2015.
- CAO, J. et al. Novel approach to evaluate the oxidation state of vegetable oils using characteristic oxidation indicators. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 52, p. 12545-12552, 2014.
- CHOE, E.; MIN, D. B. Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 5, n. 4, p. 169–186, 2006.
- CHUNG, T. Y.; EISERICH, J.P.; SHIBAMOTO, T.; Volatile compounds identified in headspace samples of peanut oil heated under temperatures ranging from 50 to 200 °C. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 41:1 p. 467-470, 1993.
- ERTEN, E. S.; CADWALLADER, K. R. Identification of predominant aroma components of raw, dry roasted and oil roasted almonds. **Food Chemistry**, v. 217, p. 244-253, 2017.
- FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v.38, p.191-218, 2002.
- FRANKEL, E. N. Volatile lipid oxidation products. **Progress in Lipid Research**, v. 22, p. 1-33, 1982.
- GOTOH, N.; WADA, S. The importance of peroxide value in assessing food quality and food safety. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 83, n. 5, p. 473-474, 2006.
- GROOT, S. P. C. et al. Prolonging the longevity of ex situ conserved seeds by storage under anoxia. **Plant Genetic Resources**, v. 13, n. 01, p. 18-26, 2015.
- HARA, A.; RADIN, N. S.; **Analytical Biochemistry**, v. 90, 1978, p. 420.
- ISAAC, O. T. et al. Effect of Storage Periods on Seed Quality Characteristics of Three Soybean (*Glycine max* L. Merrill) Varieties. **International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology**, v. 2, n. 4, p. 823-830, 2016.

- JIANG, Y. et al. Inactivation of lipoxygenase in soybean by radio frequency treatment. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, n. 12, p. 2738-2747, 2018.
- LADIKOS, D.; LOUGOVOIS, V.; Lipid oxidation in muscle foods: a review. **Food Chemistry**. v. 35, p. 295-314. 1990.
- LEE, J. Y. et al. Formation of volatile compounds in soy flour by singlet oxygen oxidation during storage under light. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 6, p. 1933-1937, 2003.
- LIN, H. et al. Seed metabolomics study reveals significant metabolite variations and correlations among different soybean cultivars. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 56, n. 9, p. 826-836, 2014.
- MU, H. et al. Study on the Volatile Oxidation Compounds and Quantitative Prediction of Oxidation Parameters in Walnut (*Carya cathayensis* Sarg.) Oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 121, n. 6, p. 1-19, 2019.
- ÖLMEZ, H.; AKBAS, M. Y. Optimization of ozone treatment of fresh-cut green leaf lettuce. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 4, p. 487-494, 2009.
- OPIO, P.; PHOTCHANACHAI, S. Modified atmosphere influences aflatoxin B1 contamination and quality of peanut (*Arachis hypogaea* L.) kernels cv. Khon Kaen 84-8. **Journal of Stored Products Research**, v. 78, p. 67-73, 2018.
- PARKHEY S.; NAITHANI S.C.; KESHAVKANT S. Plant Physiology and Biochemistry ROS production and lipid catabolism in desiccating *Shorea robusta* seeds during aging. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 57, p. 261 – 267, 2012.
- PEREZ, A.G. et al. Lipoxygenase and hydroperoxide lyase activities in ripening strawberry fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 249-253, 1999.
- PIZÁ, C. M. et al. Effects of non-thermal plasmas on seed-borne Diaporthe/ Phomopsis complex and germination parameters of soybean seeds. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 49, p. 82–91, 2018.
- POKORNÝ J. et al. Effect of defatted soybean flour on the flavour of extruded mixtures with wheat flour. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 20, p. 229-236, 2002.
- RAISI, M. et al. Effect of storage atmosphere and temperature on the oxidative stability of almond kernels during long term storage. **Journal of Stored Products Research**, v. 62, p. 16-21, 2015.
- RUPOLLO, G. et al. Sistemas de armazenamentos hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1715-1722, 2004.
- SARTORI, A. G. de O. et al. Volatiles and tendency of radical formation of cold-pressed brazil nut oil during ambient storage. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 95, n. 6, p. 721-730, 2018.

SHANTA, N.C.; DECKER, E.A. Rapid, Sensitive, Iron-Based Spectrophotometric Methods for Determination of Peroxide Values of Food Lipids. **Journal of AOAC International**, v. 77, p. 421-424, 1994.

SMANIOTTO, T. A. S. et al. Pathogens incidence and quality of extracted crude oil from soybean seeds stored under different conditions. **Científica**, v. 44, n. 3, p. 300, 2016.

SOUZA, M.O.; MARQUES, D.V.; SOUZA, G.S. O complexo de soja: aspectos descritivos e previsões. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v.2, n.1, p. 1-86, 2010.

TZSCHOPPE, M. et al. Using ion mobility spectrometry for screening the autoxidation of Peanuts, **Food Control**, v. 64, p. 17-21, 2016.

VONG, W. C.; LIU, S. Q. Bioconversion of green volatiles in okara (soybean residue) into esters by coupling enzyme catalysis and yeast (*Lindnera saturnus*) fermentation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 102, n. 23, p. 10017-10026, 2018.

VONG, W. C.; LIU, S.-Q. Changes in volatile profile of soybean residue (okara) upon solid-state fermentation by yeasts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 1, p. 135-143, 2017.

WORLD AGRICULTURAL SUPPLY AND DEMAND ESTIMATES (USDA). Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>> Acesso em: 29 mar. 2019.

YANG, J. et al. Shelf life of infrared dry-roasted almonds. **Food Chemistry**, v. 138, p. 671-678, 2013.

YUAN S.; CHANG S. K. C. Selected odor compounds in soymilk as affected by chemical composition and lipoxygenases in five soybean materials. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, p. 426-431, 2007.

ZHAO, J.; CRANSTON, P. M. Microbial decontamination of black pepper by ozone and the effect of the treatment on volatile oil constituents of the spice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 68, n. 1, p. 11-18, 1995.

ZHOU, Y. et al. Identification of Volatile Oxidation Compounds as Potential Markers of Walnut Oil Quality. **Journal of Food Science**, v. 83, n. 11, p. 2745-2752, 2018.

## 5 DISCUSSÃO GERAL

O uso de silos bolsa é uma tecnologia crescente no atual cenário brasileiro, devido ao sistema de armazenamento existente não atender a demanda da produção nacional de grãos. Nos estados do Centro-Oeste do Brasil este sistema de armazenamento é utilizado sem o controle de temperatura que, em alguns períodos do ano, pode ultrapassar os 35 °C, portanto é importante obter informação sobre o uso da atmosfera controlada em temperaturas elevadas.

Devido à falta de relatos relacionados ao efeito da atmosfera controlada sobre a qualidade de grãos e a qualidade do óleo, foram realizados dois estudos para avaliar a resposta da semente/grão de cultivares de soja a condições de atmosfera controlada em altas temperaturas.

É possível perceber que todas as condições de atmosfera controlada avaliadas apresentaram maior germinação em relação à condição ar ambiente, no teste padrão de germinação, entre areia, a campo. A atmosfera controlada pode ser utilizada pelos armazenadores de semente, tornando-se mais uma ferramenta para garantir alta qualidade fisiológica após longos períodos de armazenamento, no entanto é necessário utilizar uma temperatura inferior a 25 °C. A temperatura de 30 °C reduziu a qualidade fisiológica das sementes de todas as cultivares, sendo que apenas a cultivar NA 5909 RR apresentou germinação acima de 80%, quando não armazenada em atmosfera controlada, nessa temperatura.

As cultivares de soja apresentaram respostas distintas em relação à temperatura máxima tolerada durante o armazenamento. As sementes da NA 5909 RR apresentaram desempenho satisfatório nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C quando mantidas em atmosfera controlada, no entanto a cultivar Fepagro 37 RR apresentou decréscimo na germinação quando mantida a 25 e 30 °C. Esse fato pode estar relacionado a diferenças na composição química, ou manejo durante a produção das sementes. A cultivar Brasmax Desafio RR apresentou os piores resultados entre as cultivares após o armazenamento, provavelmente essa cultivar foi produzida em um ambiente menos favorável, onde as sementes foram submetidas a um estresse climático antes da colheita e após a maturação fisiológica. Este estudo contribui para no embasamento teórico e prático sobre as condições adequadas para o armazenamento de sementes de soja em sistemas herméticos. No entanto, mais estudos devem ser realizados, explorando outras cultivares.

A soja apresenta alto teor de lipídio, o que aumenta a suscetibilidade à degradação lipídica pela ação da lipoxigenase e pela autoxidação, pois ambos processos requerem O<sub>2</sub>

molecular para a ação da lipase e fosfolipases (PIZÁ et al. 2019; VONG, LIU 2018). Um dos princípios da atmosfera controlada é reduzir a pressão parcial de O<sub>2</sub>, que possivelmente reduz a degradação lipídica durante o armazenamento.

Foi possível identificar que o índice de peróxidos e o índice de acidez aumentaram na condição de atmosfera ambiente, em todas as temperaturas utilizadas e nas quatro cultivares avaliadas. Este fato demonstra a importância do uso da atmosfera controlada, principalmente o uso de baixa pressão parcial de O<sub>2</sub> (< 2,0 kPa), uma vez que, 15, 30 e 80 kPa de CO<sub>2</sub> não apresentaram redução no índice de peróxido e acidez em relação a 1,0 kPa e 2,0 kPa de O<sub>2</sub>. Além disso, é possível relacionar a elevação do índice de peróxido com a redução do potencial fisiológicos das sementes, visto que, nos três testes de germinação realizados, a condição ar ambiente apresentou menor germinação e vigor, além disso, na análise de PCA o índice de peróxidos e a condição ar ambiente apresentaram correlação. Fato que pode ser explicado devido mudanças na atividade e síntese das mitocôndrias, desnaturação de proteínas, aumento de ácidos graxos livres, redução níveis de açúcares, redução da atividade enzimática e sínteses de RNA (PIZÁ et al. 2019), que são processos acionados pela desorganização e perda de integridade do sistema de membrana celular, causado pela peroxidação lipídica (PARKHEY et al., 2012; MARCOS FILHO, 2015b).

O composto trans-2-hexenal teve maior abundância na condição ambiente, nas duas cultivares avaliadas, na análise de PCA apresentou correlação com os índices de peróxidos e acidez, fato que indica o avanço do processo de deterioração dos grãos mantidos nessa condição. Além disso, houve menor germinação das sementes quando mantidas na condição ar ambiente. Devido a isso, o composto trans-2-hexenal pode ser usado para indicar o processo de deterioração lipídica e, conseqüentemente, a perda da viabilidade das sementes. Os compostos trans-2-nonanal, hexanal e trans-2-hexenal foram reportados como agentes inibidores da germinação de sementes de soja (GARDNER; DORNBOS; DESJARDINS, 1990). Foi observado que a condição ar ambiente apresentou maior concentração de hexanal e trans-2-hexenal, provavelmente isso pode ter ocasionado menor vigor e germinação das sementes de soja. Além disso, esses compostos são responsáveis por conferirem sabor de *beany flavor* em soja, característica de difícil remoção durante o processamento (JIANG et al. 2018; MU et al. 2019; VONG, LIU 2018, 2017).



## 6 CONCLUSÃO DA DISSERTAÇÃO

A atmosfera controlada na condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub> mantém maior porcentagem de germinação da semente de soja em todas as cultivares testadas após sete meses de armazenamento, no entanto não é recomendado utilizar temperatura superior a 25 °C durante o armazenamento.

A uso de alta pressão parcial de CO<sub>2</sub> não apresentou efeitos positivos no potencial fisiológico das sementes das cultivares TEC IRGA 6070 RR, Brasmax Desafio RR e Fepagro 37 RR.

Na temperatura de 20 °C todas as cultivares alcançam o padrão mínimo de germinação exigido pela legislação, quando as sementes foram armazenadas em atmosfera controlada. A temperatura de 25 °C não é recomendada para o armazenamento da cultivar Brasmax Desafio RR, independente da condição de atmosfera controlada. A cultivar NA 5909 RR atende o padrão de germinação em todas as temperaturas utilizadas no estudo e a condição ar ambiente não é recomendada para armazenar essa cultivar nas temperaturas de 25 e 30 °C.

O armazenamento em atmosfera controlada proporciona menor índice de acidez e índice de peróxidos no óleo da soja armazenada por sete meses nas condições de 1,0 kPa O<sub>2</sub> se 2,0 kPa O<sub>2</sub>, sendo essas condições recomendadas para obter uma maior qualidade do óleo.

A utilização de alta pressão parcial de dióxido de carbono no ambiente de armazenamento não proporciona maior manutenção da qualidade do óleo.

Visando manter a qualidade do óleo, é possível armazenar grãos na temperatura de 20 e 25 °C, desde de que seja utilizada a atmosfera controlada.

O composto trans-2-hexenal é um importante marcador da deterioração lipídica de grãos de soja, com correlação com o índice de peróxido e acidez do óleo de soja.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABALONE, R. et al. Gas concentration in the interstitial atmosphere of a wheat silo-bag. Part II: Model sensitivity and effect of grain storage conditions. **Journal of Stored Products Research**, v. 47, n. 4, p. 276-283, 2011.
- ADLER, C.; CORINTH, H. G.; REICHMUTH, C. Modified atmospheres. In: **Subramanyam, hagstrum, d.w. (eds.), alternatives to pesticides in stored-products**. IPM Kluwer, Boston, MA, p. 105-146, 2000.
- ALENCAR, E. R. et al. Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 303-308, 2010.
- ALIYEV, J. A. Photosynthesis, photorespiration and productivity of wheat and soybean genotypes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v.65, n.56, p.7-48, 2010.
- ANE, M. N. et al. Comparative effectiveness of GrainPro Cocoon TM with traditional storage systems against *Tribolium castaneum* ( Hbst .), *Rhizopertha dominica* ( F .) and *Sitophilus oryzae* ( L .). **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 12, p. 2784-2787, 2011.
- BARRETO, A. et al. Analysis of storage conditions of a wheat silo-bag for different weather conditions by computer simulation. **Biosystems Engineering**, v. 116, n. 4, p. 497-508, 2013.
- ÁVILA, M. R. et al. Physiological quality, content and activity of antioxidants in soybean seeds artificially aged. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 397-407, 2012.
- BANKS, H. J.; ANNIS, P. C. Comparative advantage of high CO<sub>2</sub> and low O<sub>2</sub> types of controlled atmospheres for grain storage. In: **Food Preservation by Modified Atmospheres**. Ed. Calderon, M.; Barkai-Golan, R., CRC Press, Boca Raton. pp 93-119, 1990.
- BARTOSIK, R.; CARDOSO, L.; RODRÍGUEZ, J. Early detection of spoiled grain stored in hermetic plastic bags (silo-bags) using CO<sub>2</sub> monitoring. In: **Proceedings of the 8th international conference controlled atmospheres and fumigation of stored products**. Sichuan Publishing House of Science and Technology, Chengdu, China, p.550-554, 2008.
- BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, v. 14, n. 01, p. 1-16, 2004.
- BOUÉ, S. M. et al. Identification of volatile compounds in soybean at various developmental stages using solid phase microextraction. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 17, p. 4873-4876, 2003.
- CARVALHO, E. R. et al. Alterações isoenzimáticas em sementes de cultivares de soja em diferentes condições de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 967-976, 2014.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590p.
- CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; PEPES, L.E.P. **Manual de fisiologia vegetal: Fisiologia de cultivos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2008. 864p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento safra brasileira de grãos, v. 6 Safra 2018/19 - Sexto levantamento, Brasília, p. 1-145, março 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>.> Acesso em: 28 mar. 2019.

COPELAND, L. O.; MCDONALD, M. B. **Principles of Seed Science and Technology**. Boston, MA: Springer US, 2001.

COSTA, A. R. et al. Qualidade de grãos de milho armazenados em silos bolsa. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 41, n. 2, p. 200-207, 2010.

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

ERTEN, E. S.; CADWALLADER, K. R. Identification of predominant aroma components of raw, dry roasted and oil roasted almonds. **Food Chemistry**, v. 217, p. 244-253, 2017.

FERGUSON, J. M.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Changes During Early Seed and Axes Deterioration: I. Seed Quality and Mitochondrial Respiration. **Crop Science**, v. 30, n. 1, p. 175, 1990.

FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, n. 3, p. 501-523, 2006.

FREITAS, R. S. et al. Quality of beans stored under hermetic conditions. **Engenharia Agrícola**, v.31, p. 1136-1149, 2011.

FREITAS, R. S.; FARONI, L. R. A.; SOUSA, A. H. Hermetic storage for control of common bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* (Say). **Journal of Stored Products Research**, v. 66, p. 1-5, 2016.

GARDNER, H. W.; DORNBOS, D. L.; DESJARDINS, A. E. Hexanal, trans-2-hexenal, and trans-2-nonenal inhibit soybean, *Glycine max*, seed germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 38, n. 6, p. 1316-1320, 1990.

GASTÓN, A. et al. Mathematical modelling of heat and moisture transfer of wheat stored in plastic bags (silo bags). **Biosystems Engineering**, v. 104, n. 1, p. 72-85, 2009.

GROOT, S. P. C. et al. Prolonging the longevity of ex situ conserved seeds by storage under anoxia. **Plant Genetic Resources**, v. 13, n. 01, p. 18-26, 2015.

HE, D. et al. Constructing the metabolic and regulatory pathways in germinating rice seeds through proteomic approach. **Proteomics**, v. 11, n. 13, p. 2693-2713, 2011.

HENNING, A. A. Patologia e tratamento de sementes: noções gerais. ed. 2, Londrina: Embrapa Soja. 2005, 52p.

HENNING, A. A. et al. Importância do tratamento de sementes de soja com fungicidas na safra 2010/2011, ano de “La Niña”. **Circular Técnica-EMBRAPA**, v. 20, p. 55-61, 2010.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 28, n. 6, p. 473-488, 2004.

JAYAS, D. S.; JEYAMKONDAN, S. Modified atmosphere storage of grains meats fruits and vegetables. **Biosystems Engineering**, v. 82, n. 3, p. 235-251, 2002.

JIANG, Y. et al. Inactivation of lipoxygenase in soybean by radio frequency treatment. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, n. 12, p. 2738-2747, 2018.

JYIOTI; MALIK, C. . Seed deterioration: a review. **International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research**, v. 2, n. 3, p. 374-385, 2013.

KIMURA, M.; NAMBARA, E. Stored and neosynthesized mRNA in Arabidopsis seeds: effects of cycloheximide and controlled deterioration treatment on the resumption of transcription during imbibition. **Plant Molecular Biology**, v. 73, n. 1-2, p. 119-129, 2010.

KRZYZANOWSKI, F. C. et al. A semente de soja como tecnologia e base para altas produtividades- Série sementes, 7 p., 2008 (Embrapa soja documento, 55).

LOPES, R. M.; **Avaliação de metodologias moleculares e citogenéticas para detectar níveis de deterioração em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. Tese (Doutorado em Botânica) - Programa de Pós Graduação em Botânica, Universidade de Brasília, UnB, 2016.

MANANDHAR, A.; MILINDI, P.; SHAH, A. An Overview of the Post-Harvest Grain Storage Practices of Smallholder Farmers in Developing Countries. **Agriculture**, v. 8, n. 4, p. 57, 2018.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005.

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

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

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

MBOFUNG, G. C. Y. et al. Effects of Storage Temperature and Relative Humidity on Viability and Vigor of Treated Soybean Seeds. **Crop Science**, v. 53, n. 3, p. 1086, 2013.

MCDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology repair and assessment. **Seed science and technology**, v. 27, n. 1, p. 177-238, 1999.

MENTEN, J. O.; MORAES, M. H. D. Tratamento de sementes: histórico, tipos, características e benefícios. **Informativo ABRATES**, vol. 20, n. 3, p. 52-71, 2010.

MU, H. et al. Study on the Volatile Oxidation Compounds and Quantitative Prediction of Oxidation Parameters in Walnut (*Carya cathayensis* Sarg.) Oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 121, n. 6, p. 1-19, 2019.

NARAYAN, R. Changes in the quality of soybean during storage. Part 1—Effect of storage on some physico-chemical properties of soybean. **Food Chemistry**, v. 27, n. 1, p. 13-23, 1988.

NAVARRO, S. et al. Controlled or Modified Atmospheres. In: HAGSTRUM, D. W.; PHILLIPS, T. W.; CUPERUS, G. **Stored Product Protection**. Kansas State University, September 2012. cap. 16 p. 191-202.

- NAVARRO, S.; DONAHAYE, J. E. Innovative environmentally friendly technologies to maintain quality of durable agricultural produce. In: **Ben-yeoshua, s. (ed.), environmentally friendly technologies for agricultural produce quality**. CRC Press, New York, USA, p.203-260, 2005.
- NONOGAKI, H.; BASSEL, G.; BEWLEY, D. Germination—Still a mystery. **Plant Science**, v. 179, p. 574-581, 2010.
- O'BRIEN, R. D. Fat and oils. In: **O'brien, r.d. (ed.). Fats and oils formulating and processing for applications**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p.175-232.
- OCHANDIO, D. et al. Modelling respiration rate of soybean seeds (*Glycine max* (L.)) in hermetic storage. **Journal of Stored Products Research**, v. 74, p. 36-45, 2017.
- ÖLMEZ, H.; AKBAS, M. Y. Optimization of ozone treatment of fresh-cut green leaf lettuce. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 4, p. 487-494, 2009.
- OPIO, P.; PHOTCHANACHAI, S. Modified atmosphere influences aflatoxin B1 contamination and quality of peanut (*Arachis hypogaea* L.) kernels cv. Khon Kaen 84-8. **Journal of Stored Products Research**, v. 78, p. 67-73, 2018.
- PARKHEY S.; NAITHANI S.C.; KESHAVKANT S. Plant Physiology and Biochemistry ROS production and lipid catabolism in desiccating Shorea robusta seeds during aging. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 57, p. 261 – 267, 2012.
- PEDRICK, C. Going to waste-missed opportunities in the battle to improve food security. **CTA Policy Brief**, September, 2012.
- PESKE, S. T.; ROSENTHAL. M. D.; ROTA, G. R. M. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 3.ed., Pelotas: Editora e Gráfica da UFPel, 2006, 415p.
- PESKE, S. T.; ROSENTHAL. M. D.; ROTA, G. R. M. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 1.ed., Pelotas: Editora e Gráfica da UFPel, 2003, 415p.
- PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3.ed., Pelotas: Editora e Gráfica da UFPel, 2012. 573p.
- PIZÁ, C. M. et al. Effects of non-thermal plasmas on seed-borne Diaporthe/ Phomopsis complex and germination parameters of soybean seeds. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 49, p. 82–91, 2018.
- POPIGINIS, F. Fisiologia da semente. Brasília: Ministério da Agricultura- AGLIPAN, 1985.
- QUEZADA, M. Y. et al. Hermetic storage system preventing the proliferation of *Prostephanus truncatus* Horn and storage fungi in maize with different moisture contents. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, n. 3, p. 321-326, 2006.
- RAJJOU, L. The Effect of -Amanitin on the Arabidopsis Seed Proteome Highlights the Distinct Roles of Stored and Neosynthesized mRNAs during Germination. **Plant physiology**, v. 134, n. 4, p. 1598-1613, 2004.
- RIDLEY, A. W. et al. Phosphine fumigation of silo bags. **Journal of Stored Products Research**, v. 47, n. 4, p. 349-356, 2011.

- RIUDAVETS, J. et al. Effect of CO<sub>2</sub> modified atmosphere packaging on aflatoxin production in maize infested with *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 77, p. 89-91, 2018.
- RODRÍGUEZ, J. C. et al. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag – Informe Final de Girassol. EEA INTA Balcarce, 2002.
- RODRÍGUEZ, J. C. et al. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag. EEA INTA Balcarce, 2010. Disponível em: <<http://www.engormix.com>>. Acesso em: 07 abr. 2019.
- RUPOLLO, G. et al. Efeito da umidade e do período de armazenamento hermético na contaminação natural por fungos e a produção de micotoxinas em grãos de aveia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 1, p. 118-125, 2006.
- RUPOLLO, G. et al. Sistemas de armazenamentos hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1715-1722, 2004.
- SAMAPUNDO, S. et al. The influence of modified atmospheres and their interaction with water activity on the radial growth and fumonisin B1 production of *Fusarium verticillioides* and *F. proliferatum* on corn. Part I: The effect of initial headspace carbon dioxide concentration. **International Journal of Food Microbiology**, v. 114, n. 2, p. 160-167, 2007.
- SCHEEREN, B. R. et al. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 35-41, 2010.
- SCHONS, A. et al. Respostas do genótipo, tratamento de sementes e condições de armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 109-121, 2018.
- SCHUCH, L. O. B. et al. Emergência no campo e crescimento inicial de aveia preta em resposta ao vigor das sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 6, n. 2, p. 97-101, 2000.
- SOUZA, M.O.; MARQUES, D.V.; SOUZA, G.S. O complexo de soja: aspectos descritivos e previsões. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v.2, n.1, p. 1-86, 2010.
- TAHER, H. I. et al. Predicting soybean losses using carbon dioxide monitoring during storage in silo bags. **Journal of Stored Products Research**, v. 82, p. 1-8, 2019.
- TATIPATA, A. Effect of seed moisture content, packaging and storage period on mitochondria inner membrane of soybean seed. **Journal of Agricultural Technology**. v. 5, n. 1, p.51-64, 2009.
- VARNAVA, A.; NAVARRO, S.; DONAHAYE, E. Long-term hermetic storage of barley in PVC-covered concrete platforms under Mediterranean conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v. 6, n. 1-2, p. 177-186, 1995.
- VIEIRA, B. G. T. L. et al. Biochemical alterations in soybean seeds with harvesting time and storage temperature. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, n. 3-4, p. 887-891, 2013.
- VONG, W. C.; LIU, S. Q. Bioconversion of green volatiles in okara (soybean residue) into esters by coupling enzyme catalysis and yeast (*Lindnera saturnus*) fermentation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 102, n. 23, p. 10017-10026, 2018.

VONG, W. C.; LIU, S.-Q. Changes in volatile profile of soybean residue (okara) upon solid-state fermentation by yeasts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 1, p. 135-143, 2017.

WILLIAMS, S. B.; BARIBUTSA, D.; WOLOSHUK, C. Assessing Purdue Improved Crop Storage (PICS) bags to mitigate fungal growth and aflatoxin contamination. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 190-196, 2014.

WORLD AGRICULTURAL SUPPLY AND DEMAND ESTIMATES (USDA) Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2019.