

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos



Dissertação

Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de avaliação da qualidade dos grãos, do óleo e de compostos bioativos de soja

Valmor Ziegler

Pelotas, 2014

Valmor Ziegler

Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de avaliação da qualidade dos grãos, do óleo e de compostos bioativos de soja

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Coorientador: Prof. Dr. Maurício de Oliveira

Pelotas, 2014

Catálogo na fonte

Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Z66e Ziegler, Valmor

Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de avaliação da qualidade dos grãos, do óleo e de compostos bioativos de soja / Valmor Ziegler; Moacir Cardoso Elias, orientador; Maurício de Oliveira, coorientador. — Pelotas, 2014.

110 f. : il.

Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia de alimentos) — Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2014.

1. *Glycine max.* (L) Merrill. 2. Armazenamento. 3. Parâmetros de qualidade. I. Elias, Moacir Cardoso, orient. II. Título.

CDD 633.34

Valmor Ziegler

Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de avaliação da qualidade dos grãos, do óleo e de compostos bioativos de soja

Dissertação apresentada, como requisito parcial, para obtenção do grau de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 13/08/2014

Banca examinadora:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (orientador). Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof. Dr. Manoel Luiz Brenner de Moraes. Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof. Dr. Fabrizio da Fonseca Barbosa. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa.

Dr. Wilner Brod Peres. Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas.

**Dedico esse trabalho a meus pais, Edeimar e
Marlene, e a meu irmão Valdair**

Agradecimentos

A Deus, por me guiar, proteger pelos caminhos percorridos durante a vida e me ajudar na tomada de decisões, pelas oportunidades colocadas em minha trajetória ao longo desse período e pela força para encará-las.

Aos meus pais, Edemar e Marlene, pessoas admiráveis, compreensivas, carinhosas e dedicadas, por todo o amor, carinho e apoio que me deram ao longo de toda a minha vida, incentivando e orientando, sempre nos momentos certos. São os pilares da minha vida.

Ao meu irmão Valdair, pelos exemplos. Apesar de longe há alguns anos, somos amigos eternos.

Ao professor e orientador Dr. Moacir Cardoso Elias, pelo apoio e orientação, desde os primeiros dias em que estive nessa Faculdade, oportunizando crescimento pessoal e profissional ao longo desse tempo no Laboratório de Grãos. Será sempre lembrado pelos ensinamentos pessoais e profissionais proporcionados.

Ao coorientador Professor Dr. Maurício de Oliveira, pelos ensinamentos proporcionados durante o mestrado.

Aos colegas de pós-graduação e amigos, mestrando Eng. Agrônomo Cristiano Dietrich Ferreira e Doutorando Ricardo Tadeu Paraginski, pela oportunidade de trabalharmos juntos e por me ajudarem sempre que precisei, esclarecendo dúvidas, construindo o conhecimento de forma conjunta, meu eterno agradecimento.

Ao laboratorista Marco Aurélio Ziemann dos Santos, pelo auxílio na realização das análises cromatográficas.

Aos professores do DCTA, Alvaro Renato Guerra Dias, Angela Maria Fiorentini, Cesar Valmor Rombaldi, Elessandra da Rosa Zavareze, Fábio Clasen Chaves, Leonardo Nora e Manoel Artigas Schirmer, pelas contribuições ao longo do período de mestrado no programa.

Aos colegas do LABGRÃOS, doutorandos, mestrandos e da graduação, pela excelente acolhida e convivência desde quando cheguei nesse meio.

Aos professores do Instituto Federal Farroupilha-Campus Santo Augusto, que durante a graduação me ajudaram a crescer profissionalmente, em especial ao professor M.Sc. Aelson Alouir Santana Brum, pelos ensinamentos na Iniciação Científica, e incentivo para ingressar na pós-graduação.

À Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Polo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul, muito obrigado.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram com seu incentivo ou apoio para essa formação e conquista pessoal.

Resumo

ZIEGLER, Valmor. **Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de avaliação da qualidade dos grãos, do óleo e de compostos bioativos de soja.** 2014, 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

A soja é a principal oleaginosa produzida no mundo, com excelente composição de óleo, proteínas, vitaminas e compostos bioativos. A qualidade do produto a ser comercializado é diretamente influenciada pelas técnicas de armazenamento, sendo a umidade dos grãos, a temperatura de armazenamento e a umidade relativa do ar são os responsáveis pela maioria das alterações. Objetivou-se, com o trabalho, avaliar efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de qualidade dos grãos, do óleo e dos compostos bioativos de soja. Os grãos, produzidos no município de Canguçu, no sul do Rio Grande do Sul, foram colhidos mecanicamente com 22% de umidade, secos em secador estacionário até as respectivas umidades de estudo. Os grãos foram armazenados nas umidades de 9, 12, 15 e 18%, nas temperaturas de 11, 18, 25 e 32°C. Os resultados indicam que aumentos da umidade dos grãos e da temperatura do ambiente de armazenamento provocam as maiores reduções de qualidade, com expressivo aumento de compostos fenólicos e conseqüentemente sua atividade antioxidante. Alguns parâmetros, como peso volumétrico, cor, proteínas, açúcar redutor e cinzas são mais influenciados pela umidade de armazenamento, enquanto para os carotenoides e a solubilidade proteica a temperatura é mais importante, porém a utilização de baixas temperaturas, na mesma umidade, aumenta a conservação dos grãos.

Palavras-chave: *Glycine max.* (L) Merrill, armazenamento, parâmetros de qualidade

Abstract

ZIEGLER, Valmor. **Effects of moisture and storage temperature on parameters to assess the quality of the grain, oil and soy bioactive compounds.** 2014, 110f. Dissertation (M.Sc in Food Science and Technology) - Graduate Program in Science and Food Technology. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2014.

Soybean is the main oilseed produced in the world, with excellent oil composition, proteins, vitamins and bioactive compounds. The quality of the product being marketed is directly influenced by storage techniques, and the grain moisture, storage temperature and relative humidity are responsible for most of the changes. The aim with the study was to evaluate effects of humidity and temperature of storage on quality parameters of grains, oil and soy bioactive compounds. The grains produced in the municipality of Canguçu in southern Rio Grande do Sul were harvested mechanically with 22% moisture, dry in dryer until their steady humidities study. The kernels were stored in moisture 9, 12, 15 and 18% at temperatures of 11, 18, 25 and 32 ° C. The results indicate that increases in grain moisture and storage temperature cause the greatest reductions in quality, with significant increase of phenolic compounds and consequently its antioxidant activity. Some parameters such as volumetric weight, color, protein, reducing sugar and ashes are more influenced by moisture storage, while for carotenoids and protein solubility temperature is more important, but the use of low temperatures in the same humidity increases preservation of grains.

Key-words: *Glycine max.* (L) Merrill, storage, quality parameters

Lista de figuras

Figura 1	Evolução da produção de soja e área cultivada no Brasil de 1990 a 2014.....	22
Figura 2	Estrutura do grão de soja.....	24
Figura 3	Estrutura do β -caroteno.....	28
Figura 4	Estrutura do tocoferol.....	29
Figura 5	Representação da estrutura da parede celular primária de material vegetal e entre os componentes estruturais e compostos fenólicos. (A) Celulose. (B) hemicelulose, (C) proteínas estruturais, (D) pectina, (E) ácidos fenólicos (F) lignina.....	29
Figura 6	Estrutura química de um flavonoide.....	31
Figura 7	Estrutura do ácido fítico.....	32
Figura 8	Secador estacionário protótipo do Laboratório de Grãos.....	36
Figura 9	Câmaras de armazenamento dos grãos de soja com controle de temperatura.....	37
Figura 10	Termograma das propriedades térmicas do farelo de soja desengordurado.....	57
Figura 11	Cromatograma representativo do perfil de ácidos graxos do óleo de soja.....	74

Lista de tabelas

Tabela 1	Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do Grupo I.....	23
Tabela 2	Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do Grupo II.....	23
Tabela 3	Composição em ácidos graxos encontrados nos principais óleos vegetais.....	26
Tabela 4	Delineamento experimental.....	38
Tabela 5	Umidade (%) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	46
Tabela 6	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o peso de mil grãos (g) de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	47
Tabela 7	Efeitos da umidade de armazenamento sobre o peso de mil grãos (g) de grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	48
Tabela 8	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o peso volumétrico ($\text{g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	49
Tabela 9	Efeitos da umidade de armazenamento sobre o peso volumétrico ($\text{g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	50
Tabela 10	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a variação de cor (ΔE) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	51
Tabela 11	Efeitos da umidade de armazenamento sobre a variação de cor (ΔE) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze	

	meses.....	52
Tabela 12	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de proteínas (% em base seca) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	53
Tabela 13	Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de proteínas (% em base seca) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	54
Tabela 14	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a solubilidade proteica (% em base seca) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	55
Tabela 15	Efeitos da umidade de armazenamento sobre a solubilidade proteica (% em base seca) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	56
Tabela 16	Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), correspondente ao pico da fração 7S, de grãos de soja armazenados com quatro umidades de grãos e quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	58
Tabela 17	Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), correspondente ao pico da fração 11S, de grãos de soja armazenados com quatro umidades de grãos e quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	59
Tabela 18	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de lipídios (% em base seca) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	61
Tabela 19	Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de lipídios (% em base seca) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	62
Tabela 20	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a acidez	

	lipídica (mg de NaOH.100g ⁻¹ de óleo) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	63
Tabela 21	Efeitos da umidade de armazenamento sobre a acidez lipídica (mg de NaOH.100g ⁻¹ de óleo) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	64
Tabela 22	Efeito da temperatura de armazenamento sobre o índice de peróxidos (meq O ₂ . Kg ⁻¹ de óleo) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	66
Tabela 23	Efeito da umidade de armazenamento sobre o índice de peróxidos (meq O ₂ . Kg ⁻¹ de óleo) do óleo obtido de grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	67
Tabela 24	Efeito da temperatura de armazenamento sobre o coeficiente de extinção específica (K_{232}) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	68
Tabela 25	Efeito da umidade de armazenamento sobre o coeficiente de extinção específica (K_{232}) do óleo obtido de grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	69
Tabela 26	Efeito da temperatura de armazenamento sobre o coeficiente de extinção específica (K_{270}) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	70
Tabela 27	Efeito da umidade de armazenamento sobre o coeficiente de extinção específica (K_{270}) do óleo obtido de grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	71
Tabela 28	Efeito da temperatura de armazenamento sobre o Índice de iodo (g de Iodo.100 ⁻¹) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-	

	hermético, durante doze meses.....	72
Tabela 29	Efeito da umidade de armazenamento sobre o Índice de iodo (g de Iodo.100 ⁻¹) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	73
Tabela 30	Perfil de ácidos graxos do óleo de soja obtido de grãos armazenados com quatro umidades de grãos e quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante 12 meses (% do total de ésteres derivatizados).....	76
Tabela 31	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o pH da farinha dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	78
Tabela 32	Efeitos da umidade de armazenamento sobre o pH da farinha dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	79
Tabela 33	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre os açúcares redutores (mg de glicose.g ⁻¹) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	80
Tabela 34	Efeitos da umidade de armazenamento sobre os açúcares redutores (mg de glicose.g ⁻¹) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	81
Tabela 35	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de cinzas (% em base seca) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	82
Tabela 36	Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de cinzas (% em base seca) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	83
Tabela 37	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre os compostos fenólicos livres (mg ácido gálico.g ⁻¹) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema	

	semi-hermético, durante doze meses.....	85
Tabela 38	Efeitos da umidade de armazenamento sobre os compostos fenólicos livres (mg ácido gálico.g ⁻¹) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante oito meses.....	86
Tabela 39	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a atividade antioxidante pelo radical ABTS (mg de trolox.g ⁻¹) dos compostos fenólicos livres dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	87
Tabela 40	Efeitos da umidade de armazenamento sobre a atividade antioxidante pelo radical ABTS (mg de trolox.g ⁻¹) dos compostos fenólicos livres dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	88
Tabela 41	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre os compostos fenólicos ligados (mg ácido gálico.g ⁻¹) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	89
Tabela 42	Efeitos da umidade de armazenamento sobre os compostos fenólicos ligados (mg ácido gálico.g ⁻¹) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	90
Tabela 43	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a atividade antioxidante pelo radical ABTS (mg de trolox.g ⁻¹) dos compostos fenólicos ligados dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	91
Tabela 44	Efeitos da umidade de armazenamento sobre a atividade antioxidante pelo radical ABTS (mg de trolox.g ⁻¹) dos compostos fenólicos ligados dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	92
Tabela 45	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de	

	carotenoides (mg de β -caroteno. $100g^{-1}$ de óleo) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	94
Tabela 46	Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de carotenoides (mg de β -caroteno. $100g^{-1}$ de óleo) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	95
Tabela 47	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de flavonoides (mg de catequina. g^{-1}) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	96
Tabela 48	Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de flavonoides (mg de catequina. g^{-1}) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	97
Tabela 49	Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de ácido fítico (mg de ácido fítico. g^{-1}) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	98
Tabela 50	Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de ácido fítico (mg de ácido fítico. g^{-1}) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses.....	99

Sumário

1	Introdução	19
2	Revisão bibliográfica	21
2.1	Aspectos evolutivos e importância da soja.....	21
2.2	Estrutura e composição dos grãos de soja.....	24
2.3	Secagem e armazenamento	32
3	Material e métodos.....	36
3.1	Material.....	36
3.2	Delineamento experimental.....	37
3.3	Avaliações.....	38
3.3.1	Propriedades tecnológicas e parâmetros de avaliação nutricional dos grãos e do óleo	38
3.3.1.1	Umidade	38
3.3.1.2	Peso de mil grãos.....	38
3.3.1.3	Peso volumétrico	39
3.3.1.4	Cor.....	39
3.3.1.5	Composição química.....	39
3.3.1.6	Proteína solúvel.....	39
3.3.1.7	Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	39
3.3.1.8	Estabilidade lipídica.....	40
3.3.1.9	Coeficientes de extinção específica (K_{232} e K_{270})	40
3.3.1.10	Perfil de ácidos graxos	40
3.3.1.11	pH dos grãos	41
3.3.1.12	Açúcar redutor	41
3.3.2	Perfil qualitativo e quantitativo de metabólitos.....	41
3.3.2.1	Compostos fenólicos livres e atividade antioxidante – radical ABTS	41
3.3.2.1.1	Obtenção do extrato	41
3.3.2.1.2	Quantificação de compostos fenólicos livres.....	42
3.3.2.2	Compostos fenólicos ligados e sua atividade antioxidante – radical ABTS... 42	
3.3.2.2.1	Obtenção do extrato	42
3.3.2.2.2	Quantificação de compostos fenólicos complexados	43
3.3.2.3	Carotenoides totais.....	43
3.3.2.4	Flavonoides	43

3.3.2.5 Ácido fítico.....	44
3.3.3 Análise estatística	44
4 Resultados e discussão.....	45
4.1 Propriedades tecnológicas e parâmetros de avaliação nutricional dos grãos e do óleo.....	45
4.1.1 Umidade	45
4.1.2 Peso de mil grãos.....	46
4.1.3 Peso volumétrico.....	48
4.1.4 Cor.....	50
4.1.5 Teor de proteínas	52
4.1.6 Índice de solubilidade proteica	54
4.1.7. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)	56
4.1.8 Teor de lipídios.....	60
4.1.9 Índice de acidez lipídica	62
4.1.10 Índice de peróxidos	64
4.1.11 Coeficiente de Extinção Especifica a K_{232}	67
4.1.12 Coeficiente de Extinção Especifica a K_{270}	69
4.1.13 Índice de iodo	71
4.1.14 Perfil de ácidos graxos	73
4.1.15 pH dos Grãos	77
4.1.16 Açúcares redutores	79
4.1.17 Teor de cinzas.....	81
4.2 Metabólitos	83
4.2.1 Teor de compostos fenólicos livres.....	83
4.2.2 Atividade antioxidante pelo radical ABTS dos compostos fenólicos livres.....	86
4.2.3 Teor de compostos fenólicos ligados.....	88
4.2.4 Atividade antioxidante pelo radical ABTS dos compostos fenólicos ligados.....	90
4.2.5 Teor de carotenoides totais	92
4.2.6 Teor de flavonoides	95
4.2.7 Teor de ácido fítico	97
5 Conclusões.....	99
6 Referências	101

1 Introdução

A cultura da soja tem grande importância no cenário mundial. Grão oleaginoso mais produzido no mundo, com destaques para Estados Unidos e Brasil, os principais produtores. É importante fonte de proteínas para muitos povos, sejam eles pertencentes a países pobres, emergentes ou desenvolvidos. Sua composição química, de alto valor, possibilita sua utilização nos mais variados ramos de alimentação humana e animal, e em sistemas agroenergéticos.

Os lipídios presentes nos grãos possuem alto valor comercial, e são utilizados tanto no consumo de forma direta ou como matéria-prima para as indústrias agroenergéticas, representando 90% da produção de óleo e 80% do biodiesel no Brasil. Já a parte proteica desses grãos é amplamente utilizada na alimentação animal, sendo fonte de proteínas na formulação de rações para alimentação do gado de corte ou leiteiro. As proteínas também são utilizadas, principalmente na China, no Japão e em países vizinhos, como matéria-prima para a produção de *soymilk* e *tofu*, alimentos típicos dessa região.

A produção de soja está entre as atividades econômicas que, nas últimas décadas, apresentaram os maiores crescimentos mundiais. Isso pode ser atribuído a diversos fatores, como a estruturação de um grande mercado internacional relacionado com o comércio de produtos do complexo soja: seu percentual significativo de óleo, sendo esse um dos mais consumidos no mundo, e proteínas restantes na extração de óleo, com excelente representação comercial. Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, estados que mais produzem, representam mais de 60% das 81,2 milhões de toneladas de grãos de soja produzidas no Brasil na última safra.

A etapa de pós-colheita tem sido o grande gargalo da cadeia produtiva de grãos. A maior parte dos grãos de cereais e leguminosas passa por uma série de operações como pré-limpeza, secagem, limpeza e armazenagem, que em geral precedem o processamento industrial. O armazenamento pode ser executado em sistemas convencional, hermético, emergencial ou semi-hermético, dependendo do

tempo e da finalidade que os grãos são destinados. A grande maioria dos grãos de soja é armazenada em sistema semi-hermético, caracterizado pelos silos metálicos, porém há poucos estudos realizados com o intuito de avaliar a comportamento dos grãos armazenados nesse sistema.

A colheita dos grãos acontece em época específica do ano, e dessa forma os grãos são armazenados por períodos que podem chegar a um ano, para atender a demanda das indústrias processadoras no país e competir no mercado externo. Falhas na etapa de armazenamento encarecem as etapas industriais, bem como reduzem a qualidade dos produtos, podendo não atender ao mercado consumidor, que está cada vez mais exigente e competitivo.

O comportamento dos grãos durante o armazenamento é diretamente influenciado por sua qualidade inicial, condições físicas, umidade e temperatura dos grãos e do ar no ambiente de armazenamento. Os grãos armazenados continuam o processo respiratório e, dependendo das condições de armazenamento, a atividade metabólica pode ser retardada ou acelerada, desencadeando uma série de reações bioquímicas que afetam quantitativamente e qualitativamente os componentes dos grãos, bem como suas propriedades tecnológicas.

O armazenamento ideal busca a manutenção das características tecnológicas, nutricionais e fisiológicas, porém a maioria dos estudos são realizados com o acompanhamento até os 6 meses de armazenamento, porém não atende a necessidade das indústrias e da logística atual, justificando assim um estudo por tempo mais longo (12 meses). O comportamento dos compostos bioativos e antioxidantes durante o armazenamento ainda não são bem elucidados pela literatura, e dessa forma a pesquisa busca contribuir com a ampliação de conhecimentos científicos e tecnológicos para tornar essa cadeia produtiva ainda mais forte e competitiva.

Objetivou-se, com o trabalho, avaliar efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de avaliação tecnológica e formação de compostos bioativos em grãos de soja.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Aspectos evolutivos e importância da soja

A soja (*Glycine max.* (L) Merrill), uma espécie dicotiledônea, da família Fabacea, é o grão mais produzido no Brasil e no mundo. A soja cultivada atualmente é muito diferente das plantas que lhe deram origem. Primeiramente, a soja era uma planta rasteira e habitava a costa leste da Ásia, principalmente a região norte da China, onde era explorada como um grão sagrado. Sua evolução ocorreu através do cruzamento natural entre duas espécies de soja selvagem, que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China. Durante muito tempo a soja foi cultivada apenas como forrageira, por não se ter o devido conhecimento da riqueza nutricional desse grão, sendo que o Ocidente ignorou o seu cultivo até a segunda década do século XX, quando os Estados Unidos (EUA) iniciaram sua exploração comercial, primeiro como forrageira e, posteriormente, como grão. A partir de então, a cultura foi sendo disseminada por todo o mundo (DALL' AGNOL et al., 2007).

Atualmente a soja tem se mostrado uma ótima matéria prima para produção de biocombustíveis, além de ter uma composição proteica de elevado valor biológico e por isso se destaca no consumo em muitos povos. No Brasil seu cultivo iniciou em 1908, porém a ampliação do cultivo ocorreu apenas nos anos 70, com excelentes aumentos de produção até a atualidade, chegando aos atuais 86,5 milhões de toneladas conforme dados históricos de produção e área plantada representados na figura 1. Esse aumento é decorrente de uma série de fatores como o aumento da população, a disponibilidade de tecnologias para o cultivo e a demanda internacional de óleo (SOUZA et al., 2000). Atualmente o Brasil é o segundo maior produtor desse grão, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, com perspectivas de ser, em breve, o maior produtor.

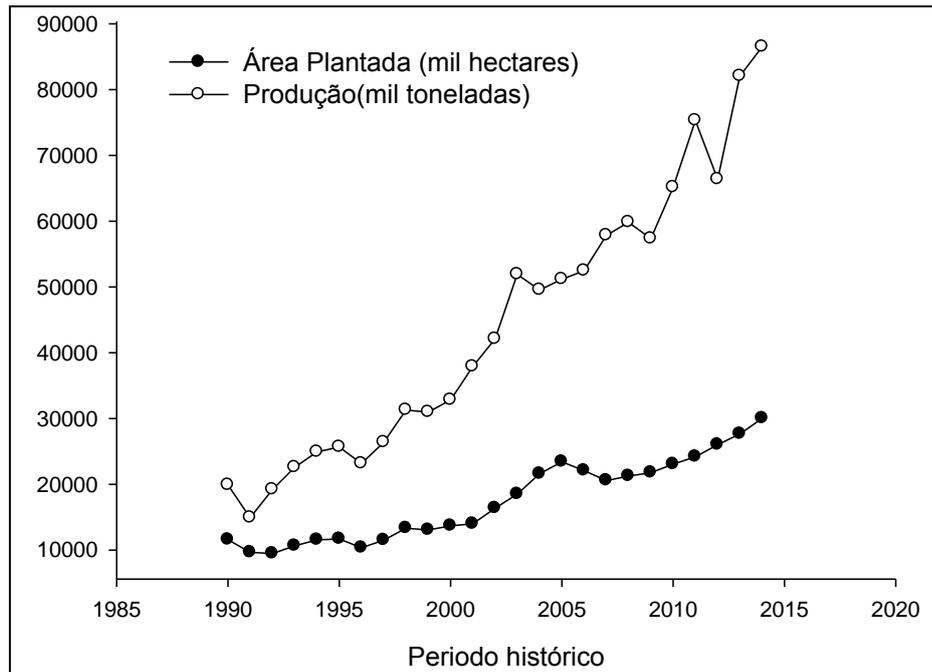


Figura 1 - Evolução da produção de soja e área cultivada no Brasil de 1990 a 2014

Fonte: Adaptado de dados da CONAB (2014)

O complexo da soja é constituído por vários setores, sendo os grãos, o farelo e o óleo os principais e mais representativos na produção e exportação. O Brasil é um grande exportador de soja nos diferentes estágios do complexo, porém a logística, bem como as tendências de mercado são diferenciadas para cada item no mercado externo. Os produtos menos elaborados apresentam maior participação nas exportações, em decorrência de algumas barreiras impostas aos produtos de maior valor agregado (CALDARELLI, CÂMARA, SEREIA, 2009).

No contexto das grandes culturas produzidas no mundo, a soja foi a que mais cresceu nos últimos 37 anos, tanto no Brasil quanto no mundo, representando um crescimento de ordem global de 736%, enquanto as produções de culturas como trigo, arroz, milho, feijão, cevada e girassol cresceram, no máximo, uma terceira parte desse montante (CALDARELLI, CÂMARA, SEREIA, 2009).

É de soja o óleo vegetal biodegradável que domina o mercado mundial de alimentos e biocombustíveis (LI et al., 2001). Sua composição química, rica em ácidos graxos insaturados, carotenoides e tocoferóis o tornam indicado para o consumo humano, devido ao auxílio na redução do colesterol (PETER e HAKAN, 1998) e também para produção de biocombustíveis, através da reação de transesterificação dos triglicerídeos com que é obtido o biodiesel (MARCHETTI et

al., 2007). No que se refere aos usos dos óleos vegetais consumidos no Brasil, verifica-se que 84% são utilizados para fins alimentícios e aproximadamente 16% para fins industriais, desses, a soja representa 80% da produção de biodiesel no Brasil (USDA, 2007).

Enfatizando a importância da soja no mercado mundial, Liu et al. (2008), ressalta que cerca de 60% dos produtos industrializados possuem algum constituinte de soja, principalmente em, carne, macarrão, sopas, entre outros, porém esse percentual pode ser até maior dependendo da localização pelo mundo.

Atualmente a comercialização de grãos de soja no Brasil obedece a Portaria do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), Instrução Normativa nº 37, de 27 de julho de 2007: altera a IN MAPA Nº 11/2007, atendendo o anexo - Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Soja obedecendo aos limites apresentados nas tabelas 1 e 2, para os grupos I e II respectivamente.

Tabela 1 - Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do Grupo I

Tipo	Avariados				Esverdeados	Partidos Quebrados Amassados	Matérias Estranhas e Impurezas
	Total de Ardidos e Queimados	Máximo de Queimados	Mofados	Total (1)			
1	1,0	0,3	0,5	4,0	2,0	8,0	1,0
2	2,0	1,0	1,5	6,0	4,0	15,0	1,0

(1) A soma de queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos.

Tabela 2 - Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do Grupo II

Tipo	Avariados				Esverdeados	Partidos Quebrados Amassados	Matérias Estranhas e Impurezas
	Total de Ardidos e Queimados	Máximo de Queimados	Mofados	Total (1)			
Padrão Básico	4,0	1,0	6,0	8,0	8,0	30,0	1,0

(1) A soma de queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos.

Segundo essa mesma Portaria o teor de umidade deve ser obrigatoriamente determinado, mas não será considerado para efeito de enquadramento em tipos, sendo recomendado o percentual máximo de 14% (quatorze por cento).

2.2 Estrutura e composição dos grãos de soja

Os grãos de soja, em sua forma integral, são formados basicamente por um embrião protegido pelo tegumento. O embrião é composto de dois cotilédones e um eixo embrionário (epicótilo, hipocótilo e radícula). Devido às características morfológicas dos grãos, o tegumento é o que protege o eixo hipocótilo-radícula, dessa forma os grãos podem ser danificados por atritos mecânicos, afetando diretamente o embrião (POPINIGS, 1985). A estrutura do grão de soja é representada na figura 2.

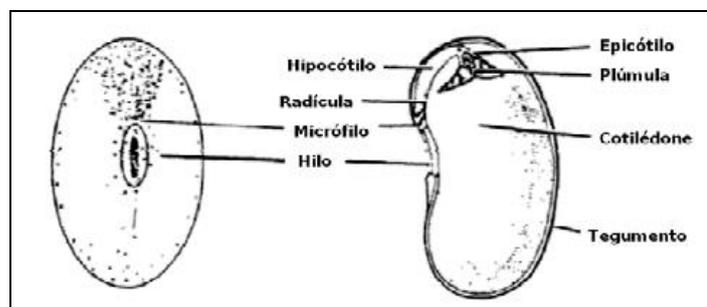


Figura 2 - Estrutura do grão de soja

Fonte: Liu, 1997

A fonte de reserva dos grãos está concentrada no seu embrião, que por sua vez contém dois cotilédones onde estão localizados os oleossomos e os corpos proteicos. O tegumento é composto por um hilo, que varia de forma linear a oval. O revestimento protege o embrião de infecção fúngica e bacteriana (LIU, 1997).

Os grãos de soja possuem em média 38% de proteínas conforme relatado na literatura (FARHOOSH, EIRNAFCHAR, SHARAYER, 2009). O perfil proteico dos grãos de soja é constituído predominantemente por globulinas (90%), as quais possuem características hidrofílicas. Essa propriedade é muito importante para o rendimento e a qualidade na produção de produtos derivados de soja, como *tofu* e *soymilk* (HOU e CHANG, 2004a).

As duas principais globulinas de armazenamento são a glicinina e a β -conglucina. A glicinina, também denominada proteína 11S de soja, é constituída por polipeptídeos ácidos e básicos que estão ligados por uma ponte dissulfeto, enquanto a β -conglucina, uma proteína 7S, é uma glicoproteína que possui três tipos de subunidades (HOU e CHANG, 2004b), sendo que a relação entre 11S e 7S varia

entre 0,5-1,7. Este índice calcula a qualidade nutricional e funções físico-químicas das proteínas da soja (TANDANG-SILVAS, 2010).

O rendimento e a qualidade dos produtos de soja como o *soymilk* e *tofu*, são diretamente afetados pelo rendimento de extração das proteínas, o qual é influenciado pelas condições em que os grãos foram armazenados (HOU e CHANG, 1998; POYSA e WOODROW, 2002). Condições desfavoráveis de armazenamento provocam diminuição na taxa de absorção de água dos grãos, rendimento, dureza e resistência do *tofu*, bem como aumento da acidez do *soymilk* (HOU e CHANG, 2004a).

Os óleos vegetais são produtos naturais formados por uma molécula de glicerol que se liga a três moléculas de ácidos graxos para formar os triglicerídeos, cujos ácidos graxos contêm cadeias de 8 a 24 átomos de carbono com diferentes graus de insaturação. Conforme a espécie de oleaginosa, variações na composição química do óleo vegetal são expressas por variações na relação molar entre os diferentes ácidos graxos presentes na estrutura (PLANK e LORBEER, 1994; NETO e ROSSI, 2000).

Os ácidos graxos presentes nos vegetais são classificados de acordo com o número de duplas ligações em suas cadeias de carbono. Os ácidos graxos saturados não possuem ligações duplas, como por exemplo, o ácido palmítico (16:00) e o esteárico (18:00), já os ácidos graxos monoinsaturados possuem uma ligação dupla, como é o caso do ácido oleico (18:01), os ácidos graxos poli-insaturados como o linoleico (18:02) e o alfa-linolênico (18:03) têm duas ou mais ligações duplas. O teor de tocoferóis (938 mg.kg^{-1}) no óleo de soja é alto quando comparado com outros óleos vegetais (FARHOOSH, EIRNAFCHAR, SHARAYER, 2009). A composição em ácidos graxos dos principais óleos vegetais é apresentada na tabela 3.

Tabela 3 - Composição em ácidos graxos encontrados nos principais óleos vegetais

Ácidos graxos (%)	Óleo					
	Soja	Milho	Oliva	Arroz	Canola	Girassol
Saturados	11,3	16,7	17,8	14,8	23,4	6,5
Monoinsaturados	23,2	22,9	35,3	72,6	39,2	61,5
Poli-insaturados	65,4	59,6	46,9	12,4	37,5	32
Total de insaturados	88,6	82,6	82,2	84,9	76,6	93,5
Rel. sat./insaturados	1/7,8	1/4,9	1/4,6	1/5,7	1/3,3	1/4,4
Rel. oleico/linoleico	1/2,8	1/2,3	1/1,3	6,4/1	1,1/1	1,9/1
Ácido linolênico	0,2	6,4	0,7	1,2	0,8	10

Fonte: ITAL e Câmara Arbitral de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, citados por BRUZZETTI (1999).

Durante a degradação dos óleos vegetais, inclusive o de soja, é sabido que ocorre a formação de peróxidos e hidroperóxidos, os quais são instáveis e por isso podem se decompor e formar produtos de oxidação. Estruturas conjugadas como dienos são formados na primeira fase, enquanto produtos de oxidação secundários como cetonas, aldeídos e alcoóis são formados pela decomposição dos hidroperóxidos na fase final de degradação, ocasionando sabor e odor desagradáveis aos óleos e gorduras (CLODOVEO et al., 2007; RODRIGUES et al., 2012).

Para Naz et al. (2004), a degradação dos lipídios acontece através do ranço hidrolítico, aumentando o índice de ácidos graxos livres, conseqüentemente a acidez, pela ação das enzimas lípases e fosfolípases presentes nos próprios grãos ou produzidas pela microflora associada, que contribuem para o rompimento das ligações éster dos triglicerídeos e da oxidação de cadeias carbônicas insaturadas nos ácidos graxos.

A oxidação lipídica é uma das classes mais relevantes das reações de degradação de compostos na química dos alimentos. A importância da oxidação lipídica está relacionada com preocupações biológicas atribuídas a produtos de oxidação devido à participação dos radicais livres e espécies de oxigênio reativas na lesão de tecidos e doenças (FRANKEL, 1991).

Estudos sobre o possível significado patológico de produtos de oxidação de lipídios têm se desenvolvido em três áreas de investigação: peróxidos lipídicos (geralmente de ácidos graxos), malonaldeídos, e produtos de oxidação do colesterol (ADDIS, 1986). Os produtos derivados da oxidação lipídica estão relacionados com o desenvolvimento do câncer, o rompimento das membranas celulares (NIKI, 2009), inativação de enzimas, e danos de proteínas (GUTTERIDGE, 1995). Além disso, os

peróxidos derivados de lipídios podem atuar tanto como moduladores de enzimas como intermediários em processos biossintéticos (PRATT, TALLMAN, PORTER, 2011).

Proteínas e lipídios, os componentes encontrados em maior proporção na soja, são macromoléculas que possuem alta reatividade, sendo que interações entre proteínas e lipídios ocorrem durante o armazenamento, conforme relatam Refsgaard et al. (2000).

Os radicais formados durante a oxidação dos lipídios, pela dissociação dos hidroperóxidos, podem conduzir à formação de radicais de proteínas, que podem reagir com o oxigênio e produzir radicais peróxidos de proteína e posteriormente hidroperóxidos proteicos pelo hidrogênio abstraído de outras moléculas. Por sua vez, hidroperóxidos de proteína podem, então, na presença de metais de transição, serem decompostos e por clivagem, formar grupos carbonilos proteicos (BERLETT e STADTMAN, 1997; STADTMAN e LEVINE, 2003; CHOE e MIN, 2006), dessa forma diminuindo o rendimento e qualidade dos produtos oriundos dessa matéria-prima.

A soja é considerada uma oleaginosa, devido ao valor comercial elevado do óleo, mesmo contendo uma grande quantidade de proteínas. Além desses componentes químicos majoritários, a soja possui tipicamente de 9,0 a 12,0% de açúcares totais, incluindo 4,0 a 5,0% de sacarose, 1,0 a 2,0% de rafinose, 3,5 a 4,5% de estaquiose, e melibiose e verbascose em quantidades menores (GREINER, 1990). A presença de oligossacarídeos de rafinose, e estaquiose, em grãos de soja e posteriormente nos alimentos, pode causar desconforto gástrico em humanos, uma vez que estes produzem grande quantidade de gás pela flora microbiana do intestino grosso (PUCHART et al., 2000).

A soja possui vários compostos bioativos e antioxidantes, como isoflavonas, tocoferóis, vitamina C, compostos fenólicos simples e ligados, peptídeos de soja, lecitinas e saponinas que retardam a velocidade da oxidação, através de um ou mais mecanismos, tais como inibição de radicais livres e complexação de metais (JUN, KIM, SUNG, 2002; LEE et al., 2005; TRIPATHI e MISRA, 2005; KUMAR, et al., 2009). A quantidade desses compostos variam de acordo com a coloração do tegumento (KUMAR et al., 2010), com a cultivar, com o local de produção e as condições climáticas e de stress em que a planta for submetida (OOMAH, CORBÉ, BALASUBRAMANIAN, 2010).

A coloração das frutas e vegetais é devido a três famílias de pigmentos, que são as clorofilas, carotenoides e antocianinas, por sua vez, responsáveis pela coloração verde, vermelho-amarela e azul-violeta respectivamente, os quais são responsáveis pela redução de vários processos degenerativos (FUNG et al., 2001).

O interesse em aumentar o consumo de carotenoides tem sido evidente desde 1981, quando Peto et al. (1981) sugere que o consumo de β -caroteno, principal carotenoide presente na soja, reduz a incidência de alguns tipos de câncer, assim como outras evidências obtidas em estudos posteriores (ZIEGLER et al., 1996). Os carotenoides possuem características apolares, são hidrofóbicos (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001), e por isso, são encontrados quase que na totalidade no óleo de soja. A estrutura química do β -caroteno é apresentada na figura 3.

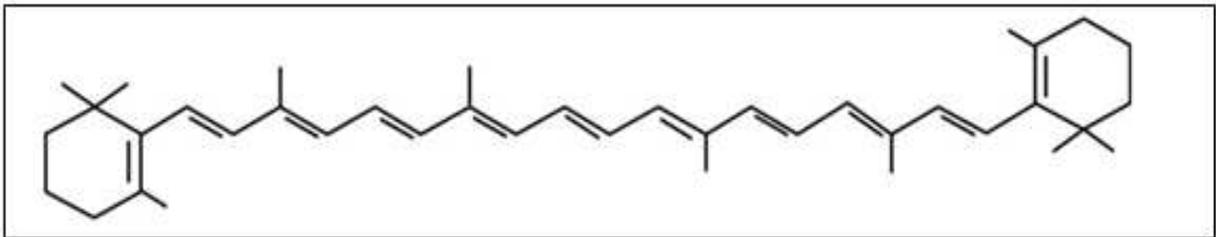


Figura 3 - Estrutura do β -caroteno

Fonte: RODRIGUEZ-AMAYA (2001)

Os tocoferóis são biomoléculas com excelente valor nutracêutico e são encontrados em concentrações elevadas nos grãos de soja. Os tocoferóis são investigados pela sua capacidade de capturar radicais livres, diminuir o risco de cancro e doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, como a doença de Alzheimer e de Parkinson, e melhorar o sistema imunológico (KAMAL-ELDIN e APPLEQVIT, 1996; BRANLEY et al., 2000).

Os grãos de soja possuem todos os quatro tocoferóis de ocorrência natural, isto é, α , β , γ e δ , que diferem na sua capacidade de eliminar radicais livres, devido a variação no número e posição dos substituintes metila do anel cromanol, conforme figura 4. Dessa forma o α -tocoferol possui atividade antioxidante máxima, enquanto o β , γ e δ apresentam 50, 10 e 30% da atividade antioxidante do α -tocoferol respectivamente (SCHNEIDER, 2005).

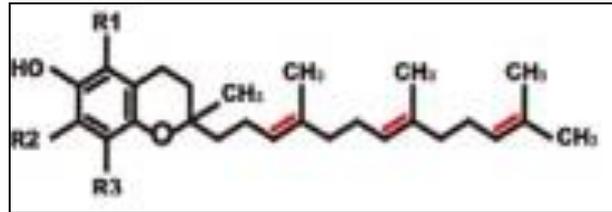


Figura 4 - Estrutura do tocoferol

Fonte: NISHIO et al., (2013)

Dentre os compostos bioativos presentes nos grãos, estão os compostos fenólicos livres e ligados. Os compostos fenólicos ligados em grãos representam mais de a metade do total de compostos fenólicos totais, sendo que o milho possui em média 85% de compostos fenólicos ligados, enquanto o trigo possui em média 75% e o arroz polido 62% (ADOM e LIU, 2002).

Os compostos fenólicos presentes nos grãos e vegetais que estão na forma insolúvel são unidos por ligações covalentes a estruturas de parede, tais como celulose, hemicelulose, lignina, pectina e proteínas estruturais (WONG, 2006), conforme representado na figura 5.

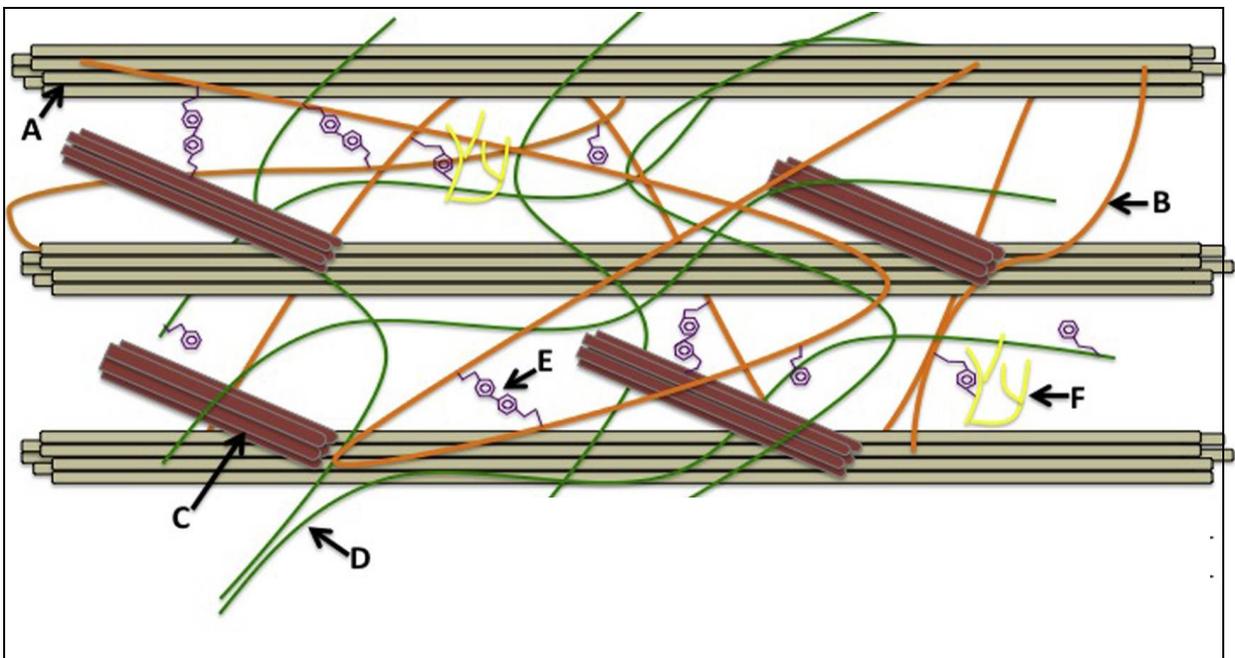


Figura 5 - Representação da estrutura da parede celular primária de material vegetal e entre os componentes estruturais e compostos fenólicos. (A) Celulose. (B) hemicelulose, (C) proteínas estruturais, (D) pectina, (E) ácidos fenólicos (F) lignina.

Fonte: ACOSTA-ESTRADA, GUTIÉRREZ-URIBE, SERNA-SALDIVAR (2014)

Os fitoquímicos presentes nos grãos desempenham importantes funções na parede celular, atuando como barreiras físico-químicas, protegendo contra a invasão de patógenos e adstringência que impede o ataque de insetos e animais, possuem funções antibacterianas, antifúngicas e antioxidantes (SANCHO et al., 2001; LIU, 2007). Ácidos fenólicos, tais como hidroxicinâmico e hidroxibenzóico, formam ligações éter com lignina através de seus grupos hidroxila e ligações ésteres com aminoácidos aromáticos, carboidratos e proteínas estruturais através do seu grupo carboxílico (LIYANA-PATHIRANA e SHAHIDI, 2006; LIU, 2007; BHANJA, KUMARI, BANERJEE, 2009).

A ingestão de compostos fenólicos que estejam complexados tem grande importância na alimentação, pois sua liberação ocorre de forma parcial no trato gastrointestinal, através da ação de enzimas esterases e xilanases, oriundas da microflora existente. Esses compostos após liberados desempenham seus efeitos benéficos à saúde (ACOSTA-ESTRADA, GUTIÉRREZ-URIBE, SERNA-SALDIVAR, 2014).

Os compostos fenólicos livres são mais instáveis que os ligados quando no grão, e são absorvidos mais facilmente no estômago e no intestino delgado e distribuídos por todo o corpo, desempenhando suas funções essenciais à saúde (CHANDRASEKARA e SHAHIDI, 2011).

Dentre os vários compostos fitoquímicos presente na soja, encontram-se também as isoflavonas, que representam em torno de 72% do total de compostos fenólicos em grãos de soja, e as antocianinas, que fazem parte de um grupo chamado de flavonoides. É o grupo mais importante de compostos fenólicos livres ou solúveis, devido as suas propriedades funcionais e nutricionais (CHO et al., 2013).

A distribuição e concentração desses compostos nos grãos variam de acordo com as condições ambientais (ar, ano, umidade do solo, região geográfica, temperatura e disponibilidade de luz), fatores genéticos (cultivares e tamanho de sementes) conforme é observado na literatura (LEE et al., 2003; LEE e CHO, 2012). A estrutura química de um flavonoide é representada na figura 6.

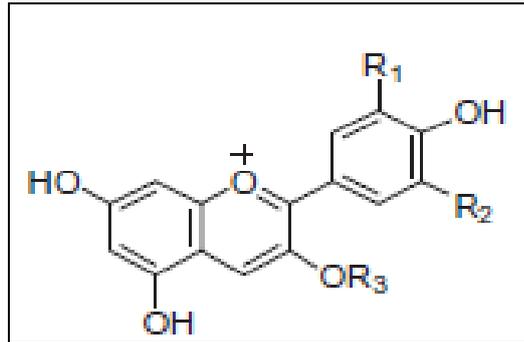


Figura 6 - Estrutura química de um flavonoide

FONTE: CHO et al. (2013)

Ainda dentro dos compostos do metabolismo secundário, o ácido fítico presente nos grãos de soja, é a principal forma de armazenamento de fósforo, representando de 50 a 80% do total de fósforo dos grãos (LOEWUS e MURTHY, 2000), é um antinutriente na alimentação humana e animal. Em grãos, são armazenados na forma de sais mistos, principalmente de cátions potássio e magnésio, juntamente com pequenas quantidades de Ca, Fe, Zn e Mn. Em grãos maduros, os fitatos estão organizados em inclusões esféricas chamadas globóides que por sua vez são encontrados dentro de corpos proteicos (LOTT, 1984).

Devido à formação de quelatos digeríveis, a biodisponibilidade de minerais nutricionalmente relevantes podem ser limitados (WEAVER e KANNAN, 2002). A absorção de ferro e zinco a partir de dietas ricas em ácido fítico é discutida como um fator importante para as deficiências de ferro e zinco nos países em desenvolvimento onde as dietas bem balanceadas não estão disponíveis e as pessoas dependem de alimentos básicos, como grãos em geral (BROWN & SOLOMONS, 1991). A estrutura do ácido fítico é representada na figura 7.

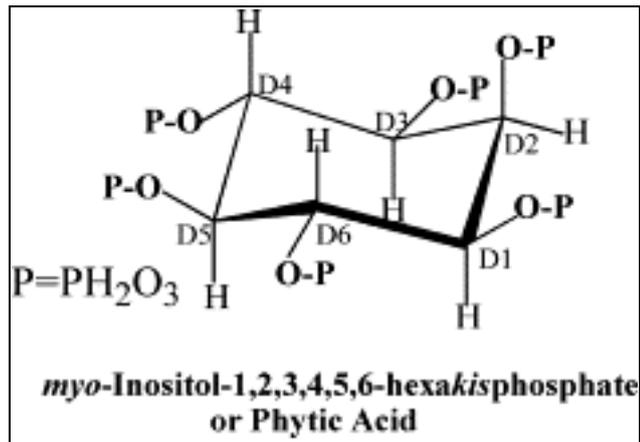


Figura 7 - Estrutura do ácido fítico

Fonte: RABOY, (2003).

2.3 Secagem e armazenamento

Os grãos de soja, na maioria das vezes, são colhidos com umidades acima dos parâmetros ideais para o armazenamento, sendo que essa umidade varia de acordo com a região de produção desses grãos, influenciada pelas condições climáticas no momento da colheita. Dessa forma, os grãos necessitam de secagem imediata após a colheita, porém nem sempre é possível realizar a secagem correta dos grãos, devido ao fluxo de grãos que chega às unidades armazenadoras. Após a redução da umidade para níveis em torno de 12% os grãos são armazenados em silos, onde permanecem por longos períodos até o momento da comercialização e industrialização.

A operação de secagem dos grãos é de suma importância para a cadeia produtiva, porém pode ser potencialmente danosa para a qualidade dos grãos. A magnitude dos danos depende dos corretos manejos, da umidade inicial e final do produto, da temperatura, da umidade relativa, do fluxo de ar, da taxa de secagem e do período de exposição ao ar aquecido (MIRANDA, SILVA, CAVARIANI, 1999; BIAGI, BERTOL, CARNEIRO, 2002).

Em função do fluxo de grãos que chega às unidades armazenadoras, com necessidade de secagem rápida, utilizam-se altas temperaturas e grandes fluxos de ar, resultando num gradiente de umidade muito acentuado entre a superfície do grão e o interior desse, gerando tensões internas. Essas tensões causam o trincamento e posterior quebra dos grãos e problemas durante o armazenamento (ELIAS, 2002; MARTINS et al., 2002).

O objetivo real do armazenamento é manter as características que os grãos possuem imediatamente após o pré-processamento, tais como a viabilidade de sementes, a qualidade industrial e as propriedades nutritivas (BROOKER et al., 1992). Entretanto, independentemente da espécie, do depositante ou das características do local, perdas poderão ocorrer durante a permanência do produto no armazém (FARONI et al., 2005).

Os grãos armazenados, tanto em silos quanto em bolsas dentro dos armazéns, apresentam uma massa porosa, onde os espaços intergranulares são preenchidos pelo oxigênio. O oxigênio presente nesses espaços é utilizado no processo respiratório dos grãos, acompanhado do desgaste das substâncias nutritivas. Os grãos armazenados tendem a se deteriorar, sendo que essas reações podem ocorrer lentamente ou de forma mais acelerada, dependendo da temperatura do ambiente de armazenamento. As reações metabólicas também são dependentes do teor de água dos grãos.

O armazenamento com umidades entre 11 e 13%, mantém o processo respiratório em níveis baixos, prolongando a manutenção da qualidade do produto armazenado. No entanto, ao aumentar o grau de umidade, o processo respiratório se acelera, ocorrendo à deterioração dos grãos, consumindo principalmente proteínas e lipídios (BRAGANTINI, 2005). Nesse contexto, a redução da temperatura de armazenamento a níveis de refrigeração, pode ser uma tecnologia promissora na manutenção da qualidade dos grãos, retardando o desenvolvimento de insetos-praga e da microflora presente, independentemente das condições climáticas da região (REHMAN, HABIB, ZAFAR, 2002; REED et al., 2007; DEMITO e AFONSO, 2009; RIGUEIRA, LACERDA, VOLK, 2009).

Existem basicamente três técnicas de armazenamento, podendo ser hermético, semi-hermético e convencional. No sistema convencional e no sistema semi-hermético, ocorrem trocas de ar entre a massa de grãos e o ambiente externo de armazenamento. Dessa forma, grãos com alto teor de proteínas como a soja, podem adquirir ou perder água facilmente, buscando o equilíbrio higroscópico, através dos fenômenos de sorção e dessorção (SUN e WOODS, 1997).

O armazenamento hermético, segundo Elias et al. (2009), é baseado na redução do oxigênio disponível no ecossistema de armazenamento a níveis letais ou limitantes para os organismos vivos associados, podendo essa redução ser obtida espontaneamente através do processo respiratório dos grãos e organismos

existentes, ou de forma artificial, entretanto nos silos verticais tradicionalmente utilizadas no país, esta condição não é totalmente encontrada, caracterizando sistemas semi-herméticos.

Em grãos úmidos, armazenados hermeticamente, apresentando graus de umidade elevados (acima de 14%), o consumo de oxigênio do ar intragranular pode evitar o desenvolvimento de fungos, pois a maioria dos fungos são aeróbios, não se desenvolvendo em ambiente onde a taxa de oxigênio é baixa (PUZZI, 2000).

O mesmo grão armazenado sob diferentes condições de armazenamento podem ser infectados por diferentes organismos (LACEY, HAMER, MAGAN, 1994; PRONYK et al., 2004). Isso explica diferentes taxas respiratórias entre diferentes condições de armazenamento, cultivares, quantidade de grãos e tempo de armazenamento (CANTONE et al., 1983).

Os fungos que crescem em grãos armazenados podem reduzir a germinação junto com perdas quantitativas de carboidratos, proteínas e teor de óleo, induz o aumento no teor de umidade e no índice de ácidos graxos livres e reforça outras alterações bioquímicas (BHATTACHARYA e RAHA, 2002).

O ambiente de produtos armazenados é ideal para o estabelecimento e o desenvolvimento de muitas espécies de insetos e microrganismos. Uma das características desses microrganismos é seu alto poder de proliferação e, embora presentes no campo em baixa porcentagem se multiplicam rapidamente, desde que tenham condições ambientais favoráveis (MOLINIÉ et al., 2005).

Os fungos que atacam grãos armazenados são xerofíticos, podendo crescer em umidade relativa (UR) de até 70%. Estes fungos são comuns na natureza e podem crescer em qualquer matéria orgânica que possua teor de umidade em equilíbrio com umidade relativa do ambiente de 68 a 90%. Os fungos de primeira importância neste contexto são as espécies de *Aspergillus* das quais as mais comuns são *A. halophilicus*, *A. restrictus*, espécies do grupo *A. glaucus* (*A. amstelodami*, *A. rubers*, *A. repens* e *A. glaucus*); *A. ochraceus*, *A. candidus*, *A. flavus*, *A. parasiticus* e *Penicillium spp.* (DHINGRA, 1985).

Segundo Bemiller e Whistler (2009), grãos armazenados com umidade acima de 14,5% podem resultar no desenvolvimento de mofo se a temperatura dos grãos ultrapassarem a faixa entre 22-24°C durante um longo período de tempo.

Alguns trabalhos com armazenamento de soja são relatados na literatura. Hou e Chang (2004b) relatam que as proteínas de soja durante o armazenamento

tendem a se desnaturar, e com maior velocidade se o armazenamento for realizado em condições adversas, com temperatura e umidade do ar elevadas, alterando características estruturais das duas principais proteínas globulares, da glicinina (11S) e β -conglucina (7S) como resultado de várias reações de glicosilação, formação de interações intramoleculares, pontes de dissulfeto e a diminuição na hidrofobicidade.

Smaniotto et al. (2013) avaliando a qualidade fisiológica de sementes de soja durante o armazenamento, verificaram que em temperatura de 20°C, os parâmetros de germinação e condutividade elétrica, obtiveram os melhores resultados, quando comparados aos grãos armazenados em temperaturas maiores, para o mesmo teor de umidade.

Em outros trabalhos realizados com armazenamento de grãos, verificaram-se alterações no conteúdo de óleo e no índice de acidez. Toci et al. (2013), verificaram redução no teor de triacilgliceróis no armazenamento de grãos de café, com seis meses de armazenamento. Park et al. (2012), trabalhando com o armazenamento de grãos de arroz beneficiado, verificaram aumento do índice de ácidos graxos livres com quatro meses de armazenamento. Da mesma forma, Rehman, Habib, Zafar (2002) relataram aumento da acidez no armazenamento de milho em diferentes condições de temperatura.

3 Material e métodos

3.1 Material

Foram utilizados grãos de soja, produzidos no município de Canguçu, na região Sul do Rio Grande do Sul, Brasil, latitude S-31°23' 42", longitude W -52° 40' 32" e altitude de 386 metros, colhidos mecanicamente com umidade aproximada de 22%, e transportados para o Laboratório de Pós Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, no Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial - DCTA, da Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" - FAEM, da Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, onde foram realizados a secagem e as demais operações e atividades do experimento.

No momento da chegada ao laboratório, os grãos foram submetidos a uma operação de pré-limpeza e seleção prévia, para remoção de impurezas, matérias estranhas, grãos imaturos, chochos e quebrados, sendo armazenados apenas grãos que não apresentavam danificação física visível antes da secagem. Os grãos foram secados em secador estacionário (Figura 8), protótipo do Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos até a obtenção das umidades de 18, 15, 12 e 9%, com temperatura do ar de secagem em torno de 70°C, com monitoramento da temperatura da massa de grãos, para que a mesma não ultrapassasse 35°C.



Figura 8 - Secador estacionário protótipo do Laboratório de Grãos

3.2 Delineamento experimental

De cada saco de 60kg foram coletadas amostras de 1kg, as quais foram armazenadas em sacos de polietileno de baixa densidade com 15 μ (micras) de espessura de filme plástico, dimensões de 18x30cm, vedados com máquina Webomatic® e ao abrigo da luz. Para simulação do sistema semi-hermético, os sacos eram abertos a cada 60 dias, simulando uma aeração na massa de grãos, como forma de eliminação da anaerobiose do ambiente. O delineamento realizado foi de blocos ao acaso, com armazenamento em triplicata, ou seja, 3 pacotes de 1kg para cada tratamento.

Os grãos, com umidades de 9, 12, 15 e 18%, foram armazenados em câmaras nas temperaturas de 11, 18, 25 e 32°C, com variações de $\pm 1^\circ\text{C}$, conforme apresentado na figura 9. As avaliações foram realizadas em triplicata no início do armazenamento (inicial), aos 120, aos 240 e aos 360 dias, conforme delineamento experimental exposto na tabela 4. Para cada tratamento foi coletada uma amostra de cada pacote, que posteriormente foi homogeneizada e analisada em triplicata para cada variável dependente.



Figura 9 - Câmaras de armazenamento dos grãos de soja com controle de temperatura.

Tabela 4 - Delineamento experimental

Tratamentos	Variáveis independentes			Variáveis dependentes
	Umidade	T. °C	Tempo	
1				<i>Tecnológicas e parâmetros de avaliação nutricional dos grãos e do óleo</i>
2				Peso de mil grãos
3	9%	11°C	Inicial	Peso volumétrico
4				Cor
5				Umidade
...				Composição química
...				Proteína solúvel
...				Calorimetria diferencial de varredura (DSC)
...	12%	18°C	120 dias	Açúcares redutores
...				C. E. E. (K_{232} nm)
...				C. E. E. (K_{270} nm)
...				Estabilidade lipídica
...				Perfil de ácidos graxos
...				<i>Perfil qualitativo e quantitativo de metabólitos</i>
...	15%	25°C	240 dias	Carotenoides totais
...				Flavonoides
...				Compostos fenólicos livres e complexados
...				Atividade antioxidante (ABTS)
52	18%	32°C	360 dias	Acido fítico

3.3 Avaliações

3.3.1 Propriedades tecnológicas e parâmetros de avaliação nutricional dos grãos e do óleo

3.3.1.1 Umidade

A umidade foi determinada segundo normas da ASAE (2000), em estufa com circulação natural de ar durante 24 horas a 105°C, com 10g de grãos por cápsulas de alumínio.

3.3.1.2 Peso de mil grãos

O peso de mil grãos foi realizado segundo Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com contagem de três repetições de 1000 grãos íntegros cada e pesagem em balança de precisão.

3.3.1.3 Peso volumétrico

O peso volumétrico foi realizado segundo Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), realizado com grãos íntegros, com oito repetições em equipamento *Dalle Molle* e pesagem em balança semi-analítica

3.3.1.4 Cor

O perfil colorimétrico foi avaliado em colorímetro (Minolta, modelo CR-310, Osaka, Japão), que faz a leitura de cores num sistema tridimensional, avaliando a cor em três eixos, onde o eixo L* avalia a amostra do preto ao branco, o eixo a* da cor verde ao vermelho e o eixo b* da cor azul ao amarelo.

3.3.1.5 Composição química

Os teores de cinzas, proteína bruta e lipídeos foram determinados de acordo com metodologia descrita pela AOAC (2006).

3.3.1.6 Proteína solúvel

O teor de proteína solúvel foi determinado segundo método descrito por Liu, Mcwatters e Phillips (1992), com modificações. Em cada amostra de 2g foram adicionados 50mL de água destilada, sendo as amostras e a água misturadas com o auxílio de agitador magnético durante 1 hora, após o que elas foram centrifugadas a 5300g durante 20 minutos em 24°C de temperatura em centrífuga *Eppendorf Centrifuge 5430R*. Uma alíquota de 1mL do sobrenadante foi coletada e a determinação do teor de proteína solúvel foi feita pelo método descrito pela AACC (2000), o mesmo utilizado para avaliação do teor de proteína bruta.

3.3.1.7 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

O comportamento de desnaturação proteica foi analisado por DSC (Differential Scanning Calorimeter), em equipamento Shimadzu, modelo DSC 60, Osaka, Japão. Foram pesados 2,5mg de amostra de farelo desengordurado em cadinhos de alumínio e adicionados 0,75 microlitros de tampão PBS 0,05 M (pH 7,0). Os cadinhos foram hermeticamente fechados e submetidos a um período de repouso de 24 horas para total hidratação da amostra antes do aquecimento. A taxa de aquecimento foi de 5°C por minuto em uma faixa de aquecimento de 20 a 110°C,

sendo utilizado um cadinho vazio como referência. Todos os testes foram realizados sob atmosfera de N₂.

3.3.1.8 Estabilidade lipídica

A avaliação da estabilidade lipídica foi realizada pelos índices de acidez, peróxidos e índice de iodo, segundo normas da AOCS (2011). A acidez foi avaliada por titulação, com NaOH 0,01N. Os índices de peróxidos foram determinados por titulação iodométrica.

3.3.1.9 Coeficientes de extinção específica (K_{232} e K_{270})

Os coeficientes de extinção específica foram determinados de acordo com a metodologia proposta pela AOCS - American Oil Chemists' Society (1997).

3.3.1.10 Perfil de ácidos graxos

A derivatização das amostras foi realizada de acordo com Hartman e Lago (1973). Pesou-se 0,100g de óleo em tubo de ensaio com tampa e adicionaram-se 0,5mL de KOH 0,1N (hidróxido de potássio) em metanol, em seguida as amostras foram deixadas em banho-maria por 1,5 horas. Após esfriar, foram adicionados 1,5mL de H₂SO₄ 1M (ácido sulfúrico) e as amostras levadas novamente ao banho-maria por 1,5 horas.

Após esfriar, foram adicionados 2mL de hexano P.A. e as amostras agitadas em vórtex por 30 segundos. A fase do hexano foi coletada e secada com fluxo de nitrogênio para evaporação do hexano e obtenção dos ésteres metílicos.

Para a análise, foi preparada uma solução com ácido metil nonadecanoato (C:19) em hexano HPLC, na concentração de 2mg.mL⁻¹ (padrão interno). Em seguida os ésteres, 30mg, foram diluídos em 1mL da solução do padrão interno.

A análise foi realizada e cromatógrafo a gás GC/FID 2010 (Shimadzu, Japão), equipado com injetor split/splitless, detector por ionização em chama (FID), auto-injetor AOC-20i e coluna SPTM-2560 100m x 0,25mm x 0,20µm (SUPELCO, EUA).

Nas análises foi utilizado hidrogênio como gás carregador na vazão de 1,2 mL.min⁻¹; split: 1:100; volume injetado da amostra: 1µL. No forno, a temperatura inicial 140°C, permanecendo nesta temperatura por 5min, seguindo a 4°C.min⁻¹ até

240°C e permanecendo nesta temperatura por 10 minutos, com temperaturas do injetor e do detector em 260°C.

A análise qualitativa foi feita por comparação ao tempo de retenção do padrão FAME Mix 37 (Sigma-Aldrich) e a análise quantitativa foi feita por normatização de área corrigida utilizando como padrão interno o nonadecanoato de metila (Sigma-Aldrich-C19:0).

3.3.1.11 pH dos grãos

O pH foi determinado segundo método proposto por Rehman, Habib, Zafar (2002). Um filtrado de 2g de grãos moídos (80 mesh tamanho) em 20mL de água destilada, utilizando um eletrodo de vidro pH metro (Pye Unicam, Inglaterra).

3.3.1.12 Açúcar redutor

A determinação de açúcares redutores foi realizada de acordo com método descrito por Miller (1959), 1g de amostra desengordurada foi pesada em tubo de falcon de 50mL, juntamente com 30mL de água destilada, com posterior agitação em mesa de agitação por 20min. a 200 rpm, após centrifugou-se a 7000rpm durante 10min. a 24°C em centrífuga *Eppendorf Centrifuge 5430R*, coletou-se 200µL do sobrenadante e colocou-se em outro eppendorf com 200µL da solução DNS (ácido 3,5-dinitrossalicílico), levou-se ao banho maria a 100°C durante 5min. com posterior resfriamento em água fria, adicionou-se 1,6mL de água destilada e realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 540nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de açúcar redutor.g⁻¹ de amostra, através da realização da curva com padrão de glicose.

3.3.2 Perfil qualitativo e quantitativo de metabólitos

3.3.2.1 Compostos fenólicos livres e atividade antioxidante – radical ABTS

3.3.2.1.1 Obtenção do extrato

A obtenção do extrato foi realizada conforme método proposto por Mira et al. (2009), com algumas adaptações. Foram pesadas 2g de amostra desengordura em tubos de falcon de 50mL, com abrigo de luz, e adicionados 10mL de metanol P.A. (padrão analítico), em seguida os tubos foram agitados em mesa de agitação a

160rpm durante 10min., seguido de centrifugação a 7600rpm, a 24°C, durante 15min. em centrífuga *Eppendorf Centrifuge 5430R*, o sobrenadante foi coletado.

Foram Realizadas mais duas extrações, na mesma amostra, com 10mL e com 5mL de metanol respectivamente, seguindo as mesmas operações descritas acima. Ao final das três extrações, foram juntados os sobrenadantes e armazenados a 4°C até o momento da quantificação de compostos fenólicos livres e atividade antioxidante pelo radical ABTS (2,2-azino-bis (3 etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) sal diamônio) conforme descrito por Re et al., (1999).

3.3.2.1.2 Quantificação de compostos fenólicos livres

O teor de compostos fenólicos livres foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme citado por Zielinski e Kozłowska (2000). Foram adicionados 100µL de extrato em tubo de falcon de 15 mL e completado o volume para 500µL com água destilada. Foram adicionados 250µL de reagente Folin-Ciocalteu 1N e aguardou-se 8 minutos para redução dos compostos fenólicos com o reagente Folin-Ciocalteu, mais 1,25mL da solução de carbonato de sódio (7%) ao tubo de falcon, que foi agitado e colocado em ambiente ao abrigo da luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 725nm após 2 horas. Os teores de compostos fenólicos livres foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico.g⁻¹ de amostra, através de curva realizada com padrão de ácido gálico.

3.3.2.2 Compostos fenólicos ligados e sua atividade antioxidante – radical ABTS

3.3.2.2.1 Obtenção do extrato

A obtenção do extrato foi realizado conforme método proposto por Mira et al. (2009), com algumas adaptações. Pesou-se 1g de amostra (resíduo da extração dos compostos fenólicos livres) em tubo de falcon de 50mL, com abrigo da luz, e adicionados 20mL de NaOH 2M, agitou-se por 2 horas em mesa de agitação a 160rpm, após ajustou-se o pH para 1,5 a 2 com adição de HCl 6N, foram realizadas duas lavagens com 20mL de acetato de etila a cada lavagem, com centrifugação a 7600 rpm por 15min. a 24°C entre as lavagens, realizado em centrífuga *Eppendorf Centrifuge 5430R*, sendo coletado o sobrenadante de cada lavagem e os mesmos juntados.

Posteriormente a fração de acetato de etila contendo os compostos fenólicos complexados, foram rotaevaporados em rotaevaporador Marca *Heidolph*, modelo *Larorata 4000*, na temperatura de 35°C a 150rpm até a secura, o resíduo foi dissolvido em 10mL de metanol P.A. e armazenado em tubo de falcon a 4°C ao abrigo da luz até o momento da determinação dos compostos fenólicos complexados e atividade antioxidante pelo radial ABTS (2,2-azino-bis (3 etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) sal diamônio) conforme descrito por Re et. al. (1999).

3.3.2.2 Quantificação de compostos fenólicos complexados

O teor de compostos fenólicos complexados foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme citado por Zielinski e Kozłowska (2000). Foram adicionados 100µL de extrato em tubo de falcon de 15mL e completado o volume para 500µL com água destilada. Adicionou-se 250µL de reagente Folin-Ciocalteu 1N e aguardou-se 8 min. para redução dos compostos fenólicos com o reagente Folin-Ciocalteu. Após foi adicionado 1,25mL da solução de carbonato de sódio (7%) ao tubo de falcon, foi agitado e colocado em ambiente ao abrigo da luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 725nm após 2 horas. O teor de compostos fenólicos complexados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico.g⁻¹ de amostra, através de curva realizada com padrão de ácido gálico.

3.3.2.3 Carotenoides totais

Os teores de carotenoides foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Rodrigues-Amaya (2001). Os resultados foram expressos em mg de β-Caroteno.100g⁻¹ de óleo.

3.3.2.4 Flavonoides

Na quantificação dos flavonoides utiliza-se o mesmo extrato obtido para quantificação dos compostos fenólicos livres conforme método descrito por Mira et al. (2009). A reação colorimétrica foi realizada conforme método proposto por Zhishean, Mengcheng, Jianming (1999) com adaptações. Adicionou-se 0,5mL do extrato em tubo de falcon de 15 mL juntamente com 2mL de água e 0,15mL de NaNO₂ (5%), deixou-se reagir durante 5min., em seguida adicionou-se 0,15mL de AlCl₃ (10%), deixou-se reagir por mais 6 min., após adicionou-se 1mL de NaOH

1 mol.L⁻¹ e 1,2mL de água destilada, após realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 510nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de catequina.100 g⁻¹ de amostra, através de curva realizada com padrão de catequina.

3.3.2.5 Ácido fítico

A quantificação de ácido fítico nos grãos de soja foi realizada de acordo com método proposto por Haug e Lantzsch (1983) com adaptações. Pesou-se 0,0150g de grãos moidos em eppendorf, adicionou-se 2mL de HCl 0,2M, agitou-se durante 30 minutos, em mesa de agitação a 160rpm, em seguida realizou-se uma centrifugação a 17200g (giros) durante 15min. a 24°C, realizado em centrífuga (*Eppendorf Centrifuge 5430R*). Do sobrenadante, coletou-se 0,5mL e transferiu-se para outro eppendorf, juntamente com 1mL de FeCl₃ (0,11g de cloreto férrico foram dissolvidos em 100ml de HCl 0,2M e o volume foi completado com água destilada para 1000mL), levou-se ao banho-maria a 100°C por 30min., sendo posteriormente centrifugado a 3000g durante 15min. a 24°C, 0,5mL do sobrenadante foi transferido para outro eppendorf, e adicionou-se 0,75mL de biperidina (10g de biperidina, 10ml de ácido tioglicólico em 1000ml de água destilada), após realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 515nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido fítico.g⁻¹ de amostra, através da curva padrão realizada com phytic acid disodium salt hydrate.

3.3.3 Análise estatística

Para comparação dos resultados foi aplicado teste de Tukey a 5% de probabilidade através de um teste de variância ANOVA. Todas as análises foram realizadas em triplicata. O software utilizado foi o programa estatístico SAS (SAS, INSTITUTE, 2002).

4 Resultados e discussão

4.1 Propriedades tecnológicas e parâmetros de avaliação nutricional dos grãos e do óleo

4.1.1 Umidade

Conforme resultado apresentado na tabela 5 observa-se que a umidade dos grãos armazenados em diferentes condições apresentou pequenas variações durante os doze meses de armazenamento, sendo que as maiores reduções foram encontradas nos grãos armazenados a 32°C de temperatura, independentemente da umidade de estudo. As alterações que ocorreram no teor de água dos grãos podem ser atribuídas principalmente ao sistema de armazenamento que foi empregado juntamente com as condições climáticas que se alteram no decorrer do tempo de armazenamento.

O sistema semi-hermético de armazenamento permite trocas de ar com o ambiente externo de armazenamento. Dessa forma, quando a pressão de vapor dos grãos é maior do que a do ar circundante, ocorre o fenômeno de dessorção, ou quando a pressão de vapor dos grãos for menor que a do ar circundante ocorre o fenômeno de sorção (SUN e WOODS, 1997), o que explica as alterações que ocorreram nos grãos armazenados, pois os mesmos tendem sempre a entrar em equilíbrio higroscópico com o ar que os circunda. Além das trocas, o metabolismo dos grãos e dos organismos a eles associados no armazenamento produzem calor e água, o que pode provocar alterações na umidade tanto em sistemas herméticos como em semi-herméticos.

Tabela 5 - Umidade (%) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade Inicial 9%				
11	A 9,49 ± 0,17 a*	BA 9,89 ± 0,14 a	A 9,74 ± 0,16 a	B 9,50 ± 0,12 a
18	A 9,49 ± 0,17 c	A 10,37 ± 0,08 a	A 9,98 ± 0,02 b	A 10,23 ± 0,14 ba
25	A 9,49 ± 0,17 b	BA 9,86 ± 0,11 a	B 9,43 ± 0,05 b	B 9,62 ± 0,08 ba
32	A 9,49 ± 0,17 a	B 9,31 ± 0,40 a	C 8,37 ± 0,06 b	C 8,28 ± 0,01 b
Umidade inicial 12%				
11	A 11,96 ± 0,00 b	A 12,18 ± 0,11 a	C 11,24 ± 0,03 d	B 11,47 ± 0,08 c
18	A 11,96 ± 0,00 b	A 12,18 ± 0,14 a	A 11,81 ± 0,00 b	A 11,87 ± 0,03 b
25	A 11,96 ± 0,00 a	B 11,81 ± 0,12 ba	B 11,58 ± 0,00 bc	B 11,37 ± 0,16 c
32	A 11,96 ± 0,00 a	C 11,13 ± 0,06 b	D 10,28 ± 0,06 c	C 10,01 ± 0,04 d
Umidade inicial 15%				
11	A 15,98 ± 0,06 a	BA 15,88 ± 0,74 a	A 15,42 ± 0,34 a	A 15,42 ± 0,34 a
18	A 15,98 ± 0,06 ba	A 16,15 ± 0,12 a	A 15,82 ± 0,03 b	A 15,99 ± 0,30 a
25	A 15,98 ± 0,06 a	BA 15,84 ± 0,11 a	A 15,44 ± 0,03 b	A 15,46 ± 0,15 b
32	A 15,98 ± 0,06 a	B 14,99 ± 0,09 b	B 13,99 ± 0,06 c	B 13,70 ± 0,47 c
Umidade inicial 18%				
11	A 18,38 ± 0,24 a	B 18,32 ± 0,40 a	A 18,50 ± 0,17 a	BC 18,36 ± 0,25 a
18	A 18,38 ± 0,24 c	A 18,98 ± 0,13 ba	A 18,69 ± 0,17 bc	A 19,27 ± 0,10 a
25	A 18,38 ± 0,24 c	BA 18,81 ± 0,12 ba	A 18,44 ± 0,06 bc	BA 18,97 ± 0,06 a
32	A 18,38 ± 0,24 a	BA 18,45 ± 0,09 a	B 17,98 ± 0,05 a	C 17,75 ± 0,03 a

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4.1.2 Peso de mil grãos

Os resultados obtidos para o peso de mil grãos estão apresentados nas tabelas 6 e 7. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 6, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 7. Inicialmente os grãos apresentaram diferenças no peso de mil grãos, o que está diretamente relacionado ao conteúdo de umidade inicial (Tabela 5). Ao longo do tempo de armazenamento verifica-se que os grãos armazenados nas combinações 15/32, 18/25 e 18/32 (umidade de grãos (%)/temperatura de armazenamento (°C)) apresentaram reduções expressivas para esse parâmetro.

Para a combinação 15%/32°C, o peso de mil grãos passou das iniciais 166,12g, para 159,63g aos 12 meses, enquanto os grãos armazenados a 18% de umidade passou de 173,79g para 167,48g e 162,73g, respectivamente nas temperaturas de 25 e 32°C, aos 12 meses de armazenamento. Dessa forma verifica-se que a umidade de grãos apresenta mais influência do que a temperatura de armazenamento na manutenção desse parâmetro de qualidade, sendo que a

associação das duas variáveis, com baixas umidades e temperaturas, mantém o peso de mil grãos com pouca variação.

Os resultados da tabela 6 são compatíveis com os de Alencar et al. (2009), trabalhando com armazenamento de soja com 12,8% de umidade a 30°C, registraram diminuição no peso de mil grãos durante o tempo de armazenamento. O peso de mil grãos é uma medida utilizada para avaliar a perda de massa durante o armazenamento, porém vários são os fatores que podem alterar os valores de peso de mil grãos, como a intensificação do metabolismo dos grãos durante o armazenamento, o qual faz com que as reservas energéticas sejam consumidas, com formação de gás carbônico e água como produtos finais da respiração.

Os principais substratos utilizados pelo metabolismo dos grãos são os lipídios, as proteínas e os carboidratos. A perda de peso é refletida nas diminuições nos teores desses constituintes com o decorrer do armazenamento (Tabelas 12, 13, 18 e 19) e está associada com as reduções nos valores de umidade (Tabela 5).

Tabela 6 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o peso de mil grãos (g) de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 155,46 ± 1,42 a*	A 154,90 ± 2,38 a	A 156,90 ± 1,49 a	A 155,89 ± 1,44 a
18	A 155,46 ± 1,42 a	A 155,55 ± 2,87 a	BA 156,67 ± 1,05 a	A 156,62 ± 1,94 a
25	A 155,46 ± 1,42 a	A 155,00 ± 1,61 a	A 156,74 ± 0,74 a	A 154,92 ± 1,94 a
32	A 155,46 ± 1,42 a	A 155,40 ± 2,49 a	B 154,52 ± 0,58 a	A 154,22 ± 1,95 a
Umidade inicial 12%				
11	A 158,65 ± 1,49 a	A 160,30 ± 1,82 a	A 158,74 ± 0,64 a	A 160,01 ± 1,13 a
18	A 158,65 ± 1,49 a	A 159,00 ± 1,15 a	A 161,26 ± 1,53 a	A 159,18 ± 2,12 a
25	A 158,65 ± 1,49 a	A 159,10 ± 3,36 a	A 160,29 ± 1,09 a	A 158,69 ± 1,69 a
32	A 158,65 ± 1,49 a	A 158,40 ± 1,95 a	A 161,52 ± 2,80 a	A 157,56 ± 0,75 a
Umidade inicial 15%				
11	A 166,12 ± 1,92 a	A 165,20 ± 0,86 a	A 166,19 ± 3,28 a	A 163,98 ± 1,44 a
18	A 166,12 ± 1,92 a	A 165,70 ± 1,70 a	A 166,86 ± 1,14 a	A 165,86 ± 1,71 a
25	A 166,12 ± 1,92 a	A 164,60 ± 2,81 a	A 165,90 ± 0,57 a	A 163,45 ± 2,11 a
32	A 166,12 ± 1,92 a	A 161,60 ± 1,93 bc	A 163,42 ± 0,79 ba	B 159,63 ± 1,63 c
Umidade inicial 18%				
11	A 173,99 ± 2,29 a	A 172,00 ± 0,56 a	A 174,63 ± 0,74 a	A 172,17 ± 0,76 a
18	A 173,99 ± 2,29 a	A 172,70 ± 1,28 a	A 172,59 ± 1,16 a	A 171,85 ± 1,24 a
25	A 173,99 ± 2,29 a	A 171,30 ± 0,82 a	A 172,85 ± 0,74 a	B 167,48 ± 1,54 b
32	A 173,99 ± 2,29 a	B 168,90 ± 1,43 b	B 166,29 ± 2,35 cb	C 162,73 ± 1,02 c

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 7 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre o peso de mil grãos (g) de grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	C 155,46 ± 1,42 a*	D 154,90 ± 2,38 a	C 156,90 ± 1,49 a	D 155,89 ± 1,44 a
12	C 158,65 ± 1,41 a	C 160,30 ± 1,82 a	C 158,74 ± 0,64 a	C 160,01 ± 1,13 a
15	B 166,12 ± 1,92 a	B 165,20 ± 0,86 a	B 166,19 ± 3,28 a	B 163,98 ± 1,44 a
18	A 173,99 ± 2,29 a	A 172,00 ± 0,56 a	A 174,63 ± 0,74 a	A 172,17 ± 0,76 a
Temperatura de 18°C				
9	C 155,46 ± 1,42 a	C 155,50 ± 2,87 a	D 156,67 ± 1,05 a	C 156,62 ± 1,94 a
12	C 158,65 ± 1,41 a	C 159,00 ± 1,15 a	C 161,26 ± 1,53 a	C 159,18 ± 2,12 a
15	B 166,12 ± 1,92 a	B 165,70 ± 1,70 a	B 166,86 ± 1,14 a	B 165,86 ± 1,71 a
18	A 173,99 ± 2,29 a	A 172,70 ± 1,28 a	A 172,59 ± 1,16 a	A 171,85 ± 1,24 a
Temperatura de 25°C				
9	C 155,46 ± 1,42 a	C 155,00 ± 1,16 a	D 156,74 ± 0,74 a	C 154,92 ± 1,94 a
12	C 158,65 ± 1,41 a	C 159,10 ± 3,36 a	C 160,29 ± 1,09 a	C 158,69 ± 1,69 a
15	B 166,12 ± 1,92 a	B 164,60 ± 2,81 a	B 165,90 ± 0,57 a	B 163,45 ± 2,11 a
18	A 173,99 ± 2,29 a	A 171,30 ± 0,82 a	A 172,85 ± 1,65 a	A 167,48 ± 1,54 b
Temperatura de 32°C				
9	C 155,46 ± 1,42 a	C 155,40 ± 2,49 a	C 154,52 ± 0,58 a	C 154,22 ± 1,95 a
12	C 158,65 ± 1,41 a	CB 158,40 ± 1,95 a	B 161,52 ± 2,80 a	B 157,56 ± 0,75 a
15	B 166,12 ± 1,92 a	B 161,60 ± 1,93 bc	BA 163,42 ± 0,79 ba	B 159,63 ± 1,63 c
18	A 173,99 ± 2,29 a	A 168,90 ± 1,43 b	A 166,29 ± 2,35 bc	A 162,73 ± 1,02 c

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.3 Peso volumétrico

Nas tabelas 8 e 9 estão apresentados os resultados de peso do volumétrico. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 8, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 9. Os resultados indicam redução no peso volumétrico ao longo do tempo de armazenamento para a maioria das condições testadas, sendo que as maiores reduções ocorreram nos grãos armazenados com 15 e 18% de umidade em todas as temperaturas de armazenamento, mostrando que o peso volumétrico é mais dependente da umidade dos grãos do que da temperatura.

O peso volumétrico está relacionado com a massa específica e a acomodação dos grãos em um determinado volume, sendo dependente de vários fatores como metabolismo dos grãos e de organismos associados. As mais altas umidades associadas às mais altas temperaturas a aceleração dos metabolismos e, conseqüentemente, favorecem o consumo das reservas energéticas, explicando o

comportamento do peso hectolitro durante o tempo de armazenamento nessas condições.

Alencar et al. (2009) verificaram redução da massa específica em grãos de soja durante o armazenamento com 14,8% de umidade a 40°C de temperatura e atribuíram essa redução à atividade metabólica dos grãos associada com o desenvolvimento de fungos e grãos ardidos.

Tabela 8 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o peso volumétrico ($\text{g}\cdot 100\text{mL}^{-1}$) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 69,23 ± 0,39 a*	A 68,76 ± 0,15 ba	BA 68,56 ± 0,17 b	A 68,29 ± 0,25 b
18	A 69,23 ± 0,39 a	A 68,54 ± 0,36 b	BA 68,53 ± 0,15 b	A 68,36 ± 0,19 b
25	A 69,23 ± 0,39 a	A 68,44 ± 0,26 b	B 68,47 ± 0,15 b	A 68,44 ± 0,21 b
32	A 69,23 ± 0,39 a	A 68,84 ± 0,32 a	A 68,77 ± 0,10 ba	A 68,30 ± 0,19 b
Umidade inicial 12%				
11	A 68,93 ± 0,12 a	A 68,75 ± 0,31 a	A 68,75 ± 0,32 a	A 68,56 ± 0,25 a
18	A 68,93 ± 0,12 a	A 68,76 ± 0,41 a	A 68,73 ± 0,24 a	A 68,68 ± 0,30 a
25	A 68,93 ± 0,12 a	A 68,73 ± 0,19 a	A 68,67 ± 0,16 ba	A 68,40 ± 0,28 b
32	A 68,93 ± 0,12 a	A 68,80 ± 0,10 ba	A 69,13 ± 0,37 a	A 68,45 ± 0,30 b
Umidade inicial 15%				
11	A 68,94 ± 0,13 a	A 68,92 ± 0,08 a	A 67,67 ± 0,22 b	A 67,35 ± 0,24 b
18	A 68,94 ± 0,13 a	B 68,07 ± 0,38 b	B 66,78 ± 0,10 c	B 66,26 ± 0,21 d
25	A 68,94 ± 0,13 a	C 66,99 ± 0,62 b	B 66,87 ± 0,23 b	B 66,37 ± 0,39 b
32	A 68,94 ± 0,13 a	C 66,68 ± 0,14 b	C 66,16 ± 0,26 c	C 65,66 ± 0,32 d
Umidade inicial 18%				
11	A 68,49 ± 0,13 a	A 66,56 ± 0,25 b	A 65,22 ± 0,51 c	A 64,64 ± 0,27 c
18	A 68,49 ± 0,13 a	BA 66,05 ± 0,60 b	BA 65,01 ± 0,56 c	B 64,02 ± 0,30 d
25	A 68,49 ± 0,13 a	BC 65,42 ± 0,30 b	BA 64,37 ± 0,41 c	C 63,39 ± 0,24 d
32	A 68,49 ± 0,13 a	C 64,78 ± 0,37 b	B 64,23 ± 0,41 b	C 63,02 ± 0,21 c

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 9 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre o peso volumétrico ($\text{g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 69,23 ± 0,39 a*	A 68,76 ± 0,15 ba	A 68,56 ± 0,17 b	A 68,29 ± 0,25 b
12	A 68,93 ± 0,12 a	A 68,75 ± 0,31 a	A 68,75 ± 0,32 a	B 68,56 ± 0,25 a
15	A 68,94 ± 0,13 a	A 68,92 ± 0,08 a	B 67,67 ± 0,22 b	C 67,35 ± 0,24 b
18	B 68,49 ± 0,13 a	B 66,56 ± 0,25 b	C 65,22 ± 0,51 c	C 64,64 ± 0,27 c
Temperatura de 18°C				
9	A 69,23 ± 0,39 a	A 68,54 ± 0,36 b	A 68,53 ± 0,15 b	A 68,36 ± 0,19 b
12	A 68,93 ± 0,12 a	A 68,76 ± 0,41 a	A 68,73 ± 0,24 a	A 68,64 ± 0,30 a
15	A 68,94 ± 0,13 a	A 68,07 ± 0,38 b	B 66,78 ± 0,10 c	B 66,26 ± 0,21 d
18	B 68,49 ± 0,13 a	B 66,05 ± 0,60 b	C 65,01 ± 0,56 c	C 64,02 ± 0,30 d
Temperatura de 25°C				
9	A 69,23 ± 0,39 a	A 68,44 ± 0,26 b	A 68,47 ± 0,15 b	A 68,44 ± 0,21 b
12	A 68,93 ± 0,12 a	A 68,73 ± 0,19 ba	A 68,67 ± 0,16 ba	A 68,40 ± 0,28 b
15	A 68,94 ± 0,13 a	B 66,92 ± 0,62 b	B 66,87 ± 0,23 b	B 66,37 ± 0,39 b
18	B 68,49 ± 0,13 a	C 65,42 ± 0,30 b	C 64,37 ± 0,41 c	C 63,39 ± 0,24 d
Temperatura de 32°C				
9	A 69,23 ± 0,39 a	A 68,84 ± 0,32 a	A 68,77 ± 0,10 ba	A 68,30 ± 0,19 b
12	A 68,93 ± 0,12 a	A 68,80 ± 0,10 ba	A 69,13 ± 0,37 a	A 68,45 ± 0,30 b
15	A 68,94 ± 0,13 a	B 66,68 ± 0,14 b	B 66,16 ± 0,26 c	B 65,66 ± 0,32 d
18	B 68,49 ± 0,13 a	C 64,78 ± 0,37 b	C 64,23 ± 0,41 b	C 63,02 ± 0,21 c

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.4 Cor

Nas tabelas 10 e 11 estão apresentadas as variações de coloração dos grãos de soja. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 10, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 11. Observa-se que a umidade dos grãos é mais importante do que a temperatura de armazenamento para a manutenção da coloração, sendo que, quando essas duas variáveis são associadas com altas umidades e temperaturas ocorrem as maiores variações aos 12 meses de armazenamento, enquanto com redução da temperatura até níveis de refrigeração (11 e 18°C) as variações de cor são menos expressivas. Avaliando os extremos, verifica-se que no armazenamento com umidade de grãos de 18% na temperatura de 32°C a variação passou de 68,32 no início do armazenamento para 48,03 aos 12 meses, enquanto que o armazenamento com 9% de umidade de grãos na temperatura de 11°C, a variação passou de 67,25 no início do armazenamento para 66,64 aos 12 meses, mantendo-se estável.

Tabela 10 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a variação de cor (ΔE) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 67,25 ± 1,28 a*	A 66,80 ± 1,99 a	A 66,67 ± 1,56 a	A 66,64 ± 1,19 a
18	A 67,25 ± 1,28 a	A 66,68 ± 1,83 a	A 66,41 ± 1,58 a	A 65,81 ± 1,28 a
25	A 67,25 ± 1,28 a	A 67,29 ± 1,38 a	A 66,46 ± 2,12 a	A 66,09 ± 1,63 a
32	A 67,25 ± 1,28 a	A 65,93 ± 1,42 ba	A 65,69 ± 1,33 ba	A 65,39 ± 1,54 b
Umidade inicial 12%				
11	A 67,63 ± 1,74 a	A 66,74 ± 1,43 a	A 66,27 ± 1,47 a	A 65,89 ± 1,51 a
18	A 67,63 ± 1,74 a	A 67,05 ± 1,81 ba	A 66,09 ± 1,48 ba	A 65,48 ± 1,56 b
25	A 67,63 ± 1,74 a	A 66,16 ± 1,99 ba	A 65,88 ± 0,83 ba	A 65,30 ± 1,03 b
32	A 67,63 ± 1,74 a	A 66,71 ± 1,97 ba	A 65,76 ± 0,94 ba	A 64,84 ± 1,99 b
Umidade inicial 15%				
11	A 68,04 ± 1,19 a	A 67,47 ± 2,00 a	A 65,32 ± 1,62 b	A 64,08 ± 1,21 b
18	A 68,04 ± 1,19 a	B 64,23 ± 1,89 b	B 60,86 ± 1,77 c	B 58,98 ± 1,39 c
25	A 68,04 ± 1,19 a	B 63,74 ± 2,16 b	B 59,59 ± 1,37 c	B 58,47 ± 1,66 c
32	A 68,04 ± 1,19 a	C 58,33 ± 1,62 b	C 55,89 ± 2,04 c	C 55,04 ± 2,35 c
Umidade inicial 18%				
11	A 68,32 ± 1,21 a	A 63,62 ± 2,22 b	A 61,46 ± 1,38 c	A 58,92 ± 1,38 d
18	A 68,32 ± 1,21 a	B 58,36 ± 1,57 b	B 56,43 ± 1,49 c	B 52,97 ± 1,52 d
25	A 68,32 ± 1,21 a	B 57,54 ± 1,91 b	C 53,92 ± 2,07 c	B 52,67 ± 2,28 c
32	A 68,32 ± 1,21 a	C 51,93 ± 1,68 b	D 48,31 ± 1,59 c	C 48,03 ± 2,14 c

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A variação na coloração dos grãos é resultado da degradação de compostos que conferem cor como carotenoides, conforme resultados apresentados nas tabelas 45 e 46, juntamente com o escurecimento dos grãos pela presença de fungos nas condições mais extremas de armazenamento. Hou e Chang (2004a) verificaram variação na coloração dos grãos, através do escurecimento, no armazenamento em condições elevadas de umidade relativa do ar e temperatura. Variações na coloração de grãos de soja durante o armazenamento também foram observadas por Alencar et al. (2009), os quais verificaram aumento da variação de acordo com o aumento da umidade de grãos e da temperatura de armazenamento, sendo que a pior condição do referido experimento ocorreu no armazenamento com 14,8% de umidade a 40°C.

Tabela 11 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre a variação de cor (ΔE) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 67,25 ± 1,28 a*	A 66,80 ± 1,99 a	A 66,67 ± 1,56 a	A 66,64 ± 1,19 a
12	A 67,63 ± 1,74 a	A 66,74 ± 1,43 a	A 66,27 ± 1,47 a	A 65,89 ± 1,51 a
15	A 68,04 ± 1,19 a	A 67,47 ± 2,00 a	A 65,32 ± 1,62 b	B 64,08 ± 1,21 b
18	A 68,32 ± 1,21 a	B 63,62 ± 2,22 b	B 61,46 ± 1,38 c	C 58,92 ± 1,38 d
Temperatura de 18°C				
9	A 67,25 ± 1,28 a	A 66,68 ± 1,83 a	A 66,41 ± 1,58 a	A 65,81 ± 1,28 a
12	A 67,63 ± 1,74 a	A 67,05 ± 1,81 ba	B 66,09 ± 1,48 ba	A 65,48 ± 1,56 b
15	A 68,04 ± 1,19 a	B 64,23 ± 1,89 b	C 60,86 ± 1,77 c	B 58,98 ± 1,39 c
18	A 68,32 ± 1,21 a	C 58,36 ± 1,57 b	C 56,43 ± 1,49 c	C 52,97 ± 1,52 d
Temperatura de 25°C				
9	A 67,25 ± 1,28 a	A 67,29 ± 1,38 a	A 66,46 ± 2,12 a	A 66,09 ± 1,63 a
12	A 67,63 ± 1,74 a	A 66,16 ± 1,99 ba	A 65,88 ± 0,83 ba	A 65,30 ± 1,03 b
15	A 68,04 ± 1,19 a	B 63,74 ± 2,16 b	B 59,59 ± 1,37 c	B 58,47 ± 1,66 c
18	A 68,32 ± 1,21 a	C 57,54 ± 1,91 b	C 53,92 ± 2,07 c	C 52,67 ± 2,28 c
Temperatura de 32°C				
9	A 67,25 ± 1,28 a	A 65,93 ± 1,42 ba	A 65,69 ± 1,33 ba	A 65,39 ± 1,54 b
12	A 67,63 ± 1,74 a	A 66,71 ± 1,97 ba	A 65,76 ± 0,94 ba	A 64,84 ± 1,99 b
15	A 68,04 ± 1,19 a	B 58,33 ± 1,62 b	B 55,89 ± 2,04 c	B 55,04 ± 2,35 c
18	A 68,33 ± 1,21 a	C 51,93 ± 1,68 b	C 48,31 ± 1,59 c	C 48,03 ± 2,14 c

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.5 Teor de proteínas

.Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 12, enquanto que os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 13. A observação dos dados das tabelas 12 e 13 permite verificar que os grãos de soja apresentaram inicialmente 39,30% de proteínas, estando de acordo com a literatura para a espécie (FARHOOSH, EIRNAFSHAR, SHARAYER, 2009).

Observando as mesmas tabelas verifica-se que com exceção do armazenamento com 9% de umidade na temperatura de 11°C, em todos os demais são verificadas reduções, sendo que nas condições mais drásticas de armazenamento (18% de umidade e 32°C de temperatura) o teor de proteínas reduziu dos iniciais, 39,30 para 35,44% aos 12 meses de armazenamento. A redução da temperatura é importante na manutenção do teor de proteínas, porém a redução da umidade é essencial para preservação do conteúdo total de proteínas.

Reduções dos teores de proteína bruta durante o armazenamento têm sido reportadas na literatura. Lee e Cho (2012), armazenando soja durante dois anos, à

temperatura ambiente, verificaram redução dos teores de proteínas de 43% para 38,30% após um ano e para 33,80% após dois anos de armazenamento. Resultados com redução no teor de proteínas também foram observados por Rani et al. (2013) no armazenamento de feijão em diferentes condições. Liu et al. (2008) encontraram resultados semelhantes, com redução significativa no teor de proteínas no armazenamento de grãos de soja na temperatura de 30°C e umidade relativa do ar de 88%.

Tabela 12 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de proteínas (% em base seca) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 39,30 ± 0,61 a*	A 39,27 ± 0,17 a	A 39,25 ± 0,77 a	A 37,99 ± 0,41 a
18	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,26 ± 0,39 a	A 39,14 ± 0,51 ba	A 37,76 ± 0,58 b
25	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,24 ± 0,92 a	A 39,15 ± 0,34 a	A 37,77 ± 0,88 b
32	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,24 ± 0,12 a	A 39,03 ± 0,30 ba	A 37,49 ± 0,96 b
Umidade inicial 12%				
11	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,19 ± 0,37 a	A 39,14 ± 0,35 a	A 37,67 ± 0,48 b
18	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,13 ± 0,30 a	A 39,09 ± 0,40 a	A 37,61 ± 0,68 b
25	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,18 ± 0,62 a	A 39,00 ± 0,78 a	A 36,90 ± 0,53 b
32	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,05 ± 0,27 a	A 38,89 ± 0,46 a	A 36,85 ± 0,85 b
Umidade inicial 15%				
11	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,14 ± 0,52 a	A 39,06 ± 0,33 a	A 37,66 ± 0,16 b
18	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,10 ± 0,38 a	A 38,61 ± 0,45 a	BA 37,21 ± 0,54 b
25	A 39,30 ± 0,61 a	A 38,91 ± 0,77 a	A 38,34 ± 0,23 a	BA 36,57 ± 0,47 b
32	A 39,30 ± 0,61 a	A 38,64 ± 0,61 a	A 38,25 ± 0,20 a	B 36,29 ± 0,60 b
Umidade inicial 18%				
11	A 39,30 ± 0,61 a	A 38,61 ± 0,43 ba	A 37,90 ± 0,58 ba	A 36,59 ± 1,67 b
18	A 39,30 ± 0,61 a	A 38,06 ± 0,57 ba	A 37,67 ± 0,46 bc	A 36,32 ± 0,58 c
25	A 39,30 ± 0,61 a	A 37,88 ± 0,13 ba	A 37,33 ± 0,73 bc	A 35,91 ± 0,53 c
32	A 39,30 ± 0,61 a	A 37,55 ± 0,46 b	A 36,93 ± 0,33 b	A 35,44 ± 0,61 c

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 13 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de proteínas (% em base seca) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 39,30 ± 0,61 a*	A 39,27 ± 0,17 a	A 39,25 ± 0,77 a	A 37,99 ± 0,41 a
12	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,19 ± 0,37 a	A 39,14 ± 0,35 a	A 37,67 ± 0,48 b
15	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,14 ± 0,52 a	A 39,06 ± 0,33 a	A 37,66 ± 0,16 b
18	A 39,30 ± 0,61 a	A 38,61 ± 0,43 ba	A 37,90 ± 0,58 ba	A 36,59 ± 1,67 b
Temperatura de 18°C				
9	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,26 ± 0,39 a	A 39,14 ± 0,51 ba	A 37,76 ± 0,58 b
12	A 39,30 ± 0,61 a	BA 39,13 ± 0,30 a	A 39,09 ± 0,40 a	A 37,61 ± 0,68 b
15	A 39,30 ± 0,61 a	BA 39,10 ± 0,38 a	BA 38,61 ± 0,45 a	A 37,21 ± 0,54 b
18	A 39,30 ± 0,61 a	B 38,06 ± 0,57 ba	B 37,67 ± 0,46 bc	A 36,32 ± 0,58 c
Temperatura de 25°C				
9	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,24 ± 0,92 a	A 39,15 ± 0,34 a	A 37,77 ± 0,88 a
12	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,18 ± 0,62 a	A 39,00 ± 0,78 a	BA 36,90 ± 0,53 b
15	A 39,30 ± 0,61 a	A 38,91 ± 0,77 a	BA 38,34 ± 0,23 a	BA 36,57 ± 0,47 b
18	A 39,30 ± 0,61 a	A 37,88 ± 0,13 ba	B 37,33 ± 0,73 bc	B 35,91 ± 0,53 c
Temperatura de 32°C				
9	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,24 ± 0,12 a	A 39,03 ± 0,30 ba	A 37,41 ± 0,96 b
12	A 39,30 ± 0,61 a	A 39,05 ± 0,27 a	A 38,89 ± 0,46 a	BA 36,58 ± 0,85 b
15	A 39,30 ± 0,61 a	A 38,64 ± 0,61 a	A 38,25 ± 0,20 a	BA 36,29 ± 0,60 b
18	A 39,30 ± 0,61 a	B 37,55 ± 0,46 b	B 36,93 ± 0,33 b	B 35,44 ± 0,61 c

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.6 Índice de solubilidade proteica

Os resultados de solubilidade proteica estão apresentados nas tabelas 14 e 15. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 14, enquanto que os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 15. Verifica-se que o teor de proteína solúvel diferiu no início do armazenamento de acordo com a umidade dos grãos, sendo que quanto menor a umidade dos mesmos, menor foi a solubilidade. Tal fato pode ser explicado pelo tempo maior de exposição dos grãos ao ar de secagem para redução da umidade até as umidades de estudo, fazendo com que ocorra complexação das estruturas proteicas. Ocorrência semelhante foi relatada por Prachayawarakorn, Prachayawasin, Soponronnaritb (2006).

Durante o armazenamento verifica-se que as maiores reduções ocorrem nos grãos armazenados com 18 e 15% de umidade a 32°C, passando de 23,85 e 23,17% para 2,46 e 4,45% respectivamente aos 12 meses de armazenamento. A redução da temperatura de armazenamento é importante para a preservação da

solubilidade, pois mesmo os grãos armazenados com 18% de umidade na temperatura de 11°C, mantiveram 19,96% de proteína solúvel solubilidade aos 12 meses de armazenamento. Os maiores índices de solubilidade ao final do armazenamento foram mantidos quando os grãos foram armazenados com 15% de umidade na temperatura de 11°C.

Tabela 14 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a solubilidade proteica (% em base seca) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 17,21 ± 0,67 a*	A 17,35 ± 0,52 a	A 17,12 ± 0,21 a	A 17,21 ± 0,68 a
18	A 17,21 ± 0,67 a	A 17,26 ± 0,34 a	A 17,03 ± 0,33 a	A 17,07 ± 0,30 a
25	A 17,21 ± 0,67 a	A 17,22 ± 0,22 a	A 17,00 ± 0,21 a	A 16,15 ± 0,41 a
32	A 17,21 ± 0,67 a	A 17,12 ± 0,22 a	A 16,70 ± 0,44 a	B 14,10 ± 0,07 b
Umidade inicial 12%				
11	A 19,30 ± 0,86 a	A 19,29 ± 0,13 a	A 19,14 ± 0,32 a	A 16,55 ± 0,28 b
18	A 19,30 ± 0,86 a	A 19,38 ± 0,54 a	A 18,90 ± 0,22 a	BA 16,21 ± 0,27 b
25	A 19,30 ± 0,86 a	BA 18,81 ± 0,22 ba	B 17,61 ± 0,12 b	B 15,86 ± 0,16 c
32	A 19,30 ± 0,86 a	B 18,23 ± 0,35 a	C 16,95 ± 0,24 b	C 9,35 ± 0,07 c
Umidade inicial 15%				
11	A 23,17 ± 0,72 a	A 22,85 ± 0,76 ba	A 21,67 ± 0,13 bc	A 20,48 ± 0,16 c
18	A 23,17 ± 0,72 a	A 22,88 ± 0,24 a	A 21,40 ± 0,26 b	A 20,22 ± 0,16 c
25	A 23,17 ± 0,72 a	A 21,54 ± 0,59 b	B 18,76 ± 0,34 c	B 12,72 ± 0,44 d
32	A 23,17 ± 0,72 a	B 16,53 ± 0,61 b	C 11,06 ± 0,11 c	C 4,45 ± 0,07 d
Umidade inicial 18%				
11	A 23,85 ± 0,75 a	A 22,61 ± 0,24 a	A 20,42 ± 0,24 b	A 19,96 ± 0,56 b
18	A 23,85 ± 0,75 a	A 21,85 ± 0,26 b	B 19,21 ± 0,26 c	B 18,46 ± 0,46 c
25	A 23,85 ± 0,75 a	B 20,60 ± 0,47 b	C 15,57 ± 0,39 c	C 9,09 ± 0,03 d
32	A 23,85 ± 0,75 a	C 9,99 ± 0,14 b	D 3,79 ± 0,24 c	D 2,46 ± 0,14 d

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Liu et al. (2008), armazenando soja em 88% de umidade relativa do ar e 30°C, relataram redução na solubilidade proteica durante o tempo de armazenamento, sendo similar aos estudos realizados por Hou e Chang (2004b). Resultados semelhantes também foram encontrados por Pinto, Lajolo, Genovese (2005) armazenando grãos de soja durante um ano na temperatura de 42°C.

Mudanças no conteúdo de proteínas (Tabelas 12 e 13) bem como da solubilidade (Tabelas 14 e 15) são explicadas na literatura (CHEN et al., 2011; STANOJEVIC et al., 2011) pela ocorrência de desnaturação proteica durante o

armazenamento, bem como por alterações moleculares na estrutura β -pregueada e das pontes dissulfeto. Este fenômeno sugere que as proteínas podem ser degradadas em pequenos peptídeos e aminoácidos, com o passar do tempo, devido à necessidade metabólica dos grãos, para formar compostos de defesa, em geral mais voláteis.

Tabela 15 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre a solubilidade proteica (% em base seca) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	C 17,21 ± 0,67 a*	C 17,35 ± 0,52 a	D 17,12 ± 0,21 a	B 17,21 ± 0,68 a
12	B 19,30 ± 0,86 a	B 19,29 ± 0,13 a	C 19,14 ± 0,32 a	B 16,55 ± 0,28 b
15	A 23,17 ± 0,72 a	A 22,85 ± 0,76 ba	A 21,67 ± 0,13 bc	A 20,48 ± 0,16 c
18	A 23,85 ± 0,75 a	A 22,61 ± 0,24 a	B 20,42 ± 0,24 b	A 19,96 ± 0,59 b
Temperatura de 18°C				
9	C 17,21 ± 0,67 a	D 17,26 ± 0,34 a	C 17,03 ± 0,33 a	C 17,07 ± 0,30 a
12	B 19,30 ± 0,86 a	C 19,38 ± 0,54 a	B 18,90 ± 0,22 a	D 16,21 ± 0,27 b
15	A 23,17 ± 0,72 a	A 22,88 ± 0,24 a	A 21,40 ± 0,26 b	A 20,22 ± 0,16 c
18	A 23,85 ± 0,75 a	B 21,85 ± 0,26 b	B 19,21 ± 0,26 c	B 18,46 ± 0,46 c
Temperatura de 25°C				
9	C 17,21 ± 0,67 a	C 17,22 ± 0,22 a	B 17,00 ± 0,21 a	A 16,15 ± 0,41 a
12	B 19,30 ± 0,86 a	B 18,81 ± 0,22 ba	B 17,61 ± 0,12 b	A 15,86 ± 0,16 c
15	A 23,85 ± 0,75 a	A 21,54 ± 0,59 b	A 18,76 ± 0,34 c	B 12,72 ± 0,44 d
18	A 23,85 ± 0,75 a	A 20,60 ± 0,47 b	C 15,57 ± 0,39 c	C 9,09 ± 0,03 d
Temperatura de 32°C				
9	C 17,21 ± 0,67 a	B 17,12 ± 0,22 a	A 16,70 ± 0,44 a	A 14,10 ± 0,07 b
12	B 19,30 ± 0,86 a	A 18,23 ± 0,35 a	A 16,95 ± 0,24 b	B 9,35 ± 0,07 c
15	A 23,17 ± 0,72 a	B 16,53 ± 0,61 b	B 11,06 ± 0,11 c	C 4,45 ± 0,07 d
18	A 23,85 ± 0,75 a	C 9,99 ± 0,14 b	C 3,79 ± 0,24 c	D 2,46 ± 0,14 d

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

4.1.7. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Na figura 10 é apresentado um termograma representativo das propriedades térmicas do farelo desengordurado de soja, onde se verificam duas depressões. Uma depressão com menor intensidade pode ser observada próximo à temperatura de 80°C, correspondente à fração 7S. A segunda depressão é observada próximo à temperatura de 100°C, correspondente à fração 11S. A entalpia mede a energia necessária para que ocorra a desnaturação da proteína.

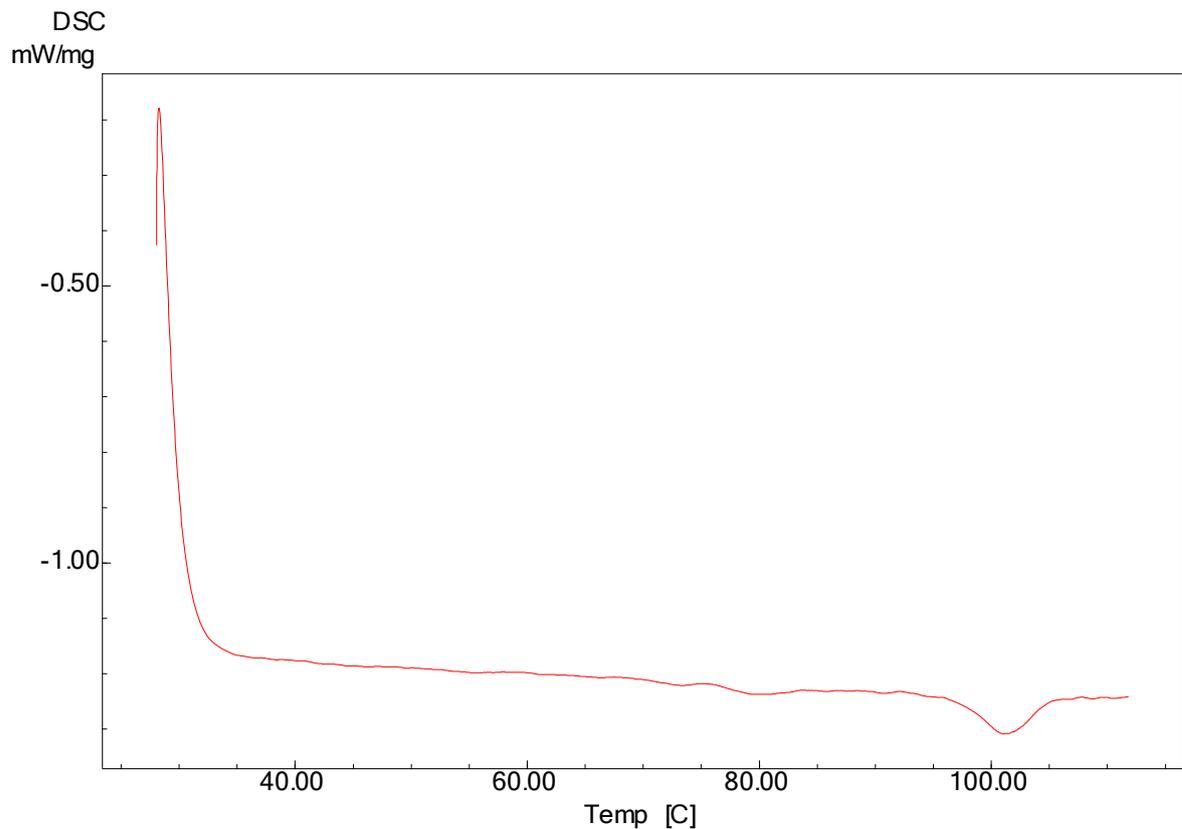


Figura 10 - Termograma das propriedades térmicas do farelo de soja desengordurado

Na tabela 16 são apresentados os resultados referentes às propriedades térmicas da fração 7S. Observa-se que inicialmente a entalpia diferiu entre as umidades de grãos, sendo de 0,73, 0,52, 0,40, 0,34 kJ/g respectivamente nas amostras com 9, 12, 15 e 18% de umidade, o que pode ser resultado da complexação das proteínas durante a secagem, pelo tempo maior de exposição dos grãos ao ar de secagem, para a obtenção das umidades de estudo. Uma relação direta com a solubilidade proteica (Tabelas 14 e 15) pode ser feita, pois de acordo com a diminuição da umidade dos grãos, menor foi a solubilidade no início do armazenamento.

Aos 12 meses de armazenamento a entalpia reduziu para todas as condições de armazenamento, sendo que conforme o aumento da umidade e da temperatura essa redução foi ainda mais acentuada, suficiente para que nos grãos armazenados com 15 e 18% de umidade na temperatura de 32°C, não fosse possível identificar o pico correspondente à fração 7S. O comportamento verificado durante o armazenamento é resultado da desnaturação proteica decorrente da ação

enzimática. Liu et al. (2008), estudando as frações proteicas de soja isoladas, obtidas de grãos armazenados em 88% de umidade relativa do ar a 30°C verificaram redução na entalpia durante o armazenamento por 8 meses.

Tabela 16. Calorimetria diferencial de varredura (DSC), correspondente ao pico da fração 7S, de grãos de soja armazenados com quatro umidades de grãos e quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Tempo (meses)	Temperatura (°C)	Início do pico (°C)	Pico (°C)	Final do pico (°C)	Entalpia (Å J/g)
Umidade inicial 9%					
Inicial		76,05	79,96	84,01	0,73
	11	76,21	79,08	82,12	0,68
12	18	74,65	79,29	79,65	0,52
	25	74,92	77,91	81,96	0,32
	32	78,07	79,32	81,98	0,19
Umidade inicial 12%					
Inicial		74,74	79,85	82,35	0,52
	11	76,99	79,47	80,93	0,24
12	18	78,67	79,39	82,35	0,20
	25	78,60	80,55	82,36	0,17
	32	76,21	79,73	81,74	0,15
Umidade inicial 15%					
Inicial		75,28	78,13	79,83	0,40
	11	76,80	80,23	82,6	0,36
12	18	79,38	81,78	83,56	0,32
	25	76,47	78,31	78,85	0,17
	32	-	-	-	-
Umidade inicial 18%					
Inicial		76,17	81,39	82,49	0,34
	11	76,96	78,58	81,03	0,21
12	18	78,13	79,85	81,47	0,11
	25	79,06	81,43	83,28	0,09
	32	-	-	-	-

Na tabela 17 são apresentados os resultados referentes às propriedades térmicas da fração 11S. Verifica-se que é necessária uma maior quantidade de energia para romper essas estruturas, o que é explicado pela maior proporcionalidade em relação a fração 7S, conforme relata Liu et al. (2008). Observa-se também que a entalpia diferiu no início do armazenamento para as umidades de grãos, sendo de 3,63, 3,54, 2,56 e 2,50 ÅJ/g respectivamente nas umidades de 9, 12, 15 e 18%, resultado da complexação das proteínas durante a secagem, pelo tempo maior de exposição dos grãos ao ar de secagem, para a obtenção das umidades de estudo.

Aos 12 meses de armazenamento, verifica-se redução da entalpia para os grãos armazenados com 9 e 12% de umidade, sendo potencializado com o aumento da temperatura. Nos grãos armazenados com 15 e 18 % de umidade, verifica-se pequeno aumento da entalpia na temperatura de 11°C, com redução nas outras temperaturas, resultado de uma pequena complexação das proteínas durante o armazenamento em refrigeração, o que já havia ocorrido durante a secagem nas umidades de 9 e 12%. Reduções da entalpia da fração 11S também foi verificado por Liu et al. (2008), no armazenamento de soja em diferentes condições.

Tabela 17. Calorimetria diferencial de varredura (DSC), correspondente ao pico da fração 11S, de grãos de soja armazenados com quatro umidades de grãos e quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Tempo (meses)	Temperatura (°C)	Início do pico (°C)	Pico (°C)	Final do pico (°C)	Entalpia (Å J/g)
Umidade inicial 9%					
Inicial		97,47	101,13	104,53	3,63
	11	96,19	100,17	103,10	3,26
12	18	96,11	99,03	103,05	3,16
	25	94,92	99,24	102,31	3,08
	32	98,41	101,81	104,48	2,57
Umidade inicial 12%					
Inicial		97,35	101,11	104,38	3,54
	11	96,33	99,68	103,07	3,19
12	18	98,03	101,18	103,88	3,09
	25	98,24	101,29	104,56	3,05
	32	95,75	100,00	103,11	2,32
Umidade inicial 15%					
Inicial		94,64	99,15	102,63	2,56
	11	97,40	100,27	102,89	3,14
12	18	100,42	103,41	105,85	3,51
	25	96,58	100,11	103,33	2,90
	32	95,32	99,16	103,39	1,87
Umidade inicial 18%					
Inicial		97,03	99,89	103,21	2,50
	11	96,53	100,31	103,38	2,56
12	18	97,87	101,57	105,51	2,28
	25	98,80	101,62	105,05	2,34
	32	98,16	101,16	104,13	2,06

O comportamento das frações 7S e 11S verificado no estudo pode ser explicados por duas interferências distintas: nas temperaturas de 11 e 18°C, ocorrem predominantemente reações de oxidação, acompanhadas subsequentemente pela formação de pontes dissulfeto e agregados, o que reduz a

susceptibilidade do grão para a hidrólise enzimática, que é favorecida nas temperaturas mais elevadas (25 e 32°C) (GRUNE et al., 2004), dessa forma relações diretas com a solubilidade proteica podem ser feitas, pois as menores reduções de solubilidade foram verificadas nas temperaturas mais baixas (11 e 18°C).

4.1.8 Teor de lipídios

Nas tabelas 18 e 19 está apresentado o comportamento dos lipídios durante o tempo de armazenamento nas diferentes condições. Os efeitos da temperatura estão apresentados na tabela 18, enquanto que os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 19. Observa-se que houve redução no teor de lipídios em todas as condições testadas. Verifica-se que a menor redução ocorreu nos grãos armazenados com 12% de umidade na temperatura de 11°C, passando de 24,86% no início do armazenamento para 22,50% aos 12 meses, enquanto que as maiores reduções são verificadas na junção de altas temperaturas (32°C) com umidade de 18%, passando dos iniciais 24,86% para 19,70% aos 12 meses.

A umidade de grãos em 12% mantém os maiores teores de lipídios, e se associado a reduções na temperatura à conservação é ainda maior. Verificando a influência da temperatura (Tabela 18) e da umidade (Tabela 19), observa-se que nenhuma das duas variáveis apresenta influências distintas, no entanto, a associação das mesmas, com altas temperaturas de armazenamento e umidade de grãos, ocorre as maiores reduções no teor de lipídios.

Hou e Chang (2004b), ao analisarem a composição química de grãos de soja durante o armazenamento a 30°C e 84% de umidade relativa do ar, verificaram aumento no teor de lipídios durante o tempo de armazenamento, todavia os autores não explicaram os fatos que teriam ocasionado esse aumento. Por outro lado, Toci et al. (2013) verificaram, já aos seis meses, reduções nos teores de triacilgliceróis no armazenamento de grãos de café em temperatura de 30°C. Rupollo et al. (2004) armazenando grãos de aveia também verificaram reduções ao longo do armazenamento, e afirmaram que a degradação dos lipídios durante o armazenamento ocorre em virtude dos processos bioquímicos como a respiração, ou processos de oxidação, que podem ser ocasionados por enzimas como as lipases, as fosfolipases e as peroxidases, presentes nos próprios grãos ou estarem associadas a microflora associada.

Tabela 18 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de lipídios (% em base seca) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 24,86 ± 0,67 a*	A 24,32 ± 0,70 ba	A 23,12 ± 0,25 bc	A 22,40 ± 0,45 c
18	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,29 ± 0,33 a	A 23,02 ± 0,13 b	A 22,06 ± 0,32 b
25	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,19 ± 0,69 a	BA 22,96 ± 0,31 b	A 21,85 ± 1,14 b
32	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,85 ± 0,71 a	B 21,76 ± 0,85 b	A 21,63 ± 0,85 b
Umidade inicial 12%				
11	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,19 ± 0,97 ba	A 23,32 ± 0,71 ba	A 22,50 ± 0,85 b
18	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,18 ± 0,15 ba	A 23,19 ± 0,41 bc	A 22,14 ± 0,74 c
25	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,08 ± 0,42 ba	A 23,03 ± 0,82 bc	A 21,83 ± 0,75 c
32	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,73 ± 0,15 ba	A 22,45 ± 0,60 bc	A 21,03 ± 0,95 c
Umidade inicial 15%				
11	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,12 ± 0,27 ba	A 23,15 ± 0,88 bc	A 22,41 ± 0,44 c
18	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,36 ± 0,50 ba	A 22,82 ± 0,64 b	A 22,04 ± 0,56 b
25	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,27 ± 0,83 ba	A 22,60 ± 0,83 b	A 21,69 ± 0,53 b
32	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,05 ± 0,10 b	A 22,01 ± 0,79 bc	A 21,24 ± 0,36 c
Umidade inicial 18%				
11	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,14 ± 0,16 b	A 22,50 ± 0,18 bc	A 21,86 ± 0,56 c
18	A 24,86 ± 0,67 a	BA 22,62 ± 0,54 b	B 21,91 ± 0,28 bc	BA 20,73 ± 0,28 c
25	A 24,86 ± 0,67 a	BA 22,48 ± 0,27 b	B 21,57 ± 0,13 bc	BA 20,36 ± 0,96 c
32	A 24,86 ± 0,67 a	B 21,77 ± 0,39 b	C 20,71 ± 0,23 bc	B 19,70 ± 0,46 c

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 19 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de lipídios (% em base seca) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 24,86 ± 0,67 a*	A 24,32 ± 0,70 ba	A 23,12 ± 0,25 bc	A 22,40 ± 0,45 c
12	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,19 ± 0,97 ba	A 23,32 ± 0,71 ba	A 22,45 ± 0,85 b
15	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,12 ± 0,27 ba	A 23,15 ± 0,88 bc	A 22,41 ± 0,44 c
18	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,14 ± 0,16 b	A 22,50 ± 0,18 bc	A 21,86 ± 0,56 c
Temperatura de 18°C				
9	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,29 ± 0,33 a	A 23,02 ± 0,13 b	A 22,06 ± 0,32 b
12	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,18 ± 0,15 ba	A 23,19 ± 0,41 bc	BA 22,14 ± 0,74 c
15	A 24,86 ± 0,67 a	BA 23,36 ± 0,50 ba	BA 22,82 ± 0,64 b	BA 22,04 ± 0,56 b
18	A 24,86 ± 0,67 a	B 22,62 ± 0,54 b	A 21,91 ± 0,28 bc	B 20,73 ± 0,28 c
Temperatura de 25°C				
9	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,19 ± 0,69 a	A 22,96 ± 0,31 ba	A 21,85 ± 1,14 b
12	A 24,86 ± 0,67 a	A 24,08 ± 0,42 ba	A 23,03 ± 0,82 bc	A 21,83 ± 0,75 c
15	A 24,86 ± 0,67 a	BA 23,27 ± 0,83 ba	A 22,60 ± 0,83 b	A 21,69 ± 0,53 b
18	A 24,86 ± 0,67 a	B 22,48 ± 0,27 b	A 21,57 ± 0,13 bc	A 20,36 ± 0,96 c
Temperatura de 32°C				
9	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,85 ± 0,71 a	BA 21,76 ± 0,85 b	A 21,63 ± 0,85 b
12	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,73 ± 0,15 ba	A 22,45 ± 0,60 bc	BA 21,03 ± 0,95 c
15	A 24,86 ± 0,67 a	A 23,05 ± 0,10 b	BA 22,01 ± 0,79 bc	BA 21,24 ± 0,36 c
18	A 24,86 ± 0,67 a	B 21,77 ± 0,39 b	B 20,71 ± 0,23 bc	B 19,70 ± 0,46 c

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.9 Índice de acidez lipídica

O comportamento da acidez lipídica está apresentado nas tabelas 20 e 21. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 20, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 21. Observa-se que o índice de acidez é potencializado de acordo com o aumento da umidade dos grãos e da temperatura de armazenamento, sendo que na melhor condição (9% de umidade e 11°C de temperatura) de armazenamento a acidez, que no início estava em 6,70mg de NaOH.100g⁻¹, passou para 9,58mg NaOH.100g⁻¹ aos 12 meses, já na pior condição (18% de umidade e 32°C de temperatura) os grãos apresentaram 129,67mg NaOH.100g⁻¹, aos 12 meses.

A acidez é indicativa da ocorrência de ácidos graxos livres, decorrentes da ação enzimática, que é reduzida na associação de baixas umidades de grãos com temperaturas de refrigeração (11°C) durante o armazenamento, porém os efeitos da

umidade de armazenamento são mais intensos do que a temperatura, para esse parâmetro de qualidade.

O comportamento da acidez lipídica foi relatado pela literatura. Park et al. (2012) verificaram aumento significativo da acidez no armazenamento de grãos de arroz polido durante quatro meses. Resultados semelhantes com armazenamento de milho em diferentes condições de temperatura foram relatados por Rehman, Habib, Zafar (2002).

As reduções nos teores de lipídios (Tabelas 18 e 19) e os aumentos de acidez (Tabelas 20 e 21) resultam da ação de lipases e fosfolipases presentes nos próprios grãos ou produzidas pela microflora associada, que contribuem para o rompimento das ligações éster dos triglicerídeos e da oxidação de cadeias carbônicas insaturadas nos ácidos graxos (NAZ et al., 2004).

Tabela 20 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a acidez lipídica (mg de NaOH.100g⁻¹ de óleo) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 6,70 ± 0,14 b*	B 6,85 ± 0,33 b	B 6,97 ± 0,21 b	B 9,58 ± 0,76 a
18	A 6,70 ± 0,14 c	BA 6,92 ± 0,10 cb	BA 8,08 ± 0,49 b	B 11,33 ± 0,75 a
25	A 6,70 ± 0,14 c	BA 7,07 ± 0,17 c	A 8,34 ± 0,21 b	B 10,90 ± 0,42 a
32	A 6,70 ± 0,14 c	A 7,41 ± 0,11 c	A 9,06 ± 0,65 b	A 13,55 ± 0,74 a
Umidade inicial 12%				
11	A 6,70 ± 0,14 c	C 7,05 ± 0,15 c	C 7,56 ± 0,22 b	C 10,65 ± 0,17 a
18	A 6,70 ± 0,14 c	C 7,15 ± 0,50 c	C 8,32 ± 0,23 b	B 13,47 ± 0,60 a
25	A 6,70 ± 0,14 d	B 8,67 ± 0,41 c	B 11,81 ± 0,72 b	B 13,31 ± 0,22 a
32	A 6,70 ± 0,14 d	A 11,49 ± 0,48 c	A 17,81 ± 0,19 b	A 20,35 ± 0,93 a
Umidade inicial 15%				
11	A 6,70 ± 0,14 c	D 7,08 ± 0,22 c	D 11,64 ± 0,56 b	D 16,60 ± 0,33 a
18	A 6,70 ± 0,14 d	C 11,10 ± 0,54 c	C 15,40 ± 0,77 b	C 25,39 ± 0,90 a
25	A 6,70 ± 0,14 d	B 13,78 ± 0,44 c	B 27,22 ± 0,80 b	B 33,95 ± 1,92 a
32	A 6,70 ± 0,14 c	A 25,59 ± 1,20 b	A 53,24 ± 1,23 a	A 53,78 ± 1,73 a
Umidade inicial 18%				
11	A 6,70 ± 0,14 c	C 12,54 ± 0,61 b	D 24,72 ± 0,16 a	D 25,60 ± 1,16 a
18	A 6,70 ± 0,14 d	C 16,39 ± 0,28 c	C 43,55 ± 0,96 b	C 47,32 ± 0,90 a
25	A 6,70 ± 0,14 c	B 30,58 ± 3,30 b	B 78,30 ± 2,06 a	B 80,00 ± 0,68 a
32	A 6,70 ± 0,14 d	A 56,37 ± 1,57 c	A 122,11 ± 4,30 b	A 129,67 ± 2,24 a

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 21 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre a acidez lipídica (mg de NaOH.100g⁻¹ de óleo) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 6,70 ± 0,14 b*	B 6,85 ± 0,33 b	C 6,97 ± 0,21 b	C 9,58 ± 0,76 a
12	A 6,70 ± 0,14 c	B 7,05 ± 0,15 c	C 7,56 ± 0,22 b	C 10,65 ± 0,17 a
15	A 6,70 ± 0,14 c	B 7,08 ± 0,22 c	B 11,64 ± 0,56 b	B 16,60 ± 0,33 a
18	A 6,70 ± 0,14 c	A 12,54 ± 0,61 b	A 24,72 ± 0,16 a	A 25,60 ± 1,16 a
Temperatura de 18°C				
9	A 6,70 ± 0,14 c	C 6,92 ± 0,10 bc	C 8,08 ± 0,49 b	D 11,33 ± 0,75 a
12	A 6,70 ± 0,14 c	C 7,15 ± 0,50 c	C 8,32 ± 0,23 b	C 13,47 ± 0,60 a
15	A 6,70 ± 0,14 d	B 11,10 ± 0,54 c	B 15,40 ± 0,77 b	B 25,39 ± 0,90 a
18	A 6,70 ± 0,14 d	A 16,39 ± 0,28 c	A 43,55 ± 0,96 b	A 47,32 ± 0,90 a
Temperatura de 25°C				
9	A 6,70 ± 0,14 c	C 7,07 ± 0,17 c	D 8,34 ± 0,21 b	C 10,90 ± 0,42 a
12	A 6,70 ± 0,14 d	C 8,67 ± 0,41 c	C 11,81 ± 0,72 b	C 13,31 ± 0,22 a
15	A 6,70 ± 0,14 d	B 13,78 ± 0,44 c	B 27,22 ± 0,80 b	B 33,95 ± 1,92 a
18	A 6,70 ± 0,14 c	A 30,58 ± 3,30 b	A 78,30 ± 2,06 a	A 80,00 ± 0,68 a
Temperatura de 32°C				
9	A 6,70 ± 0,14 c	D 7,41 ± 0,11 c	D 9,06 ± 0,65 b	D 13,55 ± 0,74 a
12	A 6,70 ± 0,14 d	C 11,49 ± 0,48 c	C 17,81 ± 0,19 b	C 20,35 ± 0,93 a
15	A 6,70 ± 0,14 c	B 25,59 ± 1,20 b	B 53,24 ± 1,23 a	B 53,78 ± 1,73 a
18	A 6,70 ± 0,14 d	A 56,37 ± 1,57 c	A 122,11 ± 4,30 b	A 129,67 ± 2,24 a

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4.1.10 Índice de peróxidos

Nas tabelas 22 e 23 estão apresentados os resultados para o índice de peróxidos. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 22, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 23.

A formação de peróxidos durante a oxidação dos lipídios está associada à reação do oxigênio com os ácidos graxos insaturados, ocorrendo em três etapas. Na etapa de iniciação ocorre a retirada de um hidrogênio do carbono adjacente à dupla ligação do ácido graxo, já na fase de propagação, os radicais livres que são prontamente susceptíveis ao ataque do oxigênio atmosférico, são convertidos em outros radicais, formando os produtos primários de oxidação (peróxidos e hidroperóxidos). Na fase da terminação, dois radicais combinam-se formando produtos estáveis (produtos secundários) obtidos por cisão e rearranjo dos peróxidos (RAMALHO e JORGE, 2006).

Observa-se que o índice de peróxidos aumenta de acordo com o aumento da umidade e da temperatura de armazenamento, sendo que conforme o aumento da drásticidade de armazenamento, verifica-se o ponto máximo de formação já aos 4 meses, enquanto que nas condições mais amenas de armazenamento, o ponto máximo de formação é verificado os 8 meses, com redução a partir daí. Tal comportamento é explicado pela instabilidade dos peróxidos, os quais são rapidamente degradados para formar produtos de baixo peso molecular (produtos secundários da oxidação).

Os resultados obtidos para o índice de peróxidos estão de acordo com os dados obtidos para o K_{232} , nas tabelas 24 e 25, onde se observou aumento até os 8 meses, com estabilização ou pequena redução aos 12 meses de armazenamento, sendo que a redução do K_{232} , não foi tão expressiva quanto os peróxidos, por que essa análise não mede apenas os peróxidos, mas também estruturas conjugadas como dienos e hidroperóxidos. Esses resultados também podem ser comprovados pela expressiva formação de compostos secundários de oxidação, medidos pelo K_{270} , conforme apresentados nas tabelas 26 e 27. Em geral a temperatura de armazenamento e a umidade de grãos não apresentam influências distintas, pois as maiores alterações são encontradas na associação das duas variáveis em níveis elevados.

Comportamento similar foi observado por Rupollo et al. (2004), trabalhando com armazenamento de aveia. No estudo, o aumento no índice de peróxidos nos lipídios foi atribuído à ação de enzimas peroxidases, presentes nos próprios grãos ou produzidas pela microflora associada, juntamente com os processos de auto-oxidação.

Tabela 22 - Efeito da temperatura de armazenamento sobre o índice de peróxidos (meq O₂. Kg⁻¹ de óleo) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 0,33 ± 0,00 b*	B 0,35 ± 0,00 b	C 0,50 ± 0,02 a	A 0,50 ± 0,00 a
18	A 0,33 ± 0,00 c	B 0,35 ± 0,00 c	B 0,76 ± 0,04 a	A 0,48 ± 0,01 b
25	A 0,33 ± 0,00 c	B 0,35 ± 0,00 c	B 0,84 ± 0,06 a	A 0,49 ± 0,00 b
32	A 0,33 ± 0,00 c	A 0,38 ± 0,00 c	A 1,01 ± 0,03 a	A 0,47 ± 0,00 b
Umidade inicial 12%				
11	A 0,33 ± 0,00 c	C 0,33 ± 0,01 c	C 1,04 ± 0,03 a	A 0,49 ± 0,01 b
18	A 0,33 ± 0,00 c	C 0,34 ± 0,01 c	CB 1,25 ± 0,05 a	A 0,48 ± 0,03 b
25	A 0,33 ± 0,00 d	B 0,93 ± 0,00 b	B 1,62 ± 0,01 a	A 0,50 ± 0,01 c
32	A 0,33 ± 0,00 c	A 1,30 ± 0,00 b	A 2,89 ± 0,29 a	A 0,50 ± 0,00 c
Umidade inicial 15%				
11	A 0,32 ± 0,00 d	C 1,08 ± 0,07 b	C 1,56 ± 0,05 a	A 0,48 ± 0,00 c
18	A 0,32 ± 0,00 c	B 1,53 ± 0,09 b	B 2,85 ± 0,03 a	A 0,45 ± 0,01 c
25	A 0,32 ± 0,00 c	A 3,05 ± 0,05 a	A 3,00 ± 0,03 a	A 0,48 ± 0,02 b
32	A 0,32 ± 0,00 d	A 3,02 ± 0,06 a	B 2,85 ± 0,01 b	A 0,49 ± 0,00 c
Umidade inicial 18%				
11	A 0,32 ± 0,02 d	B 2,51 ± 0,08 b	A 3,05 ± 0,03 a	A 0,51 ± 0,00 c
18	A 0,32 ± 0,00 d	A 2,98 ± 0,07 a	B 2,59 ± 0,02 b	BA 0,47 ± 0,02 c
25	A 0,32 ± 0,00 d	A 2,91 ± 0,08 a	C 1,89 ± 0,00 b	BA 0,49 ± 0,01 c
32	A 0,32 ± 0,00 d	A 3,03 ± 0,07 a	D 1,02 ± 0,00 b	B 0,45 ± 0,01 c

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 23 - Efeito da umidade de armazenamento sobre o índice de peróxidos (meq O₂. Kg⁻¹ de óleo) do óleo obtido de grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 0,33 ± 0,00 b*	C 0,35 ± 0,00 b	D 0,50 ± 0,02 a	BA 0,50 ± 0,00 a
12	A 0,33 ± 0,00 c	C 0,33 ± 0,01 c	C 1,04 ± 0,03 a	B 0,49 ± 0,01 b
15	A 0,32 ± 0,00 d	B 1,08 ± 0,07 b	B 1,56 ± 0,05 a	B 0,48 ± 0,00 c
18	A 0,32 ± 0,02 d	A 2,51 ± 0,08 b	A 3,05 ± 0,03 a	A 0,51 ± 0,00 c
Temperatura de 18°C				
9	A 0,33 ± 0,00 c	C 0,35 ± 0,00 c	D 0,76 ± 0,04 a	A 0,48 ± 0,01 b
12	A 0,33 ± 0,00 c	C 0,34 ± 0,01 c	C 1,25 ± 0,05 a	A 0,48 ± 0,03 b
15	A 0,32 ± 0,00 c	B 1,53 ± 0,09 b	A 2,85 ± 0,03 a	A 0,45 ± 0,01 c
18	A 0,32 ± 0,00 d	A 2,98 ± 0,07 a	B 2,59 ± 0,02 b	A 0,47 ± 0,02 c
Temperatura de 25°C				
9	A 0,33 ± 0,00 c	D 0,35 ± 0,00 c	D 0,84 ± 0,06 a	A 0,49 ± 0,00 b
12	A 0,33 ± 0,00 d	C 0,93 ± 0,00 b	C 1,62 ± 0,01 a	A 0,50 ± 0,01 c
15	A 0,32 ± 0,00 c	A 3,05 ± 0,05 a	A 3,00 ± 0,03 a	A 0,48 ± 0,02 b
18	A 0,32 ± 0,00 d	B 2,91 ± 0,08 a	B 1,89 ± 0,00 b	A 0,49 ± 0,01 c
Temperatura de 32°C				
9	A 0,33 ± 0,00 c	C 0,38 ± 0,00 c	B 1,01 ± 0,03 a	A 0,50 ± 0,00 b
12	A 0,33 ± 0,00 c	B 1,30 ± 0,00 b	A 2,89 ± 0,29 a	A 0,50 ± 0,00 b
15	A 0,32 ± 0,00 d	A 3,02 ± 0,06 a	A 2,85 ± 0,01 b	A 0,49 ± 0,00 c
18	A 0,32 ± 0,00 d	A 3,03 ± 0,07 a	B 1,02 ± 0,00 b	B 0,45 ± 0,01 c

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4.1.11 Coeficiente de Extinção Específica a K_{232}

Os coeficientes de extinção específica são parâmetros importantes para a determinação da qualidade de óleos vegetais, sendo que o K_{232} é indicativo da presença de peróxidos, hidroperóxidos e dienos conjugados (produtos primários de oxidação). Já o K_{270} é indicativo da presença de produtos secundários de oxidação (alcoois, cetonas, aldeídos) e trienos conjugados (CLODOVEO et al., 2007; RODRIGUES et al., 2012). Dessa forma, os K_{232} e K_{270} são, juntamente com a análise de peróxidos, importantes análises que se complementam e ajudam a verificar a qualidade de óleos vegetais.

Nas tabelas 24 e 25 estão apresentados os resultados para o K_{232} . Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 24, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 25. Verifica-se que o K_{232} aumentou de acordo com o aumento da umidade dos grãos e da temperatura de armazenamento até os 8 meses de armazenamento, com exceção dos grãos

armazenados a 18% de umidade nas temperaturas de 18, 25 e 32°C que apresentaram valor maior já aos 4 meses. Aos 12 meses de armazenamento se observa uma pequena redução ou estabilização desse parâmetro, tal fato pode ser explicado por que os peróxidos e hidroperóxidos são bastante instáveis e são rapidamente decompostos para formar produtos de baixo peso molecular como aldeídos, cetonas e alcoóis, assim como relatam Clodoveo et al. (2007), Pratt, Tallman, Porter (2011) e Rodrigues et al. (2012). Esse comportamento é confirmado também pelos resultados da análise de peróxidos (Tabelas 22 e 23), e reflete no aumento do K_{270} (Tabelas 26 e 27). De forma geral verifica-se que ambas as variáveis estudadas (temperatura de armazenamento e umidade de grãos) apresentam influência nesse parâmetro de qualidade.

Tabela 24 - Efeito da temperatura de armazenamento sobre o coeficiente de extinção específica (K_{232}) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 1,57 ± 0,07 b*	B 1,61 ± 0,01 ba	B 1,73 ± 0,06 a	B 1,70 ± 0,05 ba
18	A 1,57 ± 0,07 b	BA 1,65 ± 0,04 ba	B 1,78 ± 0,07 a	B 1,72 ± 0,02 ba
25	A 1,57 ± 0,07 c	BA 1,69 ± 0,04 bc	BA 1,86 ± 0,02 a	BA 1,83 ± 0,07 ba
32	A 1,57 ± 0,07 b	A 1,74 ± 0,04 b	A 1,97 ± 0,09 a	A 1,95 ± 0,05 a
Umidade inicial 12%				
11	A 1,55 ± 0,07 b	C 1,65 ± 0,04 ba	B 1,81 ± 0,08 a	C 1,78 ± 0,06 a
18	A 1,55 ± 0,07 c	CB 1,70 ± 0,03 bc	B 1,86 ± 0,03 a	C 1,79 ± 0,05 ba
25	A 1,55 ± 0,07 c	B 1,79 ± 0,04 b	B 1,96 ± 0,06 a	B 1,93 ± 0,04 ba
32	A 1,55 ± 0,07 c	A 1,91 ± 0,02 b	A 2,15 ± 0,06 a	A 2,14 ± 0,04 a
Umidade inicial 15%				
11	A 1,52 ± 0,08 b	C 1,76 ± 0,00 a	C 1,92 ± 0,01 a	A 1,89 ± 0,09 a
18	A 1,52 ± 0,08 b	B 1,91 ± 0,06 a	CB 2,08 ± 0,04 a	A 1,95 ± 0,09 a
25	A 1,52 ± 0,08 c	A 2,33 ± 0,06 a	A 2,33 ± 0,08 a	A 2,04 ± 0,09 b
32	A 1,52 ± 0,08 c	A 2,32 ± 0,05 a	B 2,11 ± 0,08 b	A 2,10 ± 0,05 b
Umidade inicial 18%				
11	A 1,50 ± 0,04 c	B 1,89 ± 0,05 b	A 2,24 ± 0,09 a	A 2,01 ± 0,04 b
18	A 1,50 ± 0,04 c	A 2,29 ± 0,07 a	A 2,10 ± 0,01 a	B 1,75 ± 0,12 b
25	A 1,50 ± 0,04 d	A 2,28 ± 0,06 a	B 1,92 ± 0,01 b	B 1,64 ± 0,06 c
32	A 1,50 ± 0,04 d	A 2,23 ± 0,05 a	B 1,86 ± 0,06 b	B 1,67 ± 0,01 c

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 25 - Efeito da umidade de armazenamento sobre o coeficiente de extinção específica (K_{232}) do óleo obtido de grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 1,57 ± 0,07 b*	C 1,61 ± 0,01 ba	B 1,73 ± 0,06 a	C 1,70 ± 0,05 ba
12	A 1,55 ± 0,07 b	C 1,65 ± 0,04 ba	B 1,81 ± 0,08 a	BC 1,78 ± 0,06 a
15	A 1,52 ± 0,08 b	B 1,76 ± 0,00 a	B 1,92 ± 0,01 a	BA 1,89 ± 0,09 a
18	A 1,50 ± 0,04 c	A 1,89 ± 0,05 b	A 2,24 ± 0,09 a	A 2,01 ± 0,04 b
Temperatura de 18°C				
9	A 1,57 ± 0,07 b	C 1,65 ± 0,04 ba	B 1,78 ± 0,07 a	B 1,72 ± 0,02 ba
12	A 1,55 ± 0,07 c	C 1,70 ± 0,03 bc	B 1,86 ± 0,03 a	BA 1,79 ± 0,05 ba
15	A 1,52 ± 0,08 b	B 1,91 ± 0,06 a	A 2,08 ± 0,04 a	A 1,95 ± 0,09 a
18	A 1,50 ± 0,04 c	A 2,29 ± 0,07 b	A 2,10 ± 0,01 a	BA 1,75 ± 0,12 a
Temperatura de 25°C				
9	A 1,57 ± 0,07 c	B 1,69 ± 0,04 bc	B 1,86 ± 0,02 a	BC 1,83 ± 0,07 ba
12	A 1,55 ± 0,07 c	B 1,79 ± 0,04 b	B 1,96 ± 0,06 a	BA 1,93 ± 0,04 ba
15	A 1,52 ± 0,08 c	A 2,33 ± 0,06 a	A 2,33 ± 0,08 a	A 2,04 ± 0,09 b
18	A 1,50 ± 0,04 d	A 2,28 ± 0,06 a	B 1,92 ± 0,01 b	C 1,64 ± 0,06 c
Temperatura de 32°C				
9	A 1,57 ± 0,07 b	C 1,74 ± 0,04 b	BA 1,97 ± 0,09 a	B 1,95 ± 0,05 a
12	A 1,55 ± 0,07 c	B 1,91 ± 0,02 b	A 2,15 ± 0,06 a	A 2,14 ± 0,04 a
15	A 1,52 ± 0,08 c	A 2,32 ± 0,05 a	A 2,11 ± 0,08 b	A 2,10 ± 0,05 b
18	A 1,50 ± 0,04 d	A 2,23 ± 0,05 a	B 1,86 ± 0,06 b	C 1,67 ± 0,01 c

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.12 Coeficiente de Extinção Específica a K_{270}

Nas tabelas 26 e 27 estão apresentados os resultados para o K_{270} . Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 26, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 27. Os produtos secundários de oxidação do óleo apresentam aumento durante o tempo de armazenamento independente da condição em que os grãos foram armazenados, sendo potencializado com o aumento da umidade dos grãos e da temperatura empregada, mostrando a influência das duas variáveis sobre esse parâmetro de qualidade.

Fazendo relações diretas com o K_{232} (Tabelas 24 e 25), verifica-se que conforme os produtos primários de oxidação eram formados, os mesmos foram sendo decompostos em produtos secundários (Tabelas 26 e 27), no entanto mesmo quando houve redução de compostos primários ao final do armazenamento, os compostos secundários aumentaram ainda mais, o que é explicado pelo fato de que a formação de compostos secundários já era maior do que a formação de

compostos primários, o que é normal, pois a partir de certo ponto de degradação dos ácidos graxos, a formação de peróxidos e hidroperóxidos ficam limitadas.

Tabela 26 - Efeito da temperatura de armazenamento sobre o coeficiente de extinção específica (K_{270}) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 0,12 ± 0,01 c*	B 0,15 ± 0,00 b	B 0,18 ± 0,00 a	B 0,19 ± 0,01 a
18	A 0,12 ± 0,01 c	B 0,16 ± 0,00 b	BA 0,18 ± 0,00 a	BA 0,20 ± 0,00 a
25	A 0,12 ± 0,01 c	A 0,17 ± 0,00 b	BA 0,19 ± 0,00 ba	BA 0,21 ± 0,01 a
32	A 0,12 ± 0,01 c	A 0,17 ± 0,00 b	A 0,20 ± 0,00 b	A 0,23 ± 0,01 a
Umidade inicial 12%				
11	A 0,12 ± 0,01 b	B 0,16 ± 0,01 a	B 0,18 ± 0,01 a	C 0,19 ± 0,00 a
18	A 0,12 ± 0,01 c	BA 0,18 ± 0,00 b	B 0,20 ± 0,00 ba	BC 0,21 ± 0,01 a
25	A 0,12 ± 0,01 c	A 0,20 ± 0,00 b	A 0,23 ± 0,00 ba	BA 0,26 ± 0,04 a
32	A 0,12 ± 0,01 d	A 0,21 ± 0,00 c	A 0,24 ± 0,01 b	A 0,30 ± 0,00 a
Umidade inicial 15%				
11	A 0,12 ± 0,01 c	B 0,17 ± 0,00 b	C 0,19 ± 0,00 b	B 0,25 ± 0,01 a
18	A 0,12 ± 0,01 c	BA 0,19 ± 0,02 b	CB 0,22 ± 0,01 ba	B 0,25 ± 0,00 a
25	A 0,12 ± 0,01 d	BA 0,21 ± 0,01 c	B 0,25 ± 0,01 b	B 0,29 ± 0,01 a
32	A 0,12 ± 0,01 c	A 0,21 ± 0,00 c	A 0,46 ± 0,01 b	A 0,66 ± 0,07 a
Umidade inicial 18%				
11	A 0,12 ± 0,01 c	B 0,24 ± 0,00 b	C 0,31 ± 0,02 a	C 0,33 ± 0,02 a
18	A 0,12 ± 0,01 c	B 0,26 ± 0,01 b	C 0,34 ± 0,00 a	C 0,35 ± 0,01 a
25	A 0,12 ± 0,01 c	A 0,34 ± 0,02 b	B 0,55 ± 0,07 a	B 0,58 ± 0,02 a
32	A 0,12 ± 0,01 d	A 0,32 ± 0,00 c	A 0,68 ± 0,02 b	A 0,73 ± 0,01 a

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 27 - Efeito da umidade de armazenamento sobre o coeficiente de extinção específica (K_{270}) do óleo obtido de grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 0,12 ± 0,01 c*	B 0,15 ± 0,00 b	B 0,18 ± 0,00 a	C 0,19 ± 0,01 a
12	A 0,12 ± 0,01 b	B 0,16 ± 0,01 a	B 0,18 ± 0,01 a	C 0,19 ± 0,00 a
15	A 0,12 ± 0,01 c	B 0,17 ± 0,00 b	B 0,19 ± 0,00 b	B 0,25 ± 0,01 a
18	A 0,12 ± 0,01 c	A 0,24 ± 0,00 b	A 0,31 ± 0,02 a	A 0,33 ± 0,02 a
Temperatura de 18°C				
9	A 0,12 ± 0,01 c	C 0,16 ± 0,00 b	C 0,18 ± 0,00 a	C 0,20 ± 0,00 a
12	A 0,12 ± 0,01 bc	CB 0,18 ± 0,00 b	CB 0,20 ± 0,00 ba	C 0,21 ± 0,01 a
15	A 0,12 ± 0,01 c	B 0,19 ± 0,02 b	B 0,22 ± 0,01 ba	B 0,25 ± 0,00 a
18	A 0,12 ± 0,01 c	A 0,26 ± 0,01 b	A 0,34 ± 0,00 a	A 0,35 ± 0,01 a
Temperatura de 25°C				
9	A 0,12 ± 0,01 c	B 0,17 ± 0,00 b	B 0,19 ± 0,00 ba	C 0,21 ± 0,01 a
12	A 0,12 ± 0,01 c	B 0,20 ± 0,00 b	B 0,23 ± 0,00 ba	CB 0,26 ± 0,04 a
15	A 0,12 ± 0,01 d	B 0,21 ± 0,01 c	B 0,25 ± 0,01 b	B 0,29 ± 0,01 a
18	A 0,12 ± 0,01 c	A 0,34 ± 0,02 b	A 0,55 ± 0,07 a	A 0,58 ± 0,02 a
Temperatura de 32°C				
9	A 0,12 ± 0,01 c	C 0,17 ± 0,00 b	C 0,20 ± 0,01 b	B 0,23 ± 0,01 a
12	A 0,12 ± 0,01 d	B 0,21 ± 0,00 c	C 0,24 ± 0,01 b	B 0,30 ± 0,00 a
15	A 0,12 ± 0,01 c	B 0,21 ± 0,00 c	B 0,46 ± 0,01 b	A 0,66 ± 0,07 a
18	A 0,12 ± 0,01 d	A 0,32 ± 0,00 c	A 0,68 ± 0,02 b	A 0,73 ± 0,01 a

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.13 Índice de iodo

Nas tabelas 28 e 29 estão apresentados os resultados para o índice de iodo. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 28, enquanto que os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 29. Levando em consideração que o índice de iodo mede o número de insaturações presentes nos óleos vegetais, observam-se reduções nesse índice ao longo do armazenamento apenas para os grãos armazenados nas condições 15%/32°C, 18%/25, 18%/32°C. Observa-se também que a temperatura de armazenamento apresentou influência no índice de iodo somente na umidade de 18% (Tabela 28), e a umidade teve efeito somente na temperatura de 32°C (Tabela 29).

Reduções nos índices de iodo são causadas por uma série complexa de reações químicas, caracterizadas pela diminuição no conteúdo total de ácidos

graxos insaturados, devido à captação do hidrogênio adjacente a dupla ligação e a formação de radicais livres (NAZ et al., 2004).

Verifica que o comportamento do índice de iodo apresenta comportamento similar com os demais parâmetros de qualidade de óleo avaliados, como o K_{232} , K_{270} , peróxidos e perfil de ácidos graxos onde foi verificada uma maior degradação do óleo de acordo com o aumento da umidade e da temperatura de armazenamento dos grãos.

Tabela 28. Efeito da temperatura de armazenamento sobre o Índice de iodo ($\text{g de Iodo} \cdot 100^{-1}$) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 121,47 ± 1,89 a	A 120,84 ± 1,92 a	A 120,93 ± 1,78 a	A 121,81 ± 1,46 a
18	A 121,47 ± 1,90 a	A 121,12 ± 3,41 a	A 121,16 ± 2,47 a	A 121,00 ± 0,19 a
25	A 121,47 ± 1,91 a	A 121,43 ± 2,46 a	A 120,53 ± 2,40 a	A 120,68 ± 1,41 a
32	A 121,47 ± 1,92 a	A 121,52 ± 1,42 a	A 121,18 ± 2,66 a	A 120,30 ± 1,40 a
Umidade inicial 12%				
11	A 122,03 ± 2,09 a	A 121,04 ± 1,90 a	A 120,88 ± 2,87 a	A 119,98 ± 2,42 a
18	A 122,03 ± 2,10 a	A 122,05 ± 1,20 a	A 121,04 ± 2,52 a	A 119,62 ± 2,34 a
25	A 122,03 ± 2,11 a	A 121,34 ± 1,73 a	A 120,99 ± 2,08 a	A 119,62 ± 1,80 a
32	A 122,03 ± 2,12 a	A 122,09 ± 1,70 a	A 121,62 ± 3,00 a	A 119,41 ± 0,93 a
Umidade inicial 15%				
11	A 123,11 ± 1,78 a	A 122,99 ± 1,59 a	A 121,89 ± 0,90 a	A 121,76 ± 1,68 a
18	A 123,11 ± 1,79 a	A 122,64 ± 2,01 a	A 122,10 ± 1,04 a	A 121,33 ± 2,80 a
25	A 123,11 ± 1,80 a	A 122,08 ± 2,10 a	A 119,36 ± 0,58 a	A 118,17 ± 1,64 a
32	A 123,11 ± 1,81 a	A 122,03 ± 0,98 ab	A 119,00 ± 2,08 ab	A 116,93 ± 0,73 b
Umidade inicial 18%				
11	A 122,99 ± 2,31 a	A 121,92 ± 1,69 a	A 121,26 ± 2,92 a	A 119,86 ± 1,95 a
18	A 122,99 ± 2,32 a	A 121,39 ± 1,40 a	A 121,48 ± 2,32 a	A 119,90 ± 1,17 a
25	A 122,99 ± 2,33 a	A 121,54 ± 1,57 a	A 118,81 ± 0,26 ba	AB 114,71 ± 1,74 b
32	A 122,99 ± 2,34 a	A 119,86 ± 2,17 ba	A 116,30 ± 1,75 ba	B 112,47 ± 0,95 b

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 29. Efeito da umidade de armazenamento sobre o Índice de iodo ($\text{g de Iodo} \cdot 100^{-1}$) do óleo obtido de grãos de soja armazenados com quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 121,47 ± 1,89 a	A 120,84 ± 1,92 a	A 120,93 ± 1,78 a	A 121,81 ± 1,46 a
12	A 122,03 ± 2,09 a	A 121,04 ± 1,90 a	A 120,88 ± 2,87 a	A 119,98 ± 2,42 a
15	A 123,11 ± 1,78 a	A 122,99 ± 1,59 a	A 121,89 ± 0,90 a	A 121,76 ± 1,68 a
18	A 122,99 ± 2,31 a	A 121,92 ± 1,69 a	A 121,26 ± 2,92 a	A 119,86 ± 1,95 a
Temperatura de 18°C				
9	A 121,47 ± 1,89 a	A 121,12 ± 3,41 a	A 121,16 ± 2,47 a	A 121,00 ± 0,19 a
12	A 122,03 ± 2,09 a	A 122,05 ± 1,20 a	A 121,04 ± 2,52 a	A 119,62 ± 2,34 a
15	A 123,11 ± 1,78 a	A 122,64 ± 2,01 a	A 122,10 ± 1,04 a	A 121,33 ± 2,80 a
18	A 122,99 ± 2,31 a	A 121,39 ± 1,40 a	A 121,48 ± 2,32 a	A 119,90 ± 1,17 a
Temperatura de 25°C				
9	A 121,47 ± 1,89 a	A 121,43 ± 2,46 a	A 120,53 ± 2,40 a	A 120,68 ± 1,41 a
12	A 122,03 ± 2,09 a	A 121,34 ± 1,73 a	A 120,99 ± 2,08 a	A 119,62 ± 1,80 a
15	A 123,11 ± 1,78 a	A 122,08 ± 2,10 a	A 119,36 ± 0,58 a	A 118,17 ± 1,64 a
18	A 122,99 ± 2,31 a	A 121,54 ± 1,57 a	A 118,81 ± 0,26 ab	A 114,71 ± 1,74 b
Temperatura de 32°C				
9	A 121,47 ± 1,89 a	A 121,52 ± 1,42 a	A 121,18 ± 2,66 a	A 120,30 ± 1,40 a
12	A 122,03 ± 2,09 a	A 122,09 ± 1,70 a	A 121,62 ± 3,00 a	A 119,41 ± 0,93 a
15	A 123,11 ± 1,78 a	A 122,03 ± 0,98 ba	A 119,00 ± 2,08 ba	A 116,93 ± 0,73 b
18	A 122,99 ± 2,31 a	A 119,86 ± 2,17 ba	A 116,30 ± 1,75 ba	B 112,47 ± 0,95 b

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.14 Perfil de ácidos graxos

Na figura 11 está apresentado um cromatograma representativo do perfil de ácidos graxos encontrados no óleo de soja. De acordo com o cromatograma, da esquerda para direita, o pico 1 representa o ácido palmítico (C16:0), o pico 2 o ácido esteárico (C18:0), o pico 3 o ácido oleico (C18:1), o pico 4 o ácido linoleico (C18:2), pico 5 o ácido araquidônico (C20:0), pico 6 o ácido linolênico (C18:3), pico 7 o ácido beénico (C22:0), verifica-se entre o pico 3 e 4 um pico não numerado, que é o ácido metil nonadecanoato (padrão interno). Verifica-se que o perfil de ácidos graxos (Tabela 30) encontrado nesse experimento está de acordo com o relatado por Lee e Cho (2012), na caracterização e estudo do armazenamento de grãos de soja de cinco cultivares.

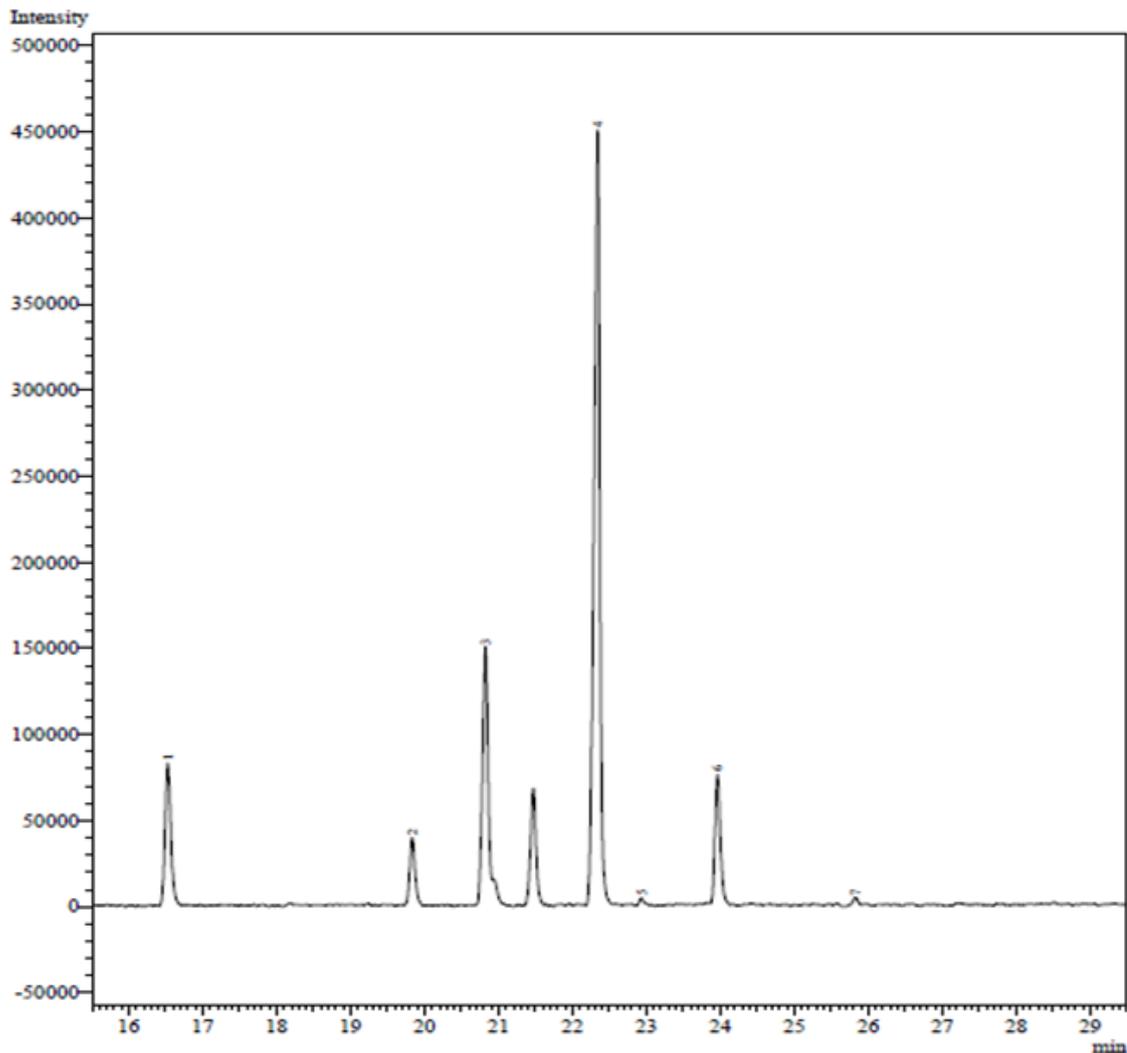


Figura 11 - Cromatograma representativo do perfil de ácidos graxos do óleo de soja.

De acordo com a tabela 30, verifica-se que não houve alterações relevantes no perfil de ácidos graxos do óleo obtido de grãos de soja armazenados com 9 e 12% de umidade. No óleo obtido de grãos armazenados com 15 e 18% de umidade, são verificadas algumas alterações durante o armazenamento, com reduções nos teores de ácido linolênico, principalmente com o aumento da temperatura de armazenamento, e aumentos nos teores dos ácidos oleico e linoleico. Os resultados apresentam comportamento similar com o índice de iodo (Tabelas 28 e 29), que apresentou as principais alterações nas umidades de 15 e 18%.

Lee e Cho (2012) estudando o armazenamento de grãos de soja de cinco cultivares, em temperatura ambiente durante dois anos, verificaram redução nos teores de ácido linoleico e linolênico, com aumento nos teores de ácido oleico. O comportamento verificado é resultado da degradação dos ácidos graxos poli-insaturados, os quais, através de um conjunto de reações, as duplas ligações são

quebradas, diminuindo o número de insaturações, conseqüentemente aumentando o teor de ácido oleico (monoinsaturado).

Tabela 30. Perfil de ácidos graxos do óleo de soja obtido de grãos armazenados com quatro umidades de grãos e quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante 12 meses (% do total de ésteres derivatizados).

Tempo (meses)	Temperatura (°C)	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
Umidade inicial 9%						
Inicial		10,60 ± 0,03 BA*	4,72 ± 0,07 A	18,23 ± 0,04 A	55,80 ± 0,14 A	9,12 ± 0,08 A
	11	10,54 ± 0,09 B	4,82 ± 0,12 A	18,40 ± 0,06 A	55,84 ± 0,09 A	9,21 ± 0,13 A
12	18	10,72 ± 0,09 BA	4,81 ± 0,04 A	18,30 ± 0,10 A	55,59 ± 0,03 A	9,19 ± 0,03 A
	25	10,71 ± 0,13 BA	4,85 ± 0,14 A	18,33 ± 0,12 A	55,71 ± 0,06 A	9,12 ± 0,05 A
	32	10,83 ± 0,09 A	4,89 ± 0,07 A	18,19 ± 0,10 A	55,67 ± 0,10 A	9,15 ± 0,14 A
Umidade inicial 12%						
Inicial		10,67 ± 0,31 A	4,71 ± 0,05 A	18,47 ± 0,37 A	54,56 ± 0,93 A	9,13 ± 0,17 A
	11	10,86 ± 0,04 A	4,89 ± 0,09 A	18,36 ± 0,12 A	55,69 ± 0,06 A	9,05 ± 0,12 A
12	18	10,77 ± 0,16 A	4,95 ± 0,03 A	18,25 ± 0,18 A	55,32 ± 0,09 A	9,23 ± 0,23 A
	25	10,81 ± 0,15 A	5,07 ± 0,29 A	18,38 ± 0,17 A	55,29 ± 0,44 A	9,09 ± 0,37 A
	32	10,98 ± 0,18 A	4,91 ± 0,15 A	18,60 ± 0,13 A	55,49 ± 0,40 A	8,72 ± 0,06 A
Umidade inicial 15%						
Inicial		10,73 ± 0,12 BA	4,89 ± 0,06 A	18,11 ± 0,08 B	55,78 ± 0,13 B	9,19 ± 0,12 A
	11	10,43 ± 0,06 C	4,57 ± 0,08 BC	18,27 ± 0,12 BA	55,82 ± 0,14 B	8,82 ± 0,08 B
12	18	10,50 ± 0,07 BC	4,46 ± 0,11 C	17,96 ± 0,13 B	56,17 ± 0,11 A	9,14 ± 0,18 A
	25	10,65 ± 0,03 BC	4,71 ± 0,01 BA	18,22 ± 0,01 BA	56,30 ± 0,02 A	8,66 ± 0,03 B
	32	10,93 ± 0,13 A	4,80 ± 0,03 A	18,55 ± 0,24 A	56,02 ± 0,09 BA	8,00 ± 0,09 C
Umidade inicial 18%						
Inicial		10,67 ± 0,05 A	4,73 ± 0,09 A	18,30 ± 0,07 A	55,73 ± 0,29 BA	9,06 ± 0,02 A
	11	10,83 ± 0,16 A	4,84 ± 0,10 A	18,41 ± 0,40 A	55,61 ± 0,49 BA	8,96 ± 0,13 BA
12	18	10,59 ± 0,51 A	4,81 ± 0,09 A	20,29 ± 1,98 A	54,45 ± 1,06 B	8,55 ± 0,19 CD
	25	10,75 ± 0,08 A	5,01 ± 0,14 A	18,32 ± 0,06 A	55,91 ± 0,11 A	8,73 ± 0,05 BC
	32	10,80 ± 0,11 A	4,95 ± 0,16 A	18,33 ± 0,21 A	56,27 ± 0,06 A	8,28 ± 0,09 D

* Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

4.1.15 pH dos Grãos

Nas tabelas 31 e 32 estão apresentados os resultados para o pH dos grãos moídos. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 31, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 32. Pode-se verificar que com exceção dos grãos armazenados com 9% de umidade na temperatura de 11°C, o pH dos grãos (moídos) reduziu aos doze meses de armazenamento para todas as demais condições testadas, sendo que na pior condição (18% de umidade de grãos e temperatura de 32°C) o pH passou de 6,89 no início do armazenamento para 5,96 aos 12 meses. Verifica-se que altas umidades de grãos (18%) em altas temperaturas (32°C) intensificam a redução do pH.

Rehman, Habib, Zafar (2002), armazenando grãos de milho em três condições de temperatura, verificaram redução do pH dos grãos ao final dos seis meses de armazenamento nas temperaturas de 25 e 35°C. A redução no pH dos grãos pode ser atribuída, ao aumento da acidez lipídica conforme verificado nas tabelas 20 e 21, e da lixiviação de íons de hidrogênio a partir do interior das células de grãos devido a possíveis danos celulares.

Tabela 31 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o pH dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 6,89 ± 0,07 a*	A 6,88 ± 0,01 a	A 6,83 ± 0,02 a	A 6,79 ± 0,00 a
18	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,87 ± 0,01 a	A 6,82 ± 0,02 ba	B 6,75 ± 0,00 b
25	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,85 ± 0,02 ba	B 6,76 ± 0,01 bc	B 6,71 ± 0,00 c
32	A 6,89 ± 0,07 a	B 6,78 ± 0,04 ba	C 6,67 ± 0,02 bc	C 6,64 ± 0,02 c
Umidade inicial 12%				
11	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,82 ± 0,02 ba	A 6,80 ± 0,01 ba	A 6,76 ± 0,00 b
18	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,81 ± 0,05 a	A 6,78 ± 0,03 ba	B 6,65 ± 0,03 b
25	A 6,89 ± 0,07 a	BA 6,78 ± 0,02 ba	A 6,73 ± 0,04 b	B 6,61 ± 0,00 c
32	A 6,89 ± 0,07 a	B 6,68 ± 0,04 b	B 6,49 ± 0,01 c	C 6,42 ± 0,00 c
Umidade inicial 15%				
11	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,77 ± 0,01 b	A 6,71 ± 0,01 bc	A 6,64 ± 0,01 c
18	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,74 ± 0,08 ba	B 6,64 ± 0,00 bc	B 6,56 ± 0,02 c
25	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,70 ± 0,03 b	C 6,51 ± 0,01 c	C 6,40 ± 0,01 c
32	A 6,89 ± 0,07 a	B 6,53 ± 0,04 b	D 6,21 ± 0,01 c	D 6,06 ± 0,01 d
Umidade inicial 18%				
11	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,75 ± 0,03 b	A 6,55 ± 0,02 c	A 6,44 ± 0,00 c
18	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,68 ± 0,02 b	B 6,36 ± 0,02 c	B 6,23 ± 0,06 c
25	A 6,89 ± 0,07 a	B 6,55 ± 0,01 b	C 6,19 ± 0,02 c	C 6,15 ± 0,01 c
32	A 6,89 ± 0,07 a	C 6,28 ± 0,05 b	C 6,16 ± 0,01 b	C 5,96 ± 0,01 c

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 32 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre o pH dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 6,89 ± 0,07 a*	A 6,88 ± 0,01 a	A 6,83 ± 0,02 a	A 6,79 ± 0,00 a
12	A 6,89 ± 0,07 a	BA 6,82 ± 0,02 ba	A 6,80 ± 0,01 ba	A 6,76 ± 0,00 b
15	A 6,89 ± 0,07 a	BC 6,77 ± 0,01 b	B 6,71 ± 0,01 bc	B 6,64 ± 0,01 c
18	A 6,89 ± 0,07 a	C 6,75 ± 0,03 b	C 6,55 ± 0,02 c	C 6,44 ± 0,00 c
Temperatura de 18°C				
9	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,87 ± 0,01 a	A 6,82 ± 0,02 ba	A 6,75 ± 0,00 b
12	A 6,89 ± 0,07 a	BA 6,81 ± 0,05 a	A 6,78 ± 0,03 ba	BA 6,65 ± 0,03 b
15	A 6,89 ± 0,07 a	B 6,74 ± 0,08 ba	B 6,64 ± 0,00 bc	B 6,56 ± 0,02 c
18	A 6,89 ± 0,07 a	B 6,68 ± 0,02 b	C 6,36 ± 0,02 c	C 6,23 ± 0,06 c
Temperatura de 25°C				
9	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,85 ± 0,02 ba	A 6,76 ± 0,01 bc	A 6,71 ± 0,00 c
12	A 6,89 ± 0,07 a	B 6,78 ± 0,02 ba	A 6,73 ± 0,04 b	B 6,61 ± 0,00 c
15	A 6,89 ± 0,07 a	C 6,70 ± 0,03 b	B 6,51 ± 0,01 c	C 6,40 ± 0,01 c
18	A 6,89 ± 0,07 a	D 6,55 ± 0,01 b	C 6,19 ± 0,02 c	D 6,15 ± 0,01 c
Temperatura de 32°C				
9	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,78 ± 0,04 ba	A 6,67 ± 0,02 bc	A 6,64 ± 0,02 c
12	A 6,89 ± 0,07 a	A 6,68 ± 0,04 b	B 6,49 ± 0,01 c	B 6,42 ± 0,00 c
15	A 6,89 ± 0,07 a	B 6,53 ± 0,04 b	C 6,21 ± 0,01 c	C 6,06 ± 0,01 d
18	A 6,89 ± 0,07 a	C 6,28 ± 0,05 b	D 6,16 ± 0,01 b	D 5,96 ± 0,01 c

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.16 Açúcares redutores

Nas tabelas 33 e 34 está apresentado o comportamento do conteúdo de açúcares redutores durante o armazenamento. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 33, enquanto que os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 34. Observa-se que o aumento da umidade é determinante no aumento de açúcares redutores durante o tempo de armazenamento, com influência também da temperatura, sendo que nos grãos armazenados com 9% de umidade na temperatura 11°C, os açúcares redutores passaram dos iniciais 7,95mg de glicose.g⁻¹ para 9,88mg de glicose.g⁻¹ aos 12 meses de armazenamento, enquanto que nos grãos armazenados com 18% de umidade na temperatura de 32°C os açúcares redutores passaram para 25,09mg de glicose.g⁻¹ aos 12 meses de armazenamento.

Conforme relata Alencar et al. (2009) a condição de armazenamento de grãos de soja com 14,8% de umidade em temperatura de 40°C, é favorável ao desenvolvimento fúngico, sendo o mesmo relatado por Rani et al. (2013), no

armazenamento de grãos de feijão com 20% de umidade na temperatura de 40°C. As condições de armazenamento citadas são semelhantes às condições do presente estudo o que possibilita a presença de fungos também nesse estudo.

Dentre os possíveis fungos que podem estar presentes nos grãos de soja armazenados estão os do gênero *Aspergillus* e *penecillium*, os quais são produtores de enzimas como a α -galactosidase, conforme é relatado na literatura (SOMIARI e BALOGH, 1992; RUIZ, ACOSTA, CISNEROS, 1995). Os mesmos autores explicam que essa enzima tem capacidade de hidrolisar açúcares maiores, como oligossacarídeos de rafinose, estaquiose, entre outros, em açúcares menores, explicando o aumento dos açúcares redutores nesse experimento, devido ao possível aumento da incidência de fungos com o aumento da umidade dos grãos e da temperatura do armazenamento, aumentando assim a produção dessas enzimas e, conseqüentemente sua atividade enzimática.

Tabela 33 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre os açúcares redutores (mg de glicose.g⁻¹) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 7,95 ± 0,10 c*	A 8,04 ± 0,42 c	A 9,07 ± 0,07 b	BA 9,88 ± 0,29 a
18	A 7,95 ± 0,10 b	A 8,18 ± 0,28 b	A 9,06 ± 0,05 a	C 8,71 ± 0,19 a
25	A 7,95 ± 0,10 c	A 8,18 ± 0,17 bc	A 9,11 ± 0,72 ba	A 10,10 ± 0,21 a
32	A 7,95 ± 0,10 b	A 8,07 ± 0,36 b	A 9,45 ± 0,03 a	BC 9,27 ± 0,41 a
Umidade inicial 12%				
11	A 7,95 ± 0,10 b	BA 8,98 ± 0,62 a	B 9,77 ± 0,03 a	C 9,29 ± 0,42 a
18	A 7,95 ± 0,10 b	B 8,31 ± 0,06 b	B 9,75 ± 0,27 a	BC 10,07 ± 0,27 a
25	A 7,95 ± 0,10 b	BA 8,80 ± 0,32 b	B 10,50 ± 0,48 a	BA 10,78 ± 0,66 a
32	A 7,95 ± 0,10 d	A 9,56 ± 0,31 c	A 12,62 ± 0,44 b	A 11,73 ± 0,27 a
Umidade inicial 15%				
11	A 7,95 ± 0,10 b	B 8,49 ± 0,94 b	C 10,86 ± 0,14 a	B 10,93 ± 0,33 a
18	A 7,95 ± 0,10 b	B 8,24 ± 0,94 b	C 11,03 ± 0,10 a	B 11,65 ± 0,39 a
25	A 7,95 ± 0,10 b	B 9,54 ± 0,20 b	B 13,31 ± 0,32 a	B 12,08 ± 1,31 a
32	A 7,95 ± 0,10 c	A 11,22 ± 0,37 b	A 17,73 ± 0,31 a	A 17,34 ± 0,47 a
Umidade inicial 18%				
11	A 7,95 ± 0,10 b	D 9,39 ± 0,18 b	C 15,25 ± 0,19 a	D 15,92 ± 1,08 a
18	A 7,95 ± 0,10 c	C 10,74 ± 0,11 b	B 19,30 ± 0,57 a	C 18,09 ± 0,73 a
25	A 7,95 ± 0,10 c	B 12,77 ± 0,44 b	A 27,45 ± 1,16 a	A 27,63 ± 0,38 a
32	A 7,95 ± 0,10 d	A 23,07 ± 0,69 c	A 27,88 ± 0,16 a	B 25,69 ± 0,13 b

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 34 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre os açúcares redutores (mg de glicose.g⁻¹) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 7,95 ± 0,10 c*	A 8,04 ± 0,42 c	D 9,07 ± 0,07 b	CB 9,88 ± 0,29 a
12	A 7,95 ± 0,10 b	A 8,98 ± 0,62 a	C 9,77 ± 0,03 a	C 9,29 ± 0,42 a
15	A 7,95 ± 0,10 b	A 8,49 ± 0,94 b	B 10,86 ± 0,14 a	B 10,93 ± 0,33 a
18	A 7,95 ± 0,10 b	A 9,39 ± 0,18 b	A 15,25 ± 0,19 a	A 15,92 ± 1,08 a
Temperatura de 18°C				
9	A 7,95 ± 0,10 b	B 8,18 ± 0,28 b	C 9,06 ± 0,05 a	D 8,71 ± 0,19 a
12	A 7,95 ± 0,10 b	B 8,31 ± 0,06 b	C 9,75 ± 0,27 a	C 10,07 ± 0,27 a
15	A 7,95 ± 0,10 b	B 8,24 ± 0,94 b	B 11,03 ± 0,10 a	B 11,65 ± 0,39 a
18	A 7,95 ± 0,10 c	A 10,74 ± 0,11 b	A 19,30 ± 0,57 a	A 18,09 ± 0,73 a
Temperatura de 25°C				
9	A 7,95 ± 0,10 c	C 8,18 ± 0,17 bc	C 9,11 ± 0,72 ba	B 10,10 ± 0,21 a
12	A 7,95 ± 0,10 b	CB 8,80 ± 0,32 b	C 10,50 ± 0,48 a	B 10,78 ± 0,66 a
15	A 7,95 ± 0,10 b	B 9,54 ± 0,20 b	B 13,31 ± 0,32 a	B 12,08 ± 1,31 a
18	A 7,95 ± 0,10 c	A 12,77 ± 0,44 b	A 27,45 ± 1,16 a	A 27,63 ± 0,38 a
Temperatura de 32°C				
9	A 7,95 ± 0,10 b	D 8,07 ± 0,36 b	D 9,45 ± 0,03 a	D 9,27 ± 0,41 a
12	A 7,95 ± 0,10 d	C 9,56 ± 0,31 c	C 12,62 ± 0,44 a	C 11,73 ± 0,27 b
15	A 7,95 ± 0,10 c	B 11,22 ± 0,37 b	B 17,73 ± 0,31 a	B 17,34 ± 0,47 a
18	A 7,95 ± 0,10 d	A 23,07 ± 0,69 c	A 27,88 ± 0,16 a	A 25,69 ± 0,13 b

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4.1.17 Teor de cinzas

Os resultados do teor de cinzas estão apresentados nas tabelas 35 e 36. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 35, enquanto que os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 36. Observa-se que nas umidades de grãos de 9% o teor de cinzas se manteve inalterado ao longo do tempo para as quatro temperaturas testadas, já na umidade de 12% na temperatura 32°C, houve aumento aos 12 meses de armazenamento, sendo observado aumento também nos grãos armazenados com 15% de umidade nas temperaturas de 18, 25 e 32°C e para os grãos armazenados com 18% de umidade nas quatro temperaturas de armazenamento testadas. De forma geral, a umidade dos grãos apresentam maiores influências no teor de cinzas do que a temperatura de armazenamento.

O aumento no teor de cinzas é considerado um aumento proporcional, pois os demais componentes majoritários dos grãos, como proteínas (Tabelas 12 e 13) e

lipídios, (Tabelas 18 e 19) diminuíram pelo metabolismo dos grãos e dos microrganismos associados que consomem os materiais orgânicos, produzindo gás carbônico, água, calor e outros produtos. Os resultados são similares com Deliberali et al. (2010) que encontraram aumento no teor de minerais durante o armazenamento de trigo, e atribuíram a degradação da fração orgânica.

Tabela 35 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de cinzas (% em base seca) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 5,11 ± 0,05 a*	A 5,14 ± 0,03 a	A 5,11 ± 0,03 a	A 5,16 ± 0,06 a
18	A 5,11 ± 0,05 a	A 5,12 ± 0,02 a	A 5,12 ± 0,07 a	A 5,20 ± 0,03 a
25	A 5,11 ± 0,05 a	A 5,12 ± 0,01 a	A 5,12 ± 0,07 a	A 5,20 ± 0,09 a
32	A 5,11 ± 0,05 a	A 5,12 ± 0,04 a	A 5,15 ± 0,03 a	A 5,19 ± 0,07 a
Umidade inicial 12%				
11	A 5,11 ± 0,05 a	A 5,13 ± 0,01 a	A 5,12 ± 0,03 a	A 5,15 ± 0,03 a
18	A 5,11 ± 0,05 a	A 5,10 ± 0,08 a	A 5,15 ± 0,03 a	A 5,21 ± 0,07 a
25	A 5,11 ± 0,05 a	A 5,15 ± 0,06 a	A 5,15 ± 0,05 a	A 5,18 ± 0,03 a
32	A 5,11 ± 0,05 b	A 5,14 ± 0,05 ba	A 5,18 ± 0,05 ba	A 5,24 ± 0,01 a
Umidade inicial 15%				
11	A 5,11 ± 0,05 a	A 5,12 ± 0,09 a	B 5,16 ± 0,07 a	B 5,16 ± 0,07 a
18	A 5,11 ± 0,05 b	A 5,13 ± 0,02 b	B 5,19 ± 0,01 b	BA 5,43 ± 0,16 a
25	A 5,11 ± 0,05 b	A 5,14 ± 0,02 b	BA 5,23 ± 0,02 b	A 5,58 ± 0,09 a
32	A 5,11 ± 0,05 c	A 5,17 ± 0,02 c	A 5,35 ± 0,04 b	A 5,59 ± 0,04 a
Umidade inicial 18%				
11	A 5,11 ± 0,05 c	B 5,17 ± 0,05 cb	C 5,28 ± 0,05 b	B 5,49 ± 0,04 a
18	A 5,11 ± 0,05 c	BA 5,29 ± 0,08 b	CB 5,43 ± 0,03 b	B 5,63 ± 0,08 a
25	A 5,11 ± 0,05 c	BA 5,33 ± 0,12 b	B 5,48 ± 0,06 b	A 6,05 ± 0,07 a
32	A 5,11 ± 0,05 d	A 5,44 ± 0,09 c	A 5,74 ± 0,09 b	A 6,05 ± 0,04 a

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 36 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de cinzas (% em base seca) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 5,11 ± 0,05 a*	A 5,14 ± 0,03 a	B 5,11 ± 0,03 a	B 5,16 ± 0,06 a
12	A 5,11 ± 0,05 a	A 5,13 ± 0,01 a	B 5,12 ± 0,03 a	B 5,15 ± 0,03 a
15	A 5,11 ± 0,05 b	A 5,12 ± 0,09 b	BA 5,16 ± 0,07 b	A 5,38 ± 0,03 a
18	A 5,11 ± 0,05 c	A 5,17 ± 0,05 cb	A 5,28 ± 0,05 b	A 5,49 ± 0,04 a
Temperatura de 18°C				
9	A 5,11 ± 0,05 a	B 5,12 ± 0,02 a	B 5,12 ± 0,07 a	B 5,20 ± 0,03 a
12	A 5,11 ± 0,05 a	B 5,10 ± 0,08 a	B 5,15 ± 0,03 a	B 5,21 ± 0,07 a
15	A 5,11 ± 0,05 b	B 5,13 ± 0,02 b	B 5,19 ± 0,01 b	BA 5,43 ± 0,16 a
18	A 5,11 ± 0,05 c	A 5,29 ± 0,08 b	A 5,43 ± 0,03 b	A 5,63 ± 0,08 a
Temperatura de 25°C				
9	A 5,11 ± 0,05 a	B 5,12 ± 0,01 a	B 5,12 ± 0,07 a	C 5,20 ± 0,09 a
12	A 5,11 ± 0,05 a	BA 5,15 ± 0,06 a	B 5,15 ± 0,05 a	C 5,18 ± 0,03 a
15	A 5,11 ± 0,05 b	BA 5,14 ± 0,02 b	B 5,23 ± 0,02 b	B 5,58 ± 0,09 a
18	A 5,11 ± 0,05 c	A 5,33 ± 0,12 b	A 5,48 ± 0,06 b	A 6,05 ± 0,07 a
Temperatura de 32°C				
9	A 5,11 ± 0,05 a	B 5,12 ± 0,04 a	C 5,15 ± 0,03 a	C 5,19 ± 0,07 a
12	A 5,11 ± 0,05 b	B 5,14 ± 0,05 ba	C 5,18 ± 0,05 ba	C 5,24 ± 0,01 a
15	A 5,11 ± 0,05 c	B 5,17 ± 0,02 c	B 5,35 ± 0,04 b	B 5,59 ± 0,04 a
18	A 5,11 ± 0,05 d	A 5,44 ± 0,09 c	A 5,74 ± 0,09 b	A 6,05 ± 0,04 a

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.2 Metabólitos

4.2.1 Teor de compostos fenólicos livres

Nas tabelas 37 e 38 estão apresentados os resultados obtidos para o teor de compostos fenólicos livres. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 37, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 38. Observa-se que ocorreu um aumento no conteúdo de compostos fenólicos livres ao longo do armazenamento, independente das condições de armazenamento testadas, sendo que o armazenamento com umidade de 18% associado com temperaturas de 25 e 32°C proporcionaram a identificação dos maiores teores, passando de 7,93 para 12,89mg de ácido gálico.g⁻¹, aos 8 meses de armazenamento.

Observa-se que aos 12 meses de armazenamento, com exceção dos grãos armazenados na temperatura de 11°C, que se mantiveram inalterados, os demais

apresentaram uma pequena redução no teor de compostos fenólicos. De forma geral, verifica-se que a umidade dos grãos apresenta maiores influências sobre os compostos fenólicos livres do que a temperatura.

Alguns estudos com caracterização de compostos fenólicos são reportados na literatura. Kumar et al. (2010) analisando compostos fenólicos em diversas cultivares de soja encontraram variações de 1,06 a 5,89mg de ácido gálico.g⁻¹, enquanto Jeng et al. (2010), encontraram valores que variaram de 4,38 a 7,49mg de ácido gálico.g⁻¹, na caracterização de três cultivares de soja preta. Essas variações são explicadas por variações na cultivar, nas condições ambientais e de stress em que a planta é submetida durante o cultivo (OOMAH, CORBÉ, BALASUBRAMANIAN, 2010). Rios, Abreu e Corrêa (2003) verificaram aumento no conteúdo de compostos fenólicos ao sexto mês de armazenamento de feijão em temperatura ambiente, porém não explicam a causa do aumento.

Alguns relatos da literatura podem ajudar a explicar esses aumentos. John et al. (2013), infectaram grãos de soja com inóculo de *Aspergillus Sojae* cultivadas em meio de cultura específico, e avaliaram o armazenamento dos grãos infectados durante sete dias em temperatura de 26°C e observaram aumento no conteúdo de alguns aminoácidos aromáticos, como a fenilalanina, tirosina, alanina e ácido glutâmico.

A fenilalanina se constitui num precursor de metabólitos secundários. Com auxílio de enzimas como fenilalanina amônia liase, responsáveis pela biossíntese de compostos fenólicos, juntamente com condições de armazenamento que causam “stress” fisiológico aos grãos (altas umidades de grãos com elevadas temperaturas), proporcionam aumento no conteúdo de compostos fenólicos ao longo do tempo de armazenamento, conforme resultados verificados por John et al. (2013). Simons et al. (2011) também verificaram aumento no conteúdo de fenilalanina em grãos infectados com fungos.

Tabela 37 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre os compostos fenólicos livres (mg ácido gálico.g⁻¹) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 7,15 ± 0,62 c*	B 7,96 ± 0,22 b	A 9,34 ± 0,20 a	A 9,50 ± 0,24 a
18	A 7,15 ± 0,62 d	B 7,93 ± 0,12 c	A 9,43 ± 0,06 a	B 8,99 ± 0,10 b
25	A 7,15 ± 0,62 c	A 8,91 ± 0,34 b	A 9,54 ± 0,15 a	B 8,70 ± 0,09 b
32	A 7,15 ± 0,62 c	B 8,21 ± 0,14 b	A 9,55 ± 0,23 a	C 7,71 ± 0,25 b
Umidade inicial 12%				
11	A 7,21 ± 0,24 b	A 8,91 ± 0,20 a	B 9,71 ± 0,18 a	A 8,92 ± 0,66 a
18	A 7,21 ± 0,24 b	A 9,32 ± 0,35 a	B 9,69 ± 0,13 a	B 7,22 ± 0,29 b
25	A 7,21 ± 0,24 c	A 8,82 ± 0,46 b	A 10,78 ± 0,12 a	B 7,54 ± 0,21 c
32	A 7,21 ± 0,24 c	A 8,66 ± 0,54 b	A 10,99 ± 0,07 a	A 9,09 ± 0,57 b
Umidade inicial 15%				
11	A 7,30 ± 0,31 c	A 9,04 ± 0,35 a	D 9,55 ± 0,04 ba	BC 10,03 ± 0,12 a
18	A 7,30 ± 0,31 c	A 8,90 ± 0,46 b	C 11,04 ± 0,18 a	C 9,41 ± 0,42 b
25	A 7,30 ± 0,31 d	A 8,93 ± 0,67 c	B 11,80 ± 0,35 a	BA 10,52 ± 0,24 b
32	A 7,30 ± 0,31 c	A 10,04 ± 0,76 b	A 12,51 ± 0,16 a	A 10,92 ± 0,39 b
Umidade inicial 18%				
11	A 7,93 ± 0,55 c	C 9,35 ± 0,13 b	C 10,84 ± 0,05 a	BA 10,68 ± 0,85 ba
18	A 7,93 ± 0,55 c	C 9,26 ± 0,06 b	D 10,30 ± 0,14 ba	B 10,48 ± 0,70 a
25	A 7,93 ± 0,55 c	B 10,83 ± 0,65 b	A 12,89 ± 0,11 a	A 12,38 ± 0,24 a
32	A 7,93 ± 0,55 c	A 12,12 ± 0,66 a	B 12,11 ± 0,17 a	B 10,29 ± 0,64 b

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 38 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre os compostos fenólicos livres (mg ácido gálico.g⁻¹) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante oito meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 7,15 ± 0,62 c*	B 7,96 ± 0,22 b	B 9,34 ± 0,20 a	BA 9,50 ± 0,24 a
12	A 7,21 ± 0,24 b	A 8,91 ± 0,20 a	B 9,71 ± 0,18 a	B 8,92 ± 0,66 a
15	A 7,30 ± 0,31 c	A 9,04 ± 0,35 b	B 9,55 ± 0,04 ba	BA 10,03 ± 0,12 a
18	A 7,93 ± 0,55 c	A 9,35 ± 0,13 b	A 10,84 ± 0,05 a	A 10,68 ± 0,85 ba
Temperatura de 18°C				
9	A 7,15 ± 0,62 d	B 7,93 ± 0,12 c	C 9,43 ± 0,06 a	B 8,99 ± 0,10 b
12	A 7,21 ± 0,24 b	A 9,32 ± 0,35 a	C 9,69 ± 0,13 a	C 7,22 ± 0,29 b
15	A 7,30 ± 0,31 c	A 8,90 ± 0,46 b	A 11,04 ± 0,18 a	BA 9,41 ± 0,42 b
18	A 7,93 ± 0,55 c	A 9,26 ± 0,06 b	B 10,30 ± 0,14 ba	A 10,48 ± 0,70 a
Temperatura de 25°C				
9	A 7,15 ± 0,62 c	B 8,91 ± 0,34 b	D 9,54 ± 0,15 a	C 8,70 ± 0,09 b
12	A 7,21 ± 0,24 c	B 8,82 ± 0,46 b	C 10,78 ± 0,12 a	D 7,54 ± 0,21 c
15	A 7,30 ± 0,31 d	B 8,93 ± 0,67 c	B 11,80 ± 0,35 a	B 10,52 ± 0,24 b
18	A 7,93 ± 0,55 c	A 10,83 ± 0,65 b	A 12,89 ± 0,11 a	A 12,38 ± 0,24 a
Temperatura de 32°C				
9	A 7,15 ± 0,62 c	C 8,21 ± 0,14 b	C 9,55 ± 0,23 a	C 7,71 ± 0,25 b
12	A 7,21 ± 0,24 c	CB 8,66 ± 0,54 b	B 10,99 ± 0,07 a	B 9,07 ± 0,57 b
15	A 7,30 ± 0,31 c	B 10,04 ± 0,76 b	A 12,51 ± 0,16 a	A 10,92 ± 0,39 b
18	A 7,93 ± 0,55 c	A 12,12 ± 0,66 a	A 12,11 ± 0,17 a	BA 10,29 ± 0,64 b

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4.2.2 Atividade antioxidante pelo radical ABTS dos compostos fenólicos livres

Nas tabelas 39 e 40 estão apresentados os resultados obtidos para atividade antioxidante pelo radical ABTS dos compostos fenólicos livres. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 39, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 40. Observa-se que houve aumento na atividade antioxidante, sendo que os maiores índices são detectados aos 8 meses de armazenamento para todas as condições testadas, havendo reduções a partir daí. O comportamento é análogo ao observado compostos fenólicos livres, verifica-se um comportamento semelhante, com os maiores teores identificados aos 8 meses de armazenamento, com posterior redução aos 12 meses.

No armazenamento com umidades elevadas (18%) associado com o aumento da temperatura de armazenamento, a probabilidade de incidência fúngica é aumentada, sendo os fungos do gênero *Aspergillus* e *penecillium* os mais encontrados, conforme relatado anteriormente. Esses fungos podem produzir a

enzima β -glicosidase, a qual tem capacidade de hidrolisar as isoflavonas, transformando as isoflavonas glicosídicas em isoflavonas agliconas, as quais possuem maior bioatividade, conforme relatos da literatura (KAWAKAMI et al., 2005; NIELSEN e WILLIAMSON, 2007), aumentando assim a atividade antioxidante. John et al. (2013), relataram aumento da atividade antioxidante no armazenamento de grãos de soja durante sete dias, incubados com o fungo *Aspergillus Sojae* e atribuíram o aumento da atividade antioxidante, ao aumento de compostos fenólicos.

A redução da atividade antioxidante aos 12 meses de armazenamento pode ser devido ao uso dessa bioatividade dos compostos para a preservação dos demais constituintes majoritários presentes nos grãos, como as proteínas e os lipídios, os quais já estão em um grau mais avançado de degradação.

Tabela 39 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a atividade antioxidante pelo radical ABTS ($\text{mg de trolox.g}^{-1}$) dos compostos fenólicos livres dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 1,88 \pm 0,08 b*	BA 2,05 \pm 0,08 a	C 2,08 \pm 0,03 a	BC 1,29 \pm 0,05 c
18	A 1,88 \pm 0,08 b	B 1,98 \pm 0,04 b	C 2,14 \pm 0,09 a	BA 1,37 \pm 0,02 c
25	A 1,88 \pm 0,08 b	A 2,16 \pm 0,07 a	B 2,28 \pm 0,05 a	C 1,13 \pm 0,16 c
32	A 1,88 \pm 0,08 c	A 2,19 \pm 0,06 b	A 2,40 \pm 0,02 a	A 1,49 \pm 0,04 d
Umidade inicial 12%				
11	A 1,87 \pm 0,04 c	A 2,13 \pm 0,08 b	BC 2,35 \pm 0,05 a	BC 1,40 \pm 0,05 d
18	A 1,87 \pm 0,04 c	A 2,15 \pm 0,09 b	C 2,29 \pm 0,04 a	B 1,47 \pm 0,06 d
25	A 1,87 \pm 0,04 c	A 2,10 \pm 0,07 b	BA 2,46 \pm 0,09 a	C 1,28 \pm 0,03 d
32	A 1,87 \pm 0,04 c	A 2,13 \pm 0,05 b	A 2,52 \pm 0,06 a	A 1,91 \pm 0,06 c
Umidade inicial 15%				
11	A 1,87 \pm 0,06 c	BA 2,05 \pm 0,10 b	C 2,20 \pm 0,04 a	C 1,38 \pm 0,03 d
18	A 1,87 \pm 0,06 b	B 1,96 \pm 0,06 b	C 2,26 \pm 0,06 a	C 1,44 \pm 0,05 c
25	A 1,87 \pm 0,06 c	BA 2,04 \pm 0,07 b	B 2,45 \pm 0,07 a	B 1,66 \pm 0,05 d
32	A 1,87 \pm 0,06 c	A 2,18 \pm 0,06 b	A 2,80 \pm 0,04 a	A 1,78 \pm 0,03 c
Umidade inicial 18%				
11	A 1,89 \pm 0,06 b	C 1,94 \pm 0,07 b	A 2,19 \pm 0,08 a	C 1,19 \pm 0,07 c
18	A 1,89 \pm 0,06 b	BC 2,03 \pm 0,06 ba	A 2,19 \pm 0,12 a	B 1,51 \pm 0,09 c
25	A 1,89 \pm 0,06 b	BA 2,16 \pm 0,05 a	A 2,20 \pm 0,13 a	A 1,84 \pm 0,06 b
32	A 1,89 \pm 0,06 b	A 2,27 \pm 0,08 a	A 2,33 \pm 0,11 a	A 1,72 \pm 0,04 b

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 40 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre a atividade antioxidante pelo radical ABTS ($\text{mg de trolox.g}^{-1}$) dos compostos fenólicos livres dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 1,88 ± 0,08 b*	BA 2,05 ± 0,08 a	C 2,08 ± 0,03 a	BA 1,29 ± 0,05 c
12	A 1,87 ± 0,04 c	A 2,13 ± 0,08 b	A 2,35 ± 0,05 a	A 1,40 ± 0,05 d
15	A 1,87 ± 0,06 c	BA 2,05 ± 0,10 b	B 2,20 ± 0,04 a	A 1,38 ± 0,03 d
18	A 1,89 ± 0,06 b	B 1,94 ± 0,07 b	CB 2,19 ± 0,08 a	B 1,19 ± 0,07 c
Temperatura de 18°C				
9	A 1,88 ± 0,08 b	B 1,98 ± 0,04 b	A 2,14 ± 0,09 a	B 1,38 ± 0,02 c
12	A 1,87 ± 0,04 c	A 2,15 ± 0,09 b	A 2,29 ± 0,04 a	BA 1,47 ± 0,06 d
15	A 1,87 ± 0,06 b	B 1,96 ± 0,06 b	A 2,26 ± 0,06 a	BA 1,44 ± 0,05 c
18	A 1,89 ± 0,06 b	BA 2,03 ± 0,06 ba	A 2,19 ± 0,12 a	A 1,51 ± 0,09 c
Temperatura de 25°C				
9	A 1,88 ± 0,08 b	A 2,16 ± 0,07 a	BA 2,28 ± 0,05 a	B 1,13 ± 0,16 c
12	A 1,87 ± 0,04 c	A 2,10 ± 0,07 b	A 2,46 ± 0,09 a	B 1,28 ± 0,03 d
15	A 1,87 ± 0,06 c	A 2,04 ± 0,07 b	A 2,45 ± 0,07 a	A 1,66 ± 0,05 d
18	A 1,89 ± 0,06 b	A 2,16 ± 0,05 a	B 2,20 ± 0,13 a	A 1,84 ± 0,06 b
Temperatura de 32°C				
9	A 1,88 ± 0,08 c	A 2,19 ± 0,06 b	CB 2,40 ± 0,02 a	C 1,49 ± 0,04 d
12	A 1,87 ± 0,04 c	A 2,13 ± 0,05 b	B 2,52 ± 0,06 a	A 1,91 ± 0,06 c
15	A 1,87 ± 0,06 c	A 2,18 ± 0,06 b	A 2,80 ± 0,04 a	B 1,78 ± 0,03 c
18	A 1,89 ± 0,06 b	A 2,27 ± 0,08 a	C 2,33 ± 0,11 a	B 1,72 ± 0,04 b

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.2.3 Teor de compostos fenólicos ligados

Os resultados obtidos para os compostos fenólicos ligados estão apresentados nas tabelas 41 e 42. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 41, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 42. Observa-se que esses compostos se mantiveram inalterados durante o armazenamento, independente das condições de umidade e temperatura empregadas nesse estudo.

Os compostos fenólicos complexados no grão, estão ligados de forma covalente à células de componentes estruturais, tais como celulose, hemicelulose (arabinosilanas), lignina, pectina e proteínas estruturais em forma de bastonete (WONG, 2006), o que dificulta sua hidrólise ou liberação, explicando os resultados encontrados nesse estudo.

Tabela 41 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre os compostos fenólicos ligados ($\text{mg ácido gálico.g}^{-1}$) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 10,53 ± 0,13 a*	A 10,19 ± 0,56 a	A 10,17 ± 0,57 a	A 9,95 ± 0,29 a
18	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,22 ± 0,58 a	A 10,23 ± 0,60 a	A 9,74 ± 0,51 a
25	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,19 ± 0,56 a	A 10,17 ± 0,64 a	A 9,89 ± 0,51 a
32	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,22 ± 0,57 a	A 10,20 ± 0,58 a	A 10,03 ± 0,75 a
Umidade inicial 12%				
11	A 10,47 ± 0,13 a	A 10,25 ± 0,52 a	A 10,23 ± 0,60 a	A 9,66 ± 0,36 a
18	A 10,47 ± 0,13 a	A 10,28 ± 0,62 a	A 10,26 ± 0,62 a	A 9,62 ± 0,32 a
25	A 10,47 ± 0,13 a	A 10,20 ± 0,56 a	A 10,14 ± 0,55 a	A 9,95 ± 0,43 a
32	A 10,47 ± 0,13 a	A 10,26 ± 0,51 a	A 10,12 ± 0,57 a	A 9,82 ± 0,63 a
Umidade inicial 15%				
11	A 10,56 ± 0,22 a	A 10,18 ± 0,70 a	A 10,21 ± 0,60 a	A 10,30 ± 0,38 a
18	A 10,56 ± 0,22 a	A 10,19 ± 0,56 a	A 10,17 ± 0,57 a	A 9,99 ± 0,28 a
25	A 10,56 ± 0,22 a	A 10,25 ± 0,59 a	A 10,14 ± 0,70 a	A 9,72 ± 0,21 a
32	A 10,56 ± 0,22 a	A 10,17 ± 0,55 a	A 10,15 ± 0,56 a	A 9,82 ± 0,91 a
Umidade inicial 18%				
11	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,23 ± 0,58 a	A 10,18 ± 0,58 a	A 10,28 ± 0,89 a
18	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,22 ± 0,57 a	A 10,21 ± 0,61 a	A 10,73 ± 0,57 a
25	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,23 ± 0,49 a	A 10,24 ± 0,65 a	A 9,96 ± 0,46 a
32	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,27 ± 0,67 a	A 10,33 ± 0,70 a	A 10,43 ± 0,55 a

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 42 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre os compostos fenólicos ligados ($\text{mg ácido gálico.g}^{-1}$) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 10,53 ± 0,13 a*	A 10,19 ± 0,56 a	A 10,17 ± 0,57 a	A 9,95 ± 0,29 a
12	A 10,47 ± 0,13 a	A 10,25 ± 0,52 a	A 10,23 ± 0,60 a	A 9,66 ± 0,36 a
15	A 10,56 ± 0,22 a	A 10,18 ± 0,70 a	A 10,21 ± 0,60 a	A 10,30 ± 0,38 a
18	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,23 ± 0,58 a	A 10,18 ± 0,58 a	A 10,28 ± 0,89 a
Temperatura de 18°C				
9	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,22 ± 0,58 a	A 10,23 ± 0,60 a	A 9,74 ± 0,51 a
12	A 10,47 ± 0,13 a	A 10,28 ± 0,62 a	A 10,26 ± 0,62 a	A 9,62 ± 0,32 a
15	A 10,56 ± 0,22 a	A 10,19 ± 0,56 a	A 10,17 ± 0,57 a	A 9,99 ± 0,28 a
18	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,22 ± 0,57 a	A 10,21 ± 0,61 a	A 10,13 ± 0,59 a
Temperatura de 25°C				
9	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,19 ± 0,56 a	A 10,17 ± 0,64 a	A 9,89 ± 0,75 a
12	A 10,47 ± 0,13 a	A 10,20 ± 0,56 a	A 10,14 ± 0,55 a	A 9,95 ± 0,43 a
15	A 10,56 ± 0,22 a	A 10,25 ± 0,59 a	A 10,14 ± 0,70 a	A 9,72 ± 0,21 a
18	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,23 ± 0,49 a	A 10,24 ± 0,65 a	A 9,96 ± 0,46 a
Temperatura de 32°C				
9	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,22 ± 0,57 a	A 10,20 ± 0,58 a	A 10,03 ± 0,75 a
12	A 10,47 ± 0,13 a	A 10,26 ± 0,51 a	A 10,12 ± 0,57 a	A 9,82 ± 0,63 a
15	A 10,56 ± 0,22 a	A 10,17 ± 0,55 a	A 10,15 ± 0,56 a	A 9,82 ± 0,91 a
18	A 10,53 ± 0,13 a	A 10,27 ± 0,67 a	A 10,33 ± 0,70 a	A 10,43 ± 0,55 a

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições \pm desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.2.4 Atividade antioxidante pelo radical ABTS dos compostos fenólicos ligados

Nas tabelas 43 e 44 são apresentados os resultados da atividade antioxidante dos compostos fenólicos ligados. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 43, enquanto os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 44. Observa-se que a atividade antioxidante dos compostos fenólicos ligados se manteve inalterada durante o tempo, sem influência das condições de armazenamento. O comportamento desses compostos pode ser explicado pelo fato dos compostos fenólicos ligados também se manterem inalterados durante o tempo, sem influência das condições de armazenamento.

Observa-se que a atividade antioxidante dos compostos fenólicos ligados é menor que a dos compostos fenólicos livres, mesmo com a maior quantidade desses fenóis, devido ao fato desses compostos estarem complexados com outras

estruturas maiores de parede como celulose, hemicelulose, lignina e proteínas estruturais.

Tabela 43 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre a atividade antioxidante pelo radical ABTS ($\text{mg de trolox.g}^{-1}$) dos compostos fenólicos ligados dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 0,93 ± 0,05 a*	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,92 ± 0,05 a	A 0,90 ± 0,04 a
18	A 0,93 ± 0,05 a	A 0,92 ± 0,04 a	A 0,91 ± 0,08 a	A 0,93 ± 0,06 a
25	A 0,93 ± 0,05 a	A 0,92 ± 0,04 a	A 0,94 ± 0,03 a	A 0,91 ± 0,06 a
32	A 0,93 ± 0,05 a	A 0,89 ± 0,04 a	A 0,89 ± 0,03 a	A 0,91 ± 0,03 a
Umidade inicial 12%				
11	A 0,92 ± 0,06 a	A 0,89 ± 0,03 a	A 0,92 ± 0,05 a	A 0,89 ± 0,05 a
18	A 0,92 ± 0,06 a	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,92 ± 0,05 a	A 0,90 ± 0,02 a
25	A 0,92 ± 0,06 a	A 0,93 ± 0,06 a	A 0,91 ± 0,03 a	A 0,90 ± 0,04 a
32	A 0,92 ± 0,06 a	A 0,91 ± 0,01 a	A 0,94 ± 0,03 a	A 0,89 ± 0,03 a
Umidade inicial 15%				
11	A 0,95 ± 0,07 a	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,93 ± 0,06 a	A 0,89 ± 0,07 a
18	A 0,95 ± 0,07 a	A 0,92 ± 0,01 a	A 0,94 ± 0,03 a	A 0,91 ± 0,02 a
25	A 0,95 ± 0,07 a	A 0,93 ± 0,06 a	A 0,94 ± 0,03 a	A 0,89 ± 0,05 a
32	A 0,95 ± 0,07 a	A 0,89 ± 0,04 a	A 0,95 ± 0,02 a	A 0,91 ± 0,02 a
Umidade inicial 18%				
11	A 0,92 ± 0,03 a	A 0,92 ± 0,01 a	A 0,93 ± 0,09 a	A 0,90 ± 0,01 a
18	A 0,92 ± 0,03 a	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,94 ± 0,07 a	A 0,89 ± 0,00 a
25	A 0,92 ± 0,03 a	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,91 ± 0,07 a	A 0,89 ± 0,03 a
32	A 0,92 ± 0,03 a	A 0,90 ± 0,03 a	A 0,92 ± 0,04 a	A 0,89 ± 0,02 a

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 44 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre a atividade antioxidante pelo radical ABTS (mg de trolox.g⁻¹) dos compostos fenólicos ligados dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 0,93 ± 0,05 a*	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,92 ± 0,05 a	A 0,90 ± 0,04 a
12	A 0,92 ± 0,06 a	A 0,89 ± 0,03 a	A 0,92 ± 0,05 a	A 0,89 ± 0,05 a
15	A 0,95 ± 0,07 a	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,93 ± 0,06 a	A 0,89 ± 0,07 a
18	A 0,92 ± 0,03 a	A 0,92 ± 0,01 a	A 0,93 ± 0,09 a	A 0,90 ± 0,01 a
Temperatura de 18°C				
9	A 0,93 ± 0,05 a	A 0,92 ± 0,04 a	A 0,91 ± 0,08 a	A 0,93 ± 0,06 a
12	A 0,92 ± 0,06 a	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,92 ± 0,05 a	A 0,90 ± 0,04 a
15	A 0,95 ± 0,07 a	A 0,92 ± 0,01 a	A 0,94 ± 0,03 a	A 0,91 ± 0,02 a
18	A 0,92 ± 0,03 a	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,94 ± 0,07 a	A 0,89 ± 0,00 a
Temperatura de 25°C				
9	A 0,93 ± 0,05 a	A 0,92 ± 0,04 a	A 0,94 ± 0,03 a	A 0,91 ± 0,06 a
12	A 0,92 ± 0,06 a	A 0,93 ± 0,06 a	A 0,91 ± 0,03 a	A 0,90 ± 0,04 a
15	A 0,95 ± 0,07 a	A 0,93 ± 0,06 a	A 0,94 ± 0,03 a	A 0,90 ± 0,04 a
18	A 0,92 ± 0,03 a	A 0,90 ± 0,02 a	A 0,91 ± 0,07 a	A 0,89 ± 0,03 a
Temperatura de 32°C				
9	A 0,93 ± 0,05 a	A 0,89 ± 0,04 a	A 0,89 ± 0,03 a	A 0,91 ± 0,03 a
12	A 0,92 ± 0,06 a	A 0,91 ± 0,01 a	A 0,94 ± 0,03 a	A 0,89 ± 0,03 a
15	A 0,95 ± 0,07 a	A 0,89 ± 0,04 a	A 0,95 ± 0,02 a	A 0,91 ± 0,02 a
18	A 0,92 ± 0,03 a	A 0,90 ± 0,03 a	A 0,92 ± 0,04 a	A 0,89 ± 0,02 a

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4.2.5 Teor de carotenoides totais

Os resultados encontrados para os teores de carotenoides estão apresentados nas tabelas 45 e 46. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 45, enquanto que os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 46.

Observa-se ao início que os teor de carotenoides totais diminuem com a redução da umidade dos grãos, o que é consequência do tempo maior de exposição dos grãos ao ar de secagem para redução da umidade dos mesmos até as umidades de estudo.

Inicialmente o teor de carotenoides apresentou uma média de 23mg de β-caroteno.g⁻¹ de óleo, diminuindo até os 10,31mg de β-caroteno.g⁻¹ de óleo, aos doze meses, nos grãos armazenados com 18% de umidade na temperatura de 32°C, enquanto que nos grãos armazenados com 12% de umidade na temperatura de

11°C, mantiveram-se os maiores níveis, com 22,28mg de β -caroteno.g⁻¹ de óleo, aos 12 meses.

A temperatura (Tabela 45) de armazenamento apresenta maiores influências sobre o teor de carotenoides do que a umidade (Tabela 46), mostrando que os carotenoides apresentam instabilidade térmica, assim como mostram estudos de Glória et al. (1993). Nonier et al. (2004) ao estudarem os efeitos da temperatura e da luz na degradação de carotenoides, concluíram que em temperatura ambiente e na ausência da luz, a velocidade de degradação é lenta, porém à medida em que eleva-se a temperatura, ocorre um aumento da velocidade de degradação, reduzindo o teor total de carotenoides presente nos grãos.

Os fatores que promovem a oxidação de lipídios insaturados estão diretamente ligados com a degradação de carotenoides e outras vitaminas solúveis em gorduras (JIA, KIM, MIN, 2007). Verificam-se comportamentos análogos entre degradação de carotenoides e degradação dos lipídios, conforme verificado nas tabelas 22 a 27. Também em relação variação na coloração dos grãos (Tabelas 10 e 11) o mesmo comportamento foi observado.

Tabela 45 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de carotenoides (mg de β -caroteno.100g⁻¹ de óleo) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 21,99 ± 0,01 a*	A 21,99 ± 0,13 a	A 21,66 ± 0,25 a	A 21,69 ± 0,56 a
18	A 21,99 ± 0,01 a	BA 21,91 ± 0,16 a	A 21,56 ± 0,68 a	A 21,43 ± 0,18 a
25	A 21,99 ± 0,01 a	BA 21,43 ± 0,64 a	A 21,25 ± 0,83 a	A 21,06 ± 0,62 a
32	A 21,99 ± 0,01 a	B 20,69 ± 0,68 ba	A 20,01 ± 0,68 b	B 18,11 ± 0,27 c
Umidade inicial 12%				
11	A 22,89 ± 0,01 a	A 22,64 ± 0,40 a	A 22,62 ± 0,57 a	A 22,24 ± 0,68 a
18	A 22,89 ± 0,01 a	A 22,32 ± 0,32 a	A 22,13 ± 0,18 a	B 22,07 ± 0,85 a
25	A 22,89 ± 0,01 a	A 21,34 ± 0,70 b	B 21,19 ± 0,32 bc	C 19,76 ± 0,87 c
32	A 22,89 ± 0,01 a	A 21,20 ± 0,80 b	C 19,67 ± 0,18 c	C 12,50 ± 0,78 d
Umidade inicial 15%				
11	A 23,45 ± 0,15 a	A 22,80 ± 0,68 a	A 22,59 ± 0,20 a	A 22,28 ± 1,37 a
18	A 23,45 ± 0,15 a	A 22,27 ± 0,35 a	A 22,12 ± 0,94 a	B 18,26 ± 0,54 b
25	A 23,45 ± 0,15 a	A 22,20 ± 0,50 b	A 21,33 ± 0,32 b	B 17,79 ± 0,25 c
32	A 23,45 ± 0,15 a	A 21,24 ± 0,96 b	B 18,08 ± 0,55 c	C 9,58 ± 0,56 d
Umidade inicial 18%				
11	A 23,73 ± 0,01 a	A 22,52 ± 0,15 b	A 22,15 ± 0,54 b	A 21,19 ± 0,53 b
18	A 23,73 ± 0,01 a	BA 21,84 ± 0,57 b	B 20,60 ± 0,86 bc	B 19,31 ± 0,16 c
25	A 23,73 ± 0,01 a	B 21,20 ± 0,69 b	B 19,87 ± 0,15 b	C 17,45 ± 0,76 c
32	A 23,73 ± 0,01 a	C 19,21 ± 0,25 b	C 17,61 ± 0,10 c	D 10,31 ± 0,37 d

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 46 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de carotenoides (mg de β -caroteno.100g⁻¹ de óleo) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	D 21,99 ± 0,01 a*	A 21,99 ± 0,13 a	A 21,66 ± 0,25 a	A 21,69 ± 0,56 a
12	C 22,89 ± 0,01 a	A 22,64 ± 0,40 a	A 22,62 ± 0,57 a	A 22,24 ± 0,68 a
15	B 23,45 ± 0,15 a	A 22,80 ± 0,68 a	A 22,59 ± 0,20 a	A 22,28 ± 1,37 a
18	A 23,73 ± 0,01 a	A 22,52 ± 0,15 b	A 22,15 ± 0,54 b	A 22,19 ± 0,53 b
Temperatura de 18°C				
9	D 21,99 ± 0,01 a	A 21,91 ± 0,16 a	A 21,56 ± 0,68 a	A 21,43 ± 0,18 a
12	C 22,89 ± 0,01 a	A 22,32 ± 0,32 a	A 22,13 ± 0,18 a	A 22,07 ± 0,85 a
15	B 23,45 ± 0,15 a	A 22,27 ± 0,35 a	A 22,12 ± 0,94 a	B 18,26 ± 0,54 b
18	A 23,73 ± 0,01 a	A 21,84 ± 0,57 b	A 20,60 ± 0,86 bc	B 19,31 ± 0,16 c
Temperatura de 25°C				
9	D 21,99 ± 0,01 a	A 21,43 ± 0,64 a	A 21,25 ± 0,83 a	A 21,06 ± 0,62 a
12	C 22,89 ± 0,01 a	A 21,34 ± 0,70 b	A 21,19 ± 0,32 bc	A 19,76 ± 0,87 c
15	B 23,45 ± 0,15 a	A 22,20 ± 0,50 b	A 21,33 ± 0,32 b	B 17,79 ± 0,25 c
18	A 23,73 ± 0,01 a	A 21,20 ± 0,69 b	B 19,87 ± 0,15 b	B 17,45 ± 0,76 c
Temperatura de 32°C				
9	D 21,99 ± 0,01 a	AB 20,69 ± 0,68 ba	A 20,01 ± 0,68 b	A 18,11 ± 0,27 c
12	C 22,89 ± 0,01 a	A 21,20 ± 0,80 b	A 19,67 ± 0,18 c	B 12,50 ± 0,78 d
15	B 23,45 ± 0,15 a	A 21,24 ± 0,96 b	B 18,08 ± 0,55 c	C 9,58 ± 0,56 d
18	A 23,73 ± 0,01 a	B 19,21 ± 0,25 b	B 17,61 ± 0,10 c	C 10,31 ± 0,37 d

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4.2.6 Teor de flavonoides

Os resultados encontrados para o teor de flavonoides estão apresentados nas tabelas 47 e 48. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 47, enquanto que os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 48. Observa-se que esses compostos reduziram com o tempo de armazenamento para todas as amostras independente das condições de armazenamento, sendo potencializado com o aumento da umidade e da temperatura.

Inicialmente se obteve 1,73mg de catechina.g⁻¹, sendo que aos 12 meses de armazenamento, nas piores condições (18% de umidade a 32°C de temperatura) os índices reduziram até 0,68mg de catechina.g⁻¹, enquanto que os grãos armazenados com 9% de umidade na temperatura de 11°C, foram verificadas as menores reduções, apresentando 1,19mg de catechina.g⁻¹ aos 12 meses de armazenamento. Verifica-se que a umidade dos grãos apresenta os maiores efeitos na redução do

teor de flavonoides, quando comparados com os efeitos da temperatura de armazenamento.

A literatura mostra dados variados de flavonoides para grãos de soja. Ho et al. (2002) encontraram 3,45mg de β -glicosideo.g⁻¹ na caracterização de grãos de soja, enquanto Juan e Chou (2010) encontraram 4,85mg de catequina.g⁻¹ em grãos de soja preta, da mesma forma, Malencic et al. (2008) encontraram valores de 0,27 a 0,88mg de rutina.g⁻¹ na caracterização de 20 cultivares diferentes de soja. Kim et al. (2005) verificaram redução no teor de isoflavonas durante o armazenamento de grãos de soja em temperatura ambiente. Da mesma forma Lee e Cho (2012), verificaram redução no teor de isoflavonas durante o armazenamento de cinco cultivares de soja preta durante 2 anos em temperatura ambiente. Sabendo que a maioria dos flavonoides presentes nos grãos são isoflavonas, a degradação das mesmas durante o armazenamento explica a diminuição no total de flavonoides desse experimento.

Tabela 47 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de flavonoides (mg de catequina.g⁻¹) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 1,70 ± 0,03 a*	A 1,42 ± 0,06 b	A 1,35 ± 0,08 bc	A 1,19 ± 0,05 c
18	A 1,70 ± 0,03 a	A 1,40 ± 0,05 b	A 1,34 ± 0,03 b	A 1,12 ± 0,01 c
25	A 1,70 ± 0,03 a	BA 1,35 ± 0,03 b	BA 1,25 ± 0,02 c	A 1,10 ± 0,01 d
32	A 1,70 ± 0,03 a	B 1,23 ± 0,02 b	B 1,15 ± 0,06 b	A 1,12 ± 0,05 b
Umidade inicial 12%				
11	A 1,73 ± 0,01 a	A 1,30 ± 0,05 b	A 1,20 ± 0,09 b	A 0,99 ± 0,03 c
18	A 1,73 ± 0,01 a	A 1,21 ± 0,06 b	B 0,95 ± 0,03 c	A 0,96 ± 0,03 c
25	A 1,73 ± 0,01 a	A 1,20 ± 0,01 b	B 0,89 ± 0,03 c	B 0,89 ± 0,01 c
32	A 1,73 ± 0,01 a	B 0,97 ± 0,09 b	B 0,85 ± 0,02 b	B 0,87 ± 0,00 b
Umidade inicial 15%				
11	A 1,75 ± 0,04 a	A 1,17 ± 0,06 b	A 0,87 ± 0,01 c	A 0,88 ± 0,02 c
18	A 1,75 ± 0,04 a	BA 1,06 ± 0,03 b	A 0,82 ± 0,01 c	BA 0,83 ± 0,02 c
25	A 1,75 ± 0,04 a	B 1,02 ± 0,04 b	A 0,82 ± 0,02 c	B 0,79 ± 0,03 c
32	A 1,75 ± 0,04 a	B 1,02 ± 0,03 b	A 0,84 ± 0,01 c	B 0,80 ± 0,00 c
Umidade inicial 18%				
11	A 1,76 ± 0,04 a	A 1,19 ± 0,03 b	A 0,88 ± 0,03 c	A 0,76 ± 0,05 d
18	A 1,76 ± 0,04 a	A 1,16 ± 0,04 b	A 0,88 ± 0,03 c	A 0,69 ± 0,03 d
25	A 1,76 ± 0,04 a	A 1,15 ± 0,04 b	BA 0,82 ± 0,00 c	A 0,66 ± 0,02 d
32	A 1,76 ± 0,04 a	A 1,13 ± 0,03 b	B 0,79 ± 0,02 c	A 0,68 ± 0,06 c

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 48 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de flavonoides (mg de catequina.g⁻¹) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 1,70 ± 0,03 a*	A 1,42 ± 0,06 b	A 1,35 ± 0,08 bc	A 1,19 ± 0,05 c
12	A 1,73 ± 0,01 a	BA 1,30 ± 0,05 b	A 1,20 ± 0,09 b	B 0,99 ± 0,03 c
15	A 1,75 ± 0,04 a	B 1,17 ± 0,06 b	B 0,87 ± 0,01 c	C 0,88 ± 0,02 c
18	A 1,75 ± 0,04 a	B 1,19 ± 0,03 b	B 0,88 ± 0,03 c	D 0,76 ± 0,05 d
Temperatura de 18°C				
9	A 1,70 ± 0,03 a	A 1,40 ± 0,05 b	A 1,34 ± 0,03 b	A 1,12 ± 0,01 c
12	A 1,73 ± 0,01 a	B 1,21 ± 0,06 b	B 0,95 ± 0,03 c	B 0,96 ± 0,03 c
15	A 1,75 ± 0,04 a	C 1,06 ± 0,03 b	C 0,82 ± 0,01 c	C 0,83 ± 0,02 c
18	A 1,76 ± 0,04 a	CB 1,16 ± 0,04 b	CB 0,88 ± 0,03 c	D 0,69 ± 0,03 d
Temperatura de 25°C				
9	A 1,70 ± 0,03 a	A 1,35 ± 0,03 b	A 1,25 ± 0,02 c	A 1,10 ± 0,01 d
12	A 1,73 ± 0,01 a	B 1,20 ± 0,01 b	B 0,89 ± 0,03 c	B 0,89 ± 0,01 c
15	A 1,75 ± 0,04 a	C 1,02 ± 0,04 b	C 0,82 ± 0,02 c	C 0,79 ± 0,03 c
18	A 1,75 ± 0,04 a	B 1,15 ± 0,04 b	C 0,82 ± 0,00 c	D 0,66 ± 0,02 d
Temperatura de 32°C				
9	A 1,70 ± 0,03 a	A 1,23 ± 0,02 b	A 1,15 ± 0,06 b	A 1,12 ± 0,05 b
12	A 1,73 ± 0,01 a	C 0,97 ± 0,09 b	B 0,85 ± 0,02 b	B 0,87 ± 0,00 b
15	A 1,75 ± 0,04 a	BC 1,02 ± 0,03 b	B 0,84 ± 0,01 c	B 0,80 ± 0,00 c
18	A 1,75 ± 0,04 a	BA 1,13 ± 0,03 b	B 0,79 ± 0,02 c	C 0,68 ± 0,06 c

*Para cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4.2.7 Teor de ácido fítico

Os resultados encontrados para o teor de ácido fítico durante o armazenamento são apresentados nas tabelas 49 e 50. Os efeitos da temperatura de armazenamento estão apresentados na tabela 49, enquanto que os efeitos da umidade estão apresentados na tabela 50.

Inicialmente foi encontrado, em média 29,02mg de ácido fítico.g⁻¹, sendo que ao longo do armazenamento esse valor reduziu para todas as amostras, independente das condições de armazenamento, sendo que a temperatura só teve influência na umidade de 18% (Tabela 48), onde observa-se as maiores reduções, chegando a 21,50mg de ácido fítico.g⁻¹ aos 12 meses nos grão armazenados na temperatura de 32°C, já a umidade dos grãos não apresentou influência sobre esse parâmetro (Tabela 49).

Hou e Chang (2003), trabalhando com o armazenamento de grãos de soja com umidade relativa do ar em 84% e 30°C de temperatura, encontraram

inicialmente 13,32 mg de ácido fítico.g⁻¹ com redução até 8,72 mg de ácido fítico.g⁻¹ os 9 meses. As diferenças nos teores iniciais de ácido fítico encontrados nesse estudo são diferentes aos relatados pela literatura, e pode ser atribuído a cultivar, características do solo e stress em que a planta foi submetida durante seu cultivo. A diminuição nos teores de ácido fítico durante o tempo de armazenamento, pode ser explicada pela hidrólise enzimática da fitase endógena produzindo moléculas de trifosfato durante o processo de degradação dos grãos (SANDBERG e AHDERINNE, 1986).

Tabela 49 - Efeitos da temperatura de armazenamento sobre o teor de ácido fítico (mg de ácido fítico.g⁻¹) dos grãos de soja armazenados com quatro umidades iniciais, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Umidade inicial 9%				
11	A 28,33 ± 1,06 a*	A 26,34 ± 1,34 ba	A 24,35 ± 0,60 b	A 24,14 ± 1,00 b
18	A 28,33 ± 1,06 a	A 27,09 ± 0,89 ba	A 24,51 ± 1,32 b	A 24,57 ± 1,35 b
25	A 28,33 ± 1,06 a	A 26,18 ± 1,29 ba	A 24,13 ± 1,36 ba	A 23,12 ± 2,56 b
32	A 28,33 ± 1,06 a	A 25,39 ± 0,90 b	A 23,82 ± 1,06 b	A 23,75 ± 1,01 b
Umidade inicial 12%				
11	A 29,04 ± 1,19 a	A 27,31 ± 0,82 ba	A 25,04 ± 0,54 b	A 24,26 ± 0,60 b
18	A 29,04 ± 1,19 a	A 27,34 ± 1,06 ba	A 24,77 ± 0,67 b	A 24,86 ± 1,71 b
25	A 29,04 ± 1,19 a	A 27,31 ± 0,82 ba	A 24,86 ± 0,64 b	A 23,93 ± 1,24 b
32	A 29,04 ± 1,19 a	A 26,25 ± 1,08 ba	A 23,51 ± 1,02 bc	A 22,03 ± 1,43 c
Umidade inicial 15%				
11	A 29,68 ± 2,06 a	A 28,43 ± 0,90 ba	A 25,37 ± 1,43 bc	A 24,01 ± 0,54 c
18	A 29,68 ± 2,06 a	A 28,23 ± 1,27 ba	A 25,17 ± 1,88 b	A 23,85 ± 1,47 b
25	A 29,68 ± 2,06 a	A 27,94 ± 0,88 ba	A 25,14 ± 1,22 b	A 24,30 ± 1,87 b
32	A 29,68 ± 2,06 a	A 27,50 ± 0,84 a	A 24,22 ± 0,96 b	A 22,71 ± 0,43 b
Umidade inicial 18%				
11	A 29,04 ± 0,96 a	A 29,58 ± 1,18 a	A 26,97 ± 1,17 ba	A 25,94 ± 1,23 b
18	A 29,04 ± 0,96 a	A 28,94 ± 1,13 a	A 26,63 ± 1,18 ba	A 24,64 ± 0,89 b
25	A 29,04 ± 0,96 a	A 27,96 ± 0,75 a	A 25,33 ± 1,03 b	BA 23,78 ± 0,35 b
32	A 29,04 ± 0,96 a	A 28,39 ± 1,16 a	B 22,10 ± 0,72 b	B 21,50 ± 0,96 b

*Para cada umidade de grãos, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 50 - Efeitos da umidade de armazenamento sobre o teor de ácido fítico (mg de ácido fítico.g⁻¹) dos grãos de soja armazenados em quatro temperaturas, em sistema semi-hermético, durante doze meses

Umidade (%)	Tempo de armazenamento (meses)			
	Inicial	4	8	12
Temperatura de 11°C				
9	A 28,33 ± 1,06 a*	A 26,34 ± 1,34 ba	A 25,34 ± 0,60 b	A 24,14 ± 1,00 b
12	A 29,04 ± 2,28 a	BA 27,31 ± 0,82 ba	A 25,04 ± 0,54 b	A 24,26 ± 0,60 b
15	A 29,68 ± 2,06 a	BA 28,43 ± 0,90 ba	A 25,37 ± 1,43 bc	A 24,01 ± 0,54 c
18	A 29,04 ± 0,96 a	A 29,58 ± 1,18 a	A 26,97 ± 1,17 ba	A 25,94 ± 1,23 b
Temperatura de 18°C				
9	A 28,33 ± 1,06 a	A 27,09 ± 0,89 ba	A 24,51 ± 1,32 b	A 24,57 ± 1,35 b
12	A 29,04 ± 2,28 a	A 27,34 ± 1,06 ba	A 24,77 ± 0,67 b	A 24,86 ± 1,71 b
15	A 29,68 ± 2,06 a	A 28,23 ± 1,27 ba	A 25,17 ± 1,88 b	A 23,85 ± 1,47 b
18	A 29,04 ± 0,96 a	A 28,94 ± 1,13 a	A 26,63 ± 1,18 ba	A 24,64 ± 0,89 b
Temperatura de 25°C				
9	A 28,33 ± 1,06 a	A 26,18 ± 1,29 ba	A 24,13 ± 1,36 ba	A 23,12 ± 2,56 b
12	A 29,04 ± 2,28 a	A 27,31 ± 0,82 ba	A 24,86 ± 0,64 b	A 23,93 ± 1,24 b
15	A 29,68 ± 2,06 a	A 27,94 ± 0,88 ba	A 25,14 ± 1,22 b	A 24,30 ± 1,87 b
18	A 29,04 ± 0,96 a	A 27,96 ± 0,75 a	A 25,33 ± 1,03 b	A 23,78 ± 0,35 b
Temperatura de 32°C				
9	A 28,33 ± 1,06 a	B 25,39 ± 0,90 b	A 23,82 ± 1,06 b	A 23,75 ± 1,01 b
12	A 29,04 ± 2,28 a	BA 26,25 ± 1,08 ba	A 23,51 ± 1,02 bc	A 22,03 ± 1,43 c
15	A 29,68 ± 2,06 a	BA 27,50 ± 0,84 a	A 24,22 ± 0,96 b	A 22,71 ± 0,43 b
18	A 29,04 ± 0,96 a	A 28,39 ± 1,16 a	A 22,10 ± 0,72 b	A 21,50 ± 0,96 b

*Para a cada temperatura de armazenamento, médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras maiúsculas na mesma coluna, e minúsculas na mesma linha, diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

5 Conclusões

O tempo de armazenamento provoca alterações nas propriedades físicas, nos componentes químicos e nos compostos bioativos dos grãos, sendo que as maiores alterações nos parâmetros avaliados ocorrem nas maiores umidades de grãos e nas maiores temperaturas de armazenamento.

O aumento do tempo de armazenamento tende a provocar reduções, nos parâmetros peso de mil grãos, peso volumétrico, teor de proteínas, índice de solubilidade proteica, entalpia, teor de lipídios, índice de iodo, pH da farinha, carotenoides, flavonoides e ácido fítico, com aumento nos índices de acidez, peróxidos, k_{232} , k_{270} do óleo, açúcares redutores, cinzas, compostos fenólicos livres e sua respectiva atividade antioxidante, com variação também na coloração dos grãos.

A umidade dos grãos durante o armazenamento apresenta mais influências na degradação de parâmetros como peso de mil grãos, peso hectolitro, cor, proteínas, acidez do óleo, índice de iodo, açúcares redutores, cinzas, flavonoides,

compostos fenólicos e sua atividade antioxidante, enquanto que a solubilidade proteica e os teores de carotenoides são mais influenciados pela temperatura do ambiente de armazenamento, sem que ocorram interferências distintas da temperatura e da umidade de armazenamento dos grãos nos parâmetros lipídios, peróxidos, K_{232} , K_{270} , compostos fenólicos ligados e ácido fítico.

A técnica de resfriamento artificial possibilita o armazenamento dos grãos mesmo em umidades superiores a 12%.

6 Referências

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the AACC** (10th ed.). Method, p.46-13. St. Paul, MN, 2000.

ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chemistry**. v.152, p.46-55, 2014.

ADDIS, P. B. Occurrence of lipid oxidation products in foods. **Food Chemical Toxicology**. v.24, p.1021-1030, 1986.

ADOM, K. K.; LIU, R. H. Antioxidant activity of grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.50, n.21, p.6182-6187, 2002.

ALENCAR, E. R.; FONI, L. R. D.; FILHO, A. F. L.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, A. R. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, p.606-613, 2009.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of Analysis**. 18 ed. Washington DC US, 2006.

AOCS - American oil Chemists Society. **Official Methods and Recommended Practices of the AOCS**, 6th Edition, 2011.

AOCS - American Oil Chemists' Society. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society**, Champaign, IL, 1997.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. Moisture measurement- unground grain and seeds. In: Standards, 2000. St. Joseph: **ASAE**, p. 563, 2000.

BEMILLER & WHISTLER; **Starch: Chemistry and technology**. Third edition. Food Science and Technology, International series. ISBN: 978-0-12-746275-2, Elsevier, 2009.

BERLETT, B. S.; STADTMAN, E. R. Protein oxidation in aging, disease, and oxidative stress. **Journal of Biological Chemistry**. v. 272, p. 20313-20316, 1997.

BHANJA, T.; KUMARI, A.; BANERJEE, R. Enrichment of phenolics and free radical scavenging property of wheat koji prepared with two filamentous fungi. **Bioresource Technology**. v.100, n.11, p. 2861–2866, 2009.

BHATTACHARYA, K.; RAHA, S. Deteriorative changes of maize, groundnut and soybean seeds by fungi in storage. **Mycopathologia**. v.155, n.3, p.135-141, 2002.

BIAGI, J. D.; BERTOL, R.; CARNEIRO, M. C. Secagem de grãos para unidades centrais de armazenamento. IN: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL. V.M. (Org.). **Armazenagem de Grãos**. 1 ed. Campinas - SP: Instituto Bio Geneziz (IBG). v.1, p.289-308, 2002,

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Documento Técnico. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 28 p. 2005.

BRANLEY, P. M.; ELMADFA, I.; KAFATOS, A.; KELLY, F. J.; MANIOS, Y.; ROXBOROUGH, H. E.; SCHUCH, W.; SHEEHY, P. J. A.; WAGNER, K. H. Vitamin E. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. n.80, p.913-938, 2000.

BRASIL - **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Brasília, p.346, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 37, de 27 de julho de 2007**, anexo – Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da soja. Diário Oficial da União, Brasília, 2007.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and Storage of Grains and Oilseeds**. New York. p.450, 1992.

BROWN, K. H., SOLOMONS, N. W. Nutritional problems of developing countries. **Infectious Disease Clinics of North America**. v.5, p.297-317, 1991.

BRUZZETTI, A. R. Cresce produção de girassol. **Óleos & Grãos**, São Bernardo do Campo, ano 8, n.46, p.34 - 38, 1999.

CALDARELLI, C. E.; CÂMARA, M. R. G.; SEREIA, V. J. O complexo agroindustrial da soja no Brasil e no Paraná: exportações e competitividade no período 1990 a 2007. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v.11, n.1, p. 106-120, 2009.

CANTONE, F. A.; TUIITE, J.; BAUMAN, L. F.; STROSHINE, R. L. Genotypic differences in reaction of stored corn kernels to attack by selected *Aspergillus* and *Penicillium* species. **Phytopathology**. v.73, p.1250-1255, 1983.

CHANDRASEKARA, A.; SHAHIDI, F. Bioactivities and antiradical properties of millet grains and hulls. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.59, n.17, p.9563–9571, 2011.

CHEN, L.; CHEN, J.; REN, J.; ZHAO, M. Effects of ultrasound pretreatment on the enzymatic hydrolysis of soy protein isolates and on the emulsifying properties of hydrolysates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 59, 2600–2609, 2011.

CHO, K. M.; HA, T. J.; LEE, Y. B.; SEO, W. D.; KIM, J. Y.; RYU, H. W.; JEONG, S. H.; KANG, Y. M.; LEE, J. H. Soluble phenolics and antioxidant properties of soybean (*Glycine max* L.) cultivars with varying seed coat colours. **Journal of Functional Foods**. v.5, p.1065-1076, 2013.

CHOE, E.; MIN, D. B., 2006. Chemistry and reactions of reactive oxygen species in foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v.46, p.1-22, 2006.

CLODOVEO, M. L.; DELCURATOLO, D.; GOMES, T.; COLELLI, G. Effect of different temperatures and storage atmospheres on Coratina olive oil quality. **Food Chemistry**. v.102, p.571-576, 2007.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2014. Disponível em; <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em; 24/07/2014.

DALL´AGNOL, A.; ROESSING, A. C.; LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H.; OLIVEIRA, A.B. **O complexo agroindustrial da soja brasileira**. (Circular Técnica).

Londrina, 2007. 12 p. Londrina, 2007. 12 p.

DELIBERALI, J.; OLIVEIRA, M.; DURIGON, A.; DIAS, A. R. G.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C.; Efeitos de processo de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de trigo. **Ciência Agrotécnica**, v.34, n.5, p.1285-1292, 2010.

DEMITO, A.; AFONSO, A. D. L. Qualidade das sementes de soja resfriadas artificialmente. **Engenharia na Agricultura**. v.17, p.7-14, 2009.

DHINGRA, O. O. **Prejuízos causados por microorganismos durante o armazenamento de sementes**. Revista Brasileira de Sementes, v. 7, n. 1, p. 139-146, 1985.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, S. A. A.; DIAS, A. R. G.; ANTUNES, P. L.; VANDER LAAN, L. F. **Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade**. 1. ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária da UFPel, v.1, 424p., 2009.

ELIAS, M. C. **Tecnologias para armazenamento e conservação de grãos, em médias e pequenas escalas**. 3ª Ed. Editora Universitária/UFPel. 2002. 218p.

FARHOOSH, R.; EINAFSHAR, S.; SHARAYEI, P. The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. **Food Chemistry**. v. 115, p.933-938, 2009.

FARONI, L. R. D. A.; BARBOSA, G. N. O.; SARTORI, M. A.; CARDOSO, F. S.; ALENCAR, E. R. Avaliação qualitativa e quantitativa do milho em diferentes condições de armazenamento. **Engenharia na Agricultura**. v.13, n.3, p.191-201, 2005.

FRANKEL, E. N. Recent advances in lipid oxidation. **Journal of the Science of Food and Agricultural**. v.54, p.495-511, 1991.

FUNG, T. T.; WILLET, W. C.; STAMPFER, M. J.; MANSON, J. E.; HU, F. B. (2001). Dietary patterns and the risk of coronary heart disease in women. **Archives of Internal Medicine**. n.161, p.1857-1862, 2001.

GLORIA, M. B. A.; GRULKE, E. A.; GRAY, J. I. Effect of type of oxidation on β -carotene loss and volatile products formation in model systems. **Food Chemistry**. v.46, n.4, p.401-406, 1993.

GREINER, C. **Economic implication of modified soybean trait**. Iowa Soybean Promotion Board, Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station, Iowa State University, pp. 362-312, 1990.

GRUNE, T.; JUNG, T.; MERKER, K.; DAVIES, K. J. A. Decreased proteolysis caused by protein aggregates, inclusion bodies, plaques, lipofuscin, ceroid, and aggresomes during oxidative stress, aging, and disease. **International Journal of Biochemistry & Cell Biology**. v.36, p.2519-2530, 2004.

GUTTERIDGE, J. M. C. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. **Clinical Chemistry**. v.41, n.12, p.1819-1828, 1995.

HAUG, W.; LANTZSCH, H. J. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products. **Journal Science Food Agriculture**. v.34, p.1423–1426, 1983.

HARTMAN, L.; LAGO, B. C. A rapid preparation of fatty methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**. v.22, p.475-477, 1973.

HO, H. M.; CHEN, R. Y.; LEUNG, L. K.; CHAN, F. L.; HUANG, Y.; CHEN, Z. Y. Difference in flavonoid and isoflavone profile between soybean and soy leaf. **Biomed & Pharmacotherapy**. v.56, p.289-295, 2002.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Yield and quality of soft tofu as affected by soybean physical damage and storage. **Journal Agriculture Food Chemistry**. v. 46, p.4798–805, 1998.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Yield and Textural Properties of Tofu as Affected by the Changes of Phytate Content During Soybean Storage. *Food Chemistry and Toxicology*. v.64, n.4, 1185-1191, 2003.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Storage affects color and chemical composition and tofu making quality. **Journal of Food Processing and Preservation**. v.28, p.473-88, 2004a.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Structural characteristics of purified glycinin from soybeans stored under various conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 52, p.3792–3800, 2004b.

JENG, T. L.; SHIH, Y. J.; WU, M. T.; SUNG, J. M. Comparisons of flavonoids and anti-oxidative activities in seed coat, embryonic axis cotyledon of black soybeans. *Food Chemistry*. v.123, p.1112-1116, 2010.

JIA, M.; KIM, H. J.; MIN, D. B. Effects of soybean oil and oxidized soybean oil on the stability of β -carotene. **Food Chemistry**. v.103, n.3, p.695-700, 2007.

JOHN, K. M.M.; JUNG, E. S.; LEE, S.; KIM, J. S.; LEE, C. H. Primary and secondary metabolites variation of soybean contaminated with *Aspergillus sojae*. **Food Research International**. v.54, p.487–494, 2013.

JUAN, M.; CHOU, C. Enhancement of antioxidant activity, total and flavonoid content of black soybeans by solid state fermentation with *Bacillus subtilis* BCRC 14715. **Food Microbiology**. v. 27, p586-591, 2010.

JUN, H. S.; KIM, S. E.; SUNG, M. K. Protective effect of soybean saponins and major antioxidants against aflatoxins B1-induced mutagenicity and DNA adduct formulation. **Journal of Medicinal Foods**. v.5, n.4, p.235–244, 2002.

KAMAL-ELDIN, A.; APPLEQVIST, L. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. **Lipids**. n,31, p.671-667, 1996.

KAWAKAMI, Y.; TSURUGASAKI, W.; NAKAMURA, S.; OSADA, K. Comparison of regulative functions between dietary soy isoflavones aglycone and glucoside on lipid metabolism in rats fed cholesterol. **Journal of Nutritional Biochemistry**. v.16, p.205-212, 2005.

KIM, J. J.; KIM, S. H.; HAHN, S. J.; CHUNG, I. M. Changing soybean isoflavone composition and concentrations under two different storage conditions over three years. **Food Research International**. v.38, p.435-444, 2005.

KUMAR, V.; RANI, A.; DIXIT, A. K.; PRATAP, D.; BHATNAGAR, D. A comparative assessment of total phenolic content, ferric reducing-anti-oxidative power, free radical-scavenging activity, vitamin C and isoflavones content in soybean with varying seed coat colour. **Food Research International**. n.43, p.323-328, 2010.

KUMAR, V.; RANI, A.; DIXIT, A.; BHATNAGAR, D.; CHAUHAN, G. S. Relative changes in tocopherols, isoflavones and antioxidative properties of soybean during different reproductive stages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.57, p.2705–2710, 2009.

LACEY, J., HAMER, A., MAGAN, N. Respiration and losses in stored wheat under different environmental conditions. In: Proceeding of the 6th International Working **Conference on Stored-Product Protection**, vol. 2CAB International, Wallingford, United Kingdom, p.1007-1013, 1994.

LEE, C. H.; YANG, L.; XU, J. Z. X.; YEUNG, S. Y. V.; HUANG, Y.; CHEN, Z. Y. Relative antioxidant activity of soybean isoflavones and their glycosides. **Food Chemistry**. v.90, n.4, p.735–741, 2005.

LEE, J. H.; CHO, K. M. Changes occurring in compositional components of black soybeans maintained at room temperature for different storage periods. **Food Chemistry**. n.131, p.161-169, 2012.

LEE, S. J.; YAN, W.; AHN, J. K.; CHUNG, I. M. Effects of year, site, genotype, and their interactions on various soybean isoflavones. **Field Crops Research**. v.81, p.181-192, 2003.

LI, Y.; QIU, F.; YANG D.; LI, X.; SUN, P. Preparation, characterization and application of heterogeneous solid base catalyst for biodiesel production from soybean oil. **Biomass and Bioenergy**. v. 35, p. 2787-2795, 2011.

LIU, C.; WANG, X.; MA, H.; ZHANG, Z.; GAO, W.; XIAO, L. Functional properties of protein isolates from soybeans stored under various conditions. **Food chemistry**. v.111, p.29-37, 2008.

LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology and utilization**. New York, Chapman 7. Hall, 1997.

LIU, K.; MCWATTERS, K. H.; PHILLIPS, R. D. Protein insolubilization and thermal destabilization during storage as related to hard-to-cook defect in cowpeas. **Journal of Agricultural Food Chemistry**. v.40, p.2483-2487, 1992.

LIU, R. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**. v.46, n.3, p.207–219, 2007.

LIYANA-PATHIRANA, C. M.; SHAHIDI, F. Importance of insoluble-bound phenolics to antioxidant properties of wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.54, n.4, p.1256–1264, 2006.

LOEWUS, F. A.; MURTHY, P. P. N. Myo-Inositol metabolism in plants. **Plant Science**. v.150, p.1-19, 2000.

LOTT, J. N. A. Accumulation of seed reserves of phosphorus and other minerals, in: D.R. Murray. Seed Physiology, **Academic Press**. v.1, p.139-166, 1984.

MALENCIC, D.; MAKSIMOVIC, Z.; POPOVIC, M.; MILADINOVIC, J. Polyphenol contents and antioxidant activity of soybean seed extracts. **Bioresourch technology**. v.99, p.6688-6691, 2008.

MARCHETTI, J.M.; MIGUEL, V.U.; ERRAZU, A.F. Possible methods for biodiesel production. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**. v.11, p.1300–1311, 2007.

MARTINS, R. R. (et al.). **Secagem de Grãos para Propriedade Familiar**. IN: LORINI, Irineu; MIKE, Lincoln Hiroshi; SCUSSEL, Vildes Maria. Armazenagem de Grãos. Campinas: IBR, 2002.

MILLER, G. L. nd cereal products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.34, n.12, Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v.31, n.3, p.426-428, 1959.

MIRA, N. V. M.; MASSARETTO, I. L.; PASCUAL, C. S. C. I.; MARQUEZ, U. M. L. Comparative study of phenolic compounds in different Brazilian rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.22, p.405–409, 2009.

MIRANDA, L. C.; SILVA, W. R.; CAVARIANI, C. Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar. I. Monitoramento físico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2097-2108, 1999.

MOLINIÉ, A.; FAUCETA, V.; CASTEGNAROA, M.; PFOHL-LESZKOWICZ, A. Analysis of some breakfast cereals on the French market for their contents of ochratoxin A, citrinin and fumonisin B1: development of a method for simultaneous extraction of ochratoxin A and citrinin. **Food Chemistry**. v.92, n.3, p.391-400, 2005.

NAZ, S.; SHEIKH, H.; SIDDIQI, R.; SAYEED, S. A. Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions. **Food Chemistry**. v.88, p.253-259, 2004.

NETO P. R. C.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**. v.23 , n.4 , p.531-537, 2000.

NIELSEN, I. L.; WILLIAMSON, G. Review of the factors affecting bioavailability of soy isoflavones in humans. **Nutrition and Cancer-An International Journal**. v.57, n.1, p.1-10, 2007.

NIKI, E. Lipid peroxidation: Physiological levels and dual biological effects. **Free Radical Biology and Medicine**. v.47, p.469–484, 2009.

NISHIO, K. K.; HORIE, M.; AKAZAWA, Y.; SHICHIRI, M.; IWAHASHI, H.; HAGIHARA, Y.; YOSHIDA, Y.; NIKI, E. Attenuation of lipopolysaccharide (LPS)-induced cytotoxicity by tocopherols and tocotrienols. **Redox Biology**. v.1, p.97-103, 2013.

NONIER, M.; GAULEJAC, N.V.; VIVAS, N.; VITRY, C.; **Comptes Rendus Chimie**, v.7, p.697, 2004.

OOMAH, B.D.; CORBÉ, A.; BALASUBRAMANIAN, P. Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) hulls. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. v.58, p.8225-8230, 2010.

PARK, C.; KIM, Y.; PARK, K.; KIM, B. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**. v.48, p.25-29, 2012.

PETER, M.; HAKAN, W. Adduct formation, mutagenesis and nucleotide excision repair of DNA damage produced by reactive oxygen species and lipid peroxidation product. **Mutation Research**, v. 410, p. 271-290, 1998.

PETO, R.; DOLL, R.; BUCKELY, J. D.; SPORN, M. B. Can dietary beta-carotene materially reduce human cancer rates? **Review. Nature**. n.290, p.201-208, 1981.

PINTO, M. S.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Effect of Storage Temperature and Water Activity on the Content and Profile of Isoflavones, Antioxidant Activity, and in Vitro Protein Digestibility of Soy Protein Isolates and Defatted Soy Flours. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. v.53, p.6340-6346, 2005.

PLANK, C.; LORBEER, E. On-Line Liquid Chromatography—Gas Chromatography for the Analysis of Free and Esterified Sterols in Vegetable Oil Methyl Esters Used as Diesel Fuel Substitutes. **Journal of Chromatography**. v.683, p.95-104, 1994.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF, AGIPLAN, 2ª Ed. 1985. 289 p.

POYSA, V.; WOODROW, L. Stability of soybean seed composition and its effect on soymilk and tofu yield and quality. **Food Research International**. v.35, n.4, p.337-45, 2002.

PRACHAYAWARAKORN, S.; PRACHAYAWASIN, P.; SOPONRONNARIT, S. Heating process of soybean using hot-air and superheated-steam fluidized-bed dryers. **LWT- Food science and Technology**. v.39, p.770–778, 2006.

PRATT, D. A.; TALLMAN, K. A.; PORTER, N. A. Free radical oxidation of polyunsaturated lipids: New mechanistic insights and the development of peroxy radical clocks. **Accounts of Chemical Research**. v.44, p.458–467, 2011.

PRONYK, C.; MUIR, W.E.; WHITE, N. D. G., ABRAMSON, D. Carbon dioxide production and deterioration of stored canola. **Can. Biosyst. Eng**. v.46, n.3, p.25-33, 2004.

PUCHART, V.; VRSANSKA, M.; BHAT, M. K.; BIELY, P. Purification and characterization of α -galactosidase from a thermophilic fungus *Thermomyces lanuginosus*. **Biochemical et Biophysical Acta**. v. 1524, p.27-37, 2000.

PUZZI, D. **Armazenamento e Abastecimento de Grãos**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 603p., 2000.

RABOY, V. Myo-Inositol-1,2,3,4,5,6-hexakisphosphate. **Phytochemistry**. v.64, p.1033-1043, 2003.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**. v.29, n.4, p.755-760, 2006.

RANI, P. R.; CHELLADURAI, V.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G.; KAVITHA-ABIRAMI, C. V. Storage studies on pinto beans under different moisture contents and temperature regimes. **Journal of Stored Products Research**. v.52, p.78-85, 2013.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICEEVANS, C.; Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v.26, p.1231-1237, 1999.

REED, C.; DOYUNGAN, S.; IOERGER, B.; GETCHELL, A. Response of storage molds to different initial moisture contents of maize (corn) stored at 25°C, and effect on respiration rate and nutrient composition. **Journal of Stored Products Research**. v.43, p.443-458, 2007.

REFSGAARD, H. H. F.; TSAI, L.; STADTMAN, E. R. Modifications of proteins by polyunsaturated fatty acid peroxidation products. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. v. 97, p.611-616, 2000.

REHMAN, Z.; HABIB, F.; ZAFAR, S. Nutritional changes in maize (*Zea mays*) during storage at three temperatures. **Food Chemistry**. v. 77, p.197–201, 2002.

RIGUEIRA, R. J. A.; LACERDA FILHO, A. F.; VOLK, M. B. S.; Avaliação da qualidade do feijão armazenado em ambiente refrigerado; **Alimentos e Nutrição**. v.20, n.4, p.649-655, 2009.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D.; Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p.39-45, 2003.

RODRIGUES, N.; MALHEIRO, R.; CASAL, S.; MANZANERA, M. C. A. S.; ALBINO, B.; PEREIRA, J. A. Influence of spike lavender (*Lavandula latifolia* Med.) essential oil in the quality, stability and composition of soybean oil during microwave heating. **Food and chemical Toxicology**. v. 50, p.2894-2901, 2012.

RODRIGUES-AMAYA, D. B., 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington: **ILSI Press**, p.64, 2001.

RUIZ, A.; ACOSTA, M.; CISNEROS, F. Utilizacion de enzimas en los procesos de obtencion de leche y derivados de La soya. **Alimentaria**. v.33, p.127- 132, 1995.

RUPOLLO, G.; GUTKOSKI, L. C.; MARINI, L. J.; ELIAS, M.C. Sistemas de armazenamento hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. **Ciência Rural**. v.34, n.6, p.1715-1722, 2004.

SANCHO, A. I.; BARTOLOME, B.; GOMEZ-CORDOVES, C.; WILLIAMSON, G.; FAULDS, C. B. Release of ferulic acid from cereal residues by barley enzymatic extracts. **Journal of Cereal Science**. v.34, n.2, p.173–179, 2001.

SANDBERG, A. S.; AHDERINNE, R. HPLC method for determination of inositol tri-, tetra-, penta-, and hexaphosphates in foods and intestinal contents. **Journal of Food Science**. n.51, p.547-50, 1986.

SCHNEIDER, C. Chemistry and biology of vitamin E. **Molecular Nutrition & Food Research**. v.49, p.7-30, 2005,

SIMONS, R. S.; VINCKEN, J. P., ROIDOS, N., BOVEE, T. F., VAN IERSEL, M., VERBRUQQEN, M.A. Increasing soy isoflavonoid content and diversity by simultaneous malting and challenging by a fungus to modulate estrogenicity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.59, p.6748–6758, 2011.

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

SOMIARI, R. I.; BALOGH, E. Hydrolysis of raffinose and stachyose in cowpea (*Vigna unguiculata*) flour, using α -galactosidase from *Aspergillus niger*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. v.8, p.564-566, 1992.

SOUZA, G.; VALLE, J. L. E; MORENO, I. Efeitos dos compostos da soja e seus derivados na alimentação humana. **Boletim da sociedade Brasileira de Ciências e Tecnologia de Alimentos**. Campinas. v.34, n.2, p.61-69, 2000.

STADTMAN, E. R.; LEVINE, R. L. Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins. **Amino Acids**. v.25, p.207-218, 2003.

STANOJEVIC, S. P.; BARAC, M. B.; PESIC, M. B.; VUCELIC-RADOVIC, B. V. Assessment of soy genotype and processing method on quality of soybean tofu. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.59, p.7368–7376, 2011.

SUN, D.; WOODS, J. L. Low temperature moisture transfer characteristics of barley: thin-layer models and equilibrium isotherms. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v.59, p.273-283, 1997.

TANDANG-SILVAS, M. R. G.; TECSON-MENDOZA, E. M.; MIKAMI, B.; UTSUMI, S.; MARUYAMA, N. **Molecular Design of Seed Storage Proteins for Enhanced Food Physicochemical Properties**. Annual Review of Food Science and Technology. v. 2., p. 59 -73, 2010.

TOCI, A.; NETO, V.; TORRES, A.; FARAH, A. Changes in triacylglycerols and free fatty acids composition during storage of roasted coffee. **LWT - Food Science and Technology**. v.50, p.581-590, 2013.

TRIPATHI, A. K.; MISRA, A. K. Soybean: A consummate functional food. **Journal of Food Science and Technology**. v.2, p.42-46, 2005.

USDA - United States Department of Agriculture. **Produção e consumo de óleos vegetais no Brasil**. Boletim eletrônico. n°151, 2007.

WEAVER, C. M.; KANNAN, S., 2002. Phytate and mineral bioavailability. In: Reddy, N.R., SATHE, S.K. **Food Phytates**. CRC Press LLC. v.1, p.211-223, 2002.

- WONG, D. W. S. Feruloyl esterase: A key enzyme in biomass degradation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. v.133, n.2, p.87-112, 2006.
- ZHISHEAN, J.; MENGEHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, v.64, p.555-559, 1999.
- ZIEGLER, R. G.; MAYNE, S. T.; SWANSON, C. A. Nutrition and lung cancer. **Cancer Causes Control**. n.7, p.157-177, 1996.
- ZIELINSKI, H.; KOZLOWSKA, H.; Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.48, n.6, p. 2008-2016, 2000.