

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



TESE

EFEITOS DA UMIDADE E DA TEMPERATURA DURANTE O
ARMAZENAMENTO SOBRE PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA
E NUTRICIONAL DO SORGO GRANÍFERO

David Bandeira da Cruz
Engenheiro agrônomo, M.Sc

Pelotas, 2019

David Bandeira da Cruz

EFEITOS DA UMIDADE E DA TEMPERATURA DURANTE O
ARMAZENAMENTO SOBRE PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA
E NUTRICIONAL DO SORGO GRANÍFERO

Tese 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 Doutor em Ciência e
Tecnologia de Alimentos.

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO
Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias
Prof. Dr. Nathan Levien Vanier
Prof^a. Dr^a. Rosana Colussi

Pelotas, 2019

**Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação**

C111e Cruz, David Bandeira

Efeitos da umidade e da temperatura durante o armazenamento sobre parâmetros de avaliação tecnológica e nutricional do sorgo granífero / David Bandeira Cruz ; Moacir Cardoso Elias, Nathan Levien Vanier, orientadores. — Pelotas, 2019.

67 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Sorghum bicolor (L.) Moench. 2. Qualidade tecnológica. 3. Qualidade nutricionais. I. Elias, Moacir Cardoso, orient. II. Vanier, Nathan Levien, orient. III. Título.

CDD : 633.174

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

David Bandeira da Cruz

EFEITOS DA UMIDADE E DA TEMPERATURA DURANTE O
ARMAZENAMENTO SOBRE PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA
E NUTRICIONAL DO SORGO GRANÍFERO

Tese 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 Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Data da Defesa: 28/02/2019

Banca examinadora:

Prof. Dr. Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (Orientador) – FAEM - UFPel

Prof. Dr. Leonardo Nora – FAEM - UFPel

Prof. Dr. Marcelo Zaffalon Peter – CAVG – IFSul

Dr. Flavio Reina Abib – CAVG – IFSul

Dra. Bianca Pio Ávila – FAEM - UFPel

Dedico

À minha mãe Tânia
e à minha filha Melissa.

Agradecimentos

A minha mãe Tânia, pessoa admirável, carinhosa e dedicada, por todo o amor, carinho e apoio que me deu ao longo de toda a nossa convivência. Serviu-me como fonte de inspiração, pois via sua força, engajamento e comprometimento ao que era importante, estimulando-me, assim, a continuar estudando até hoje.

Aos meus tios, Paulo e Vera, por estarem sempre ao meu lado, apoiando-me em cada etapa da minha vida.

Aos meus sobrinhos Tânia Eduarda e Luís Eduardo, por me darem um amor incondicional e alegrarem meus dias.

A minha filha Melissa, por me fazer ver a vida sob uma nova perspectiva, pelo amor e carinho incondicional, inclusive, durante a escrita desta tese.

A minha esposa Ivonice, por me dar carinho em todos os momentos e fazer parte da minha vida acadêmica desde o início da graduação.

A meu irmão - por mais do que nunca, ser um exemplo de superação, demonstrando que sempre é possível um novo recomeço, que depende somente das nossas atitudes. Hoje, com fé em Deus, será sempre tudo mais fácil.

Ao professor orientador Dr. Moacir Cardoso Elias, por ser este grande docente que inspira muitos profissionais, por seu amor e dedicação a tudo que faz, pelo apoio e oportunidades de crescimento ao longo desses anos no Laboratório de Grãos. Serei eternamente grato pelos ensinamentos pessoais e profissionais proporcionados.

Ao co-orientador Professor Dr. Nathan Levien Vanier, pelos ensinamentos proporcionados ao longo desses anos de pesquisa, pela sua dedicação e disponibilidade sempre que um colega ou aluno precisou.

A co-orientadora Professora Dr^a. Rosana Colussi, pela sua dedicação incansável, disponibilidade e incentivo, principalmente neste momento crucial de escrita da Tese.

Aos colegas Engenheiros Agrônomos Hélio Lange Junior e Sergio Ávila e aos Médicos Veterinários Pedro Silva Silveira e Lucas Teixeira Hax pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos Engenheiros Agrônomos André Pich Brunes e Letícia Winke Dias, pela amizade, companheirismo, dedicação e ensinamentos proporcionados ao longo desses anos de amizade.

Aos professores do DCTA, Álvaro Renato Guerra Dias, Cesar Valmor Rombaldi, Elessandra da Rosa Zavareze, Fábio Clasen Chaves e Leonardo Nora, pelas contribuições ao longo de período de Doutorado no Programa.

Aos colegas do Laboratório de Grãos, colegas de mestrado, doutorado e todos os estagiários, porque sem esta equipe minha caminhada seria impossível.

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 e ao Instituto Federal Sul-rio-grandense - Campus Pelotas “Visconde da Graça”, meu muito obrigado.

Resumo

DA CRUZ, David Bandeira. **Efeitos das condições de armazenamento dos sobre propriedades tecnológicas e nutricionais do sorgo granífero.** 2019. 68f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

A estimativa de produção brasileira de grãos de sorgo é de 2,135 milhões de toneladas para o ano de 2019, ocupando a sexta posição em produção nacional. A cultura está distribuída em todas as regiões, o que mostra a adaptação da cultura as condições edafoclimáticas existentes no país. A qualidade final do produto após o armazenamento está diretamente relacionada com a qualidade dos grãos no momento da colheita, porém a umidade e a temperatura de armazenamento são de vital importância para a manutenção desta qualidade, podendo sofrer alterações. O presente trabalho avaliou efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento sobre os parâmetros de qualidade tecnológica e nutricionais dos grãos de sorgo, produzidos no Rio Grande do Sul, colhidos com umidade de 22% e secos até três faixas distintas de umidade: 17%, 14% e 11%. Os grãos de sorgo foram armazenados nas temperaturas de 25°C, 18°C, 13°C e 8°C pelo período de um ano, onde as análises foram feitas antes do armazenamento e após três, seis, nove e doze meses de armazenamento. O armazenamento a 13°C demonstrou resultados positivos como a redução das alterações nos grãos na maioria dos casos estudados independentemente da umidade de armazenamento dos grãos. As temperaturas mais elevadas de armazenamento, associadas às maiores umidades dos grãos, foram as que provocaram maiores reduções na atividade antioxidante, no teor de compostos fenólicos solúveis totais, na solubilidade proteica, no teor de lipídeos, no teor de proteínas e nas variáveis do perfil colorimétrico. Os grãos expostos as temperaturas de 8°C e 13°C apresentaram as menores alterações ao longo dos 5 tempos testados. Deixando visível que podemos, de acordo com a demanda e as condições operacionais, trabalhar sobre a temperatura de armazenamento e a umidade dos grãos para solucionar gargalos das unidades de secagem e armazenamento, fazendo, assim, o aumento da capacidade de recebimento de sorgo durante o pico de safra, em que o processo de secagem pode ser um entrave operacional.

Palavras chave: Qualidade tecnológica, nutricionais, *Sorghum bicolor* (L.) Moench,

Abstract

DA CRUZ, David Bandeira. **Storage of sorghum: effects of moisture and temperature on technological and nutritional parameters of sorghum.** 2019. 68f. Thesis (Doctoral Degree in Food Science and Technology) - Graduate Program in Food Science and Technology, Agronomy School Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2018

The Brazilian production estimate of sorghum grains was 2.135 million tons in 2019, occupying the sixth position among all countries. The producing regions of Brazil are practically distributed. The culture is distributed in all regions, which shows the adaptation of the culture to the edaphoclimatic conditions existing in the country. The final quality of the product after storage is directly related to the quality of the grains at the time of harvesting, however the humidity and the storage temperature have vital importance for the maintenance of this quality, being able to undergo changes. The objective of the present study was to evaluate the effects of temperature and storage time on the technological and nutritional quality parameters of sorghum grains, produced in Rio Grande do Sul state, harvested with nearly 22% of humidity, dried to the of 17, 14 and 11% humidity. The sorghum grains were stored at temperatures of 25, 18, 13 and 8°C for a period of one year, where the analyzes were done at time 0, 3, 6, 9 and 12 months. Storage at 13°C showed excellent results, reducing grain changes in most of the cases studied regardless of grain storage moisture. The highest storage temperatures associated with the highest grain moisture were those that caused the greatest reductions in antioxidant activity, total soluble phenolic compounds content, protein solubility, lipid content, protein content and profile variables colorimetric. The study demonstrated that it is possible, depending on demand and operating conditions, work on storage temperature and grain moisture to solve bottlenecks in the drying and storage units, thus increasing sorghum collection capacity during the peak harvest, in which the desiccation process can be an operational hindrance.

Key words: *Sorghum bicolor* (L.) Moench, technological quality, nutritional.

Lista de Figuras

Figura 1. Distribuição geográfica do cultivo – Sorgo.....	18
Figura 2. Estrutura do grão de Sorgo.	19
Figura 3. Representação da cor sólida no sistema Hunter de cor, corrigido pela CIELab.....	32..... 28
Figura 4. Peso de mil grãos (g) de grãos de sorgo armazenados a 11% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.	32
Figura 5. Peso de mil grãos (g) de grãos de sorgo armazenados a 14% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses. ...	Erro! Indicador não definido.
Figura 6. Peso de mil grãos (g) de grãos de sorgo armazenados a 17% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.	331
Figura 7. Peso volumétrico de grãos de sorgo armazenados a 11% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.	35
Figura 8. Peso volumétrico de grãos de sorgo armazenados a 14% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.	353
Figura 9. Peso volumétrico de grãos de sorgo armazenados a 17% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.	364
Figura 10. pH de grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.....	43
Figura 11. pH de grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.....	441
Figura 12. pH de grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.....	442
Figura 13. Solubilidade proteica de grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses....	463
Figura 14. Solubilidade proteica de grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses....	464
Figura 15. Solubilidade proteica de grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses....	464
Figura 16. Fenólicos solúveis totais de grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.	49

Figura 17. Fenólicos solúveis totais de grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses..	520
Figura 18. Fenólicos solúveis totais de grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses..	520
Figura 19. Atividade antioxidante pelo método ABTS de grãos de sor_ armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.	542
Figura 20. Atividade antioxidante pelo método ABTS de grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.	550
Figura 21. Atividade antioxidante pelo método ABTS de grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.	553
Figura 22. Atividade antioxidante pelo método DPPH dos grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.	575
Figura 23. Atividade antioxidante pelo método DPPH dos grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.	575
Figura 24. Atividade antioxidante pelo método DPPH dos grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses.	586

Lista de Tabelas

Tabela 1. Comparativo de área, produtividade e produção do sorgo.	18
Tabela 2. Delineamento experimental para avaliar as alterações nas propriedades tecnológicas dos grãos de sorgo armazenados sobre diferentes condições de umidade e temperaturas pelo período de 12 meses.....	275
Tabela 3. Teor de Umidade grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.	38
Tabela 4. Teor de proteínas de grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses...	39
Tabela 5. Teor de Lipídeos grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.	40
Tabela 6. Teor de Cinzas grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.	42
Tabela 7. Cor L de grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.	486
Tabela 8. Cor A de grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses..	497
Tabela 9. Cor B de grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.	508

Sumário

1.INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. Produção de sorgo.....	17
3.2. Características do grão	19
3.2.1. Pericarpo	20
3.2.2. Endosperma	20
3.2.3. Gérmen.....	21
3.3. Compostos fenólicos	21
3.4. Secagem e armazenamento.....	23
3.5. Temperatura de armazenamento.....	Erro! Indicador não definido.
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Material.....	26
4.2 Métodos.....	26
4.2.1 Desenho experimental	26
4.2.2 Umidade.....	28
4.2.3 Peso de mil grãos	28
4.2.4 Peso volumétrico	28
4.2.5 Composição química.....	28
4.2.6 pH dos grãos.....	28
4.2.7 Solubilidade da proteína.....	28
4.2.8. Perfil colorimétrico.....	29
4.2.9 Atividade antioxidante	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Peso de mil grãos.....	32
5.2 Peso volumétrico	34
5.3 Composição química dos grãos.....	37
5.4 pH dos grãos	43
5.5 Solubilidade proteica	45

5.6 Perfil colorimétrico	48
5.7 Atividade antioxidante.....	51
5.7.1 Fenólicos solúveis totais	51
5.7.2 Atividade antioxidante (ABTS).....	54
5.7.3 Atividade antioxidante (DPPH)	56
6. CONCLUSÕES.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1. INTRODUÇÃO

O sorgo é uma excelente fonte de energia e nutrientes utilizado na alimentação animal e humana. Em geral, a planta apresenta maior tolerância a condições adversas de produção do que outras espécies que tem uso similar. É um dos cereais de maior importância no mundo, tendo no Brasil um potencial a ser explorado e ampliado frente ao potencial agrícola do país, com uma produção estimada na safra 2019 de 2.135 milhões de toneladas, produzidos em uma área de 782.200ha (CONAB, 2019).

A cultura é uma ótima alternativa para diversificação de culturas de verão, apresentando uma boa tolerância ao déficit hídrico e reduzido custo de produção. A fisiologia da planta apresenta uma capacidade de reduzir o metabolismo ou paralisar seu crescimento em períodos com pouca chuva, sendo reestabelecido ao retorno da irrigação ou da chuva, (MAGALHÃES et al., 2003).

Dentre as espécies, o sorgo granífero se destaca por suas características de possuir cerca de 90% valor nutricional do milho e o cultivo semelhante, proporcionando uma alternativa a cultura do milho (ZANDONADI, 2015).

Devido ao seu potencial e sua baixa exigência tecnológica de produção, torna-se uma importante cultura para pequenos e médios produtores. O consumo humano exige que o cereal passe por um pré-processamento, o que pode resultar em alterações na biodisponibilidade de nutrientes e metabólitos.

O armazenamento, para apresentar bons resultados, depende da qualidade inicial dos grãos, mas isso não é o único responsável pelo sucesso do processo. Fatores como temperatura, umidade dos grãos, umidade relativa do ar, atmosfera de armazenamento, teor de impurezas, insetos, ácaros e tempo de armazenamento têm relevância.

Entre os fatores listados, a temperatura é um dos principais que interferem na qualidade dos grãos durante o armazenamento, acelerando as reações bioquímicas e metabólicas dos mesmos. Temperaturas mais baixas nos grãos reduzem a velocidade de reações metabólicas e bioquímicas,

permitindo a manutenção das características iniciais de armazenamento dos grãos por períodos mais longos.

Existem poucos estudos que avaliaram efeitos da temperatura de armazenamento para os grãos de sorgo, porém os grãos podem permanecer nas unidades armazenadoras por períodos superiores a 12 meses, devido as condições de mercado que favorecem ou não a comercialização.

O armazenamento de grãos em sistema refrigerado é uma alternativa para a manutenção da qualidade do produto, pois diminui a atividade de água, reduz a taxa respiratória e também retarda o desenvolvimento dos insetos e da microflora presente, independentemente das condições climáticas da região, permitindo o armazenamento por maiores períodos de tempo. Porém, ainda faltam estudos para a determinação das temperaturas seguras de armazenamento para os diferentes níveis de umidade dos grãos que garantam a manutenção da qualidade final do produto.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos das temperaturas e da umidade de armazenamento na qualidade tecnológica e nutricional de grãos de sorgo ao longo de 5 períodos de armazenamento.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar o efeito da temperatura de 8°C, 13°C, 18°C e 25°C de armazenamento sobre as propriedades tecnológicas dos grãos de sorgo, utilizando os parâmetros de peso mil grãos, peso volumétrico e o perfil colorimétrico e os nutricionais, compreendendo as demais análises utilizadas no estudo.

Avaliar o efeito do armazenamento ao longo de 5 períodos, sobre as propriedades tecnológicas e nutricionais dos grãos de sorgo.

Avaliar o efeito da umidade de armazenamento nas propriedades tecnológicas e nutricionais dos grãos de sorgo ao longo do armazenamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Produção de sorgo

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench) é uma poacea anual, pertencente ao grupo das plantas com metabolismo C4, de estação quente, inserida a tribo *Andropogoneae*, gênero *Sorghum*. Trata-se uma espécie ereta, com sistema radicular ramificado e profundo, altura variável de até 1,5m , folhas largas, planas, parecidas com as do milho, com até 1m de comprimento por 0,5 - 15cm de largura, com colmo robusto e medula macia. Sua panícula é ereta, compacta, multiflora, ovalada a elíptica, de 10 - 30 cm de comprimento por 4 – 10 cm de diâmetro (EMBRAPA, 2000).

A produção nacional estimada de sorgo para safra de 2018/2019, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019) foi de 2.135 milhões de toneladas. Deixando o Brasil como o décimo maior produtor mundial do cereal, 58% dos grãos produzidos no mundo tem sua utilização na alimentação humana, produção de álcool e uso industrial. Enquanto o restante, os 42% são gastos como forma de ração na produção agropecuária. Esses padrões de consumo e utilizações vêm se mantendo nos últimos anos.

Os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos contribuindo com 20% da produção mundial, tendo como o segundo maior, México com 12% do cereal. A Argentina obteve no mesmo ano 10% da produção mundial, ou seja, representa uma produção de aproximadamente três vezes superior ao Brasil, ressaltando que o Brasil tem potencial para expandir a produção de sorgo.

A produção brasileira (Figura 1) distribui-se por todas as regiões do país, mostrando-se adaptada às diferenças climáticas, conforme dados da Conab.

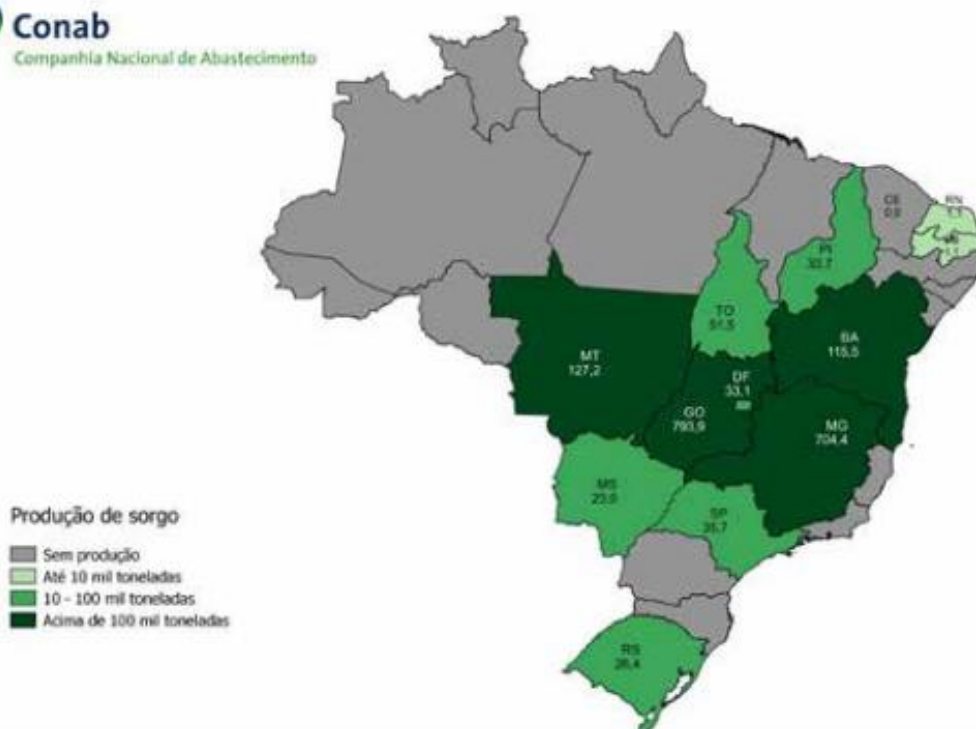


Figura 1. Distribuição geográfica do cultivo – Sorgo.
Fonte: Conab, 2019.

O país apresentou no ano de 2018 - em comparação com 2017 - um acréscimo de 3,9% de área plantada, passando de 628,5 para 652,8 mil hectares plantados. Porém, com a redução da produtividade, a produção total apresentou um acréscimo de apenas 0,8% (Tabela 1).

Tabela 1. Comparativo de área, produtividade e produção do sorgo.

Região	Área (Em mil ha)		Produtividade (Em kg/ha)		Produção (Em mil t)	
	Safra 17/18	Safra 18/19	Safra 17/18	Safra 18/19	Safra 17/18	Safra 18/19
Norte	32,7	32,7	1.651	1.575	53,9	51,5
Nordeste	224,7	229,6	1.812	659	407,1	151,4
Centro- Oeste	295,1	295,1	3.022	3.311	891,6	977,2
Sudeste	220,7	220,7	3.436	3.353	758,2	740,1
Sul	9,0	9,5	2.777	2.777	25,0	26,4
Brasil	782,2	787,6	2.731	2.472	2.135,8	1.946,6

Fonte: Conab

Nota: Estimativa em janeiro/2019

O maior produtor de sorgo do país é o estado de Goiás, que lidera a produção nacional com 793,3 mil toneladas, acréscimo de 11,7% em relação à safra anterior, seguido por Minas Gerais que produziu 704,4 mil toneladas e como terceiro maior produtor o estado do Mato Grosso com um total de 127,2 mil toneladas.

3.2. Características do grão

Os grãos de sorgo apresentam uma grande diversidade quando levado em consideração a sua coloração, formato, tamanho e outros aspectos anatômicos (CORREIA, 2010). Estruturado basicamente como os demais cereais, apresentando os elementos principais: pericarpo, endosperma e gérmen (Figura 2). A distribuição relativa destes três componentes varia conforme a espécie de sorgo, sendo o peso médio do pericarpo 7,9%, do endosperma 82,3% e do gérmen 9,8% do grão (HUBBARD et al., 1950). A proporção entre o endosperma e o gérmen é geralmente de 8,4:1 (FAO, 1995).

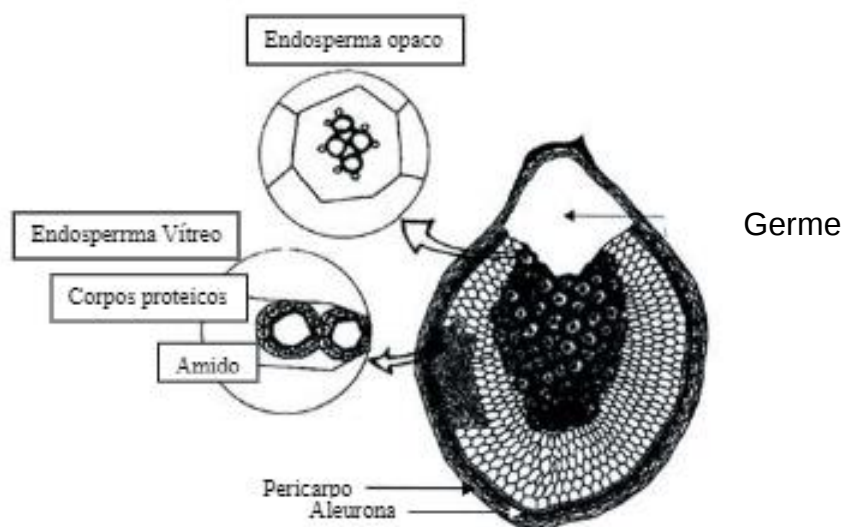


Figura 2. Estrutura do grão de Sorgo.

Fonte: Adaptado de CORREIA, 2010.

3.2.1. Pericarpo

O pericarpo, elemento mais externo do grão, é composto por três subcamadas: o epicarpo, o mesocarpo e o endocarpo (SERNA-SALDIVAR E ROONEY, 1995). O epicarpo é camada mais externa do pericarpo, subdivide-se em epiderme e hipoderme. A epiderme é constituída por células grossas, alargadas e retangulares com um revestimento cutínico na superfície exterior. Na epiderme encontram-se pigmentos. A hipoderme, por sua vez, é constituída por células ligeiramente menores e tem de uma a três camadas celulares de espessura (FAO, 1995).

O mesocarpo é a parte mais espessa do pericarpo, no entanto a sua espessura varia muito, de acordo com o genótipo. O mesocarpo do sorgo, contrariamente ao dos outros cereais, contém pequenos grânulos de amido (1-4 μm). Certas linhagens de sorgo possuem um pericarpo muito fino com apenas alguns vestígios de células do mesocarpo (HOSENEY et al., 1987).

O endocarpo, camada mais interna do pericarpo, é composto por células transversais e por uma camada de células tubulares que transportam a umidade para o grão. Na maturação do grão, verifica-se o rompimento das camadas de células transversais e tubulares (FAO, 1995).

3.2.2. Endosperma

O maior componente do grão é o endosperma, importante tecido de armazenamento. A camada mais externa do endosperma é a aleurona, cujas células contêm corpos proteicos com pequenos corpos lipídicos e são ricas em minerais, vitamina B e algumas enzimas hidrolizantes (FAO, 1995). As zonas periféricas do endosperma apresentam uma textura córnea.

As células do endosperma imediatamente abaixo das células de aleurona contêm grânulos de amido e proteínas. O amido contido nestas células não está facilmente disponível ao ataque enzimático, a menos que as proteínas que lhe estão associadas também sejam atacadas (CHANDRASHEKAR E KIRLEIS, 1988).

O endosperma do sorgo divide-se em duas partes visivelmente identificáveis. A parte mais externa é de aparência vítrea, enquanto a mais interna é opaca ou amilácea. A razão entre estas duas partes parece depender de questões genéticas. Os grânulos de amido no endosperma vítreo possuem forma poligonal e encontram-se empacotados sem espaços vazios entre eles (HOSENEY et al., 1974, SEKINGER & WOLF, 1973).

3.2.3. Gérmen

As duas partes principais do gérmen são o embrião e o escutelo. O escutelo é um tecido de armazenamento, rico em lipídeos, proteínas, enzimas e minerais (FAO, 1995).

3.3. Compostos fenólicos

O sorgo é rico em compostos bioativos, que têm capacidade para sequestrar radicais livres e contribuir na promoção da saúde, prevenir a obesidade, diabetes e câncer (QUEIROZ, *et. al.*, 2011, MORAES, *et al.*, 2012; CARDOSO *et al.*, 2014).

Os fenólicos são incluídos na categoria de neutralizadores de radicais livres, e são eficientes na prevenção da oxidação. Em alimentos, eles são os responsáveis pela cor, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa (ANGELO & JORGE, 2007). Os compostos fenólicos presentes em sorgos apresentam duas grandes categorias que são os ácidos fenólicos e flavonoides (AWIKA & ROONEY, 2004). Os ácidos fenólicos são classificados como derivados de ácido hidroxibenzoico ou hidroxicinâmico que por suas vezes são derivados dos ácidos benzoicos e cinâmico, respectivamente (WANISKA & BRANDYOPADHYAY, 1989; AWIKA & ROONEY, 2004; KAMATH, CHANDRASHEKAR & RAJINI, 2004).

Os flavonoides são metabólitos secundários das plantas, considerados o maior grupo de compostos fenólicos (BALASUNDRAM, SUNDRAM & SAMMAN, 2006). São caracterizados estruturalmente pela presença do esqueleto básico contendo 15 átomos de carbono na forma C6- C3-C6 (BROUILLARD, 1982). As antocianinas pertencem à família dos flavonoides e

compõem um grupo de pigmentos responsáveis pela coloração de tecidos vegetais.

As antocianinas do sorgo apresentam vantagens comerciais quando comparadas com as antocianinas de frutas e hortaliças (AWIKA, ROONEY & WANISKA, 2004), e são também considerados potenciais fontes de corantes alimentícios naturais (AWIKA & ROONEY, 2004; CASTANEDA-OVANO, PACHECO-HERNANDEZ & PAÉZ-HERNANDEZ 2009).

Os taninos encontrados no sorgo são do tipo condensado, conhecidos como proantocianidinas e possuem alto peso molecular (DYKES & ROONEY, 2006), são também conhecidos por se ligarem a proteínas, carboidratos e outros nutrientes limitando o valor nutricional dos alimentos, diminuindo a sua digestibilidade (RUBANZA, et al., 2005; BARROS, AWIKA & ROONEY, 2012). A estabilidade térmica de pigmentos das 3-deoxiantocianidinas já foi avaliada por Yang, Dykes & Awika, (2014) que demonstrou boa estabilidade quando submetidas a 95°C por 2 horas e 121°C por 30 minutos.

Apesar dos altos níveis de compostos bioativos encontrados em alguns genótipos de sorgo, ainda não há informações na literatura a respeito da estabilidade e/ou comportamento desses compostos ao longo do armazenamento. Contudo, estudos relacionados à influência de variáveis envolvidas no armazenamento, como tempo e temperatura, sobre as características nutricionais e funcionais do sorgo são importantes para uso desse cereal na alimentação humana (QUEIROZ et al., 2011).

A ingestão de compostos fenólicos na dieta humana pode trazer vários benefícios à saúde, sendo associados com a redução do risco de doenças crônicas, além de suas propriedades antioxidantes (DENG et al., 2013; ACOSTA-ESTRADA, GUTIÉRREZ-URIBE & SERNA-SALDIVAR, 2014). Para o consumo humano, os compostos fenólicos complexados apresentam grande importância, pois sua liberação ocorre de forma parcial no trato gastrointestinal, através da ação de enzimas esterases e xilanases, oriundas da microflora existente no meio. Após liberados, esses compostos desempenham suas funções benéficas à saúde (ACOSTA-ESTRADA, GUTIÉRREZ-URIBE & SERNASALDIVAR, 2014).

3.4. Secagem e armazenamento

Como todos os grãos produzidos em larga escala, o sorgo apresenta uma produção sazonal e utiliza a secagem como método de conservação. Nas últimas safras constatou-se um crescente aumento da produção, devido ao grande incremento de tecnologias. Entretanto, esse não ocorre no período da pós-colheita, resultando gargalos ou pontos de estrangulamento no fluxo das etapas de recepção e secagem dos grãos. Isso, além de reduzir a cadência operacional, provoca redução na qualidade dos grãos, ocasionada principalmente pelos elevados teores de umidade e impurezas que contêm, quando provém da colheita mecanizada, que é mais utilizada atualmente (COLUSSI, 2014).

Os grãos de sorgo quando são colhidos com umidade ideal, em torno de 22%, necessitam serem secados até níveis ideais de umidade para o armazenamento seguro. No entanto, no período da safra, as unidades de secagem de grãos, visando aumentar o fluxo nos secadores, tendem a utilizarem temperaturas mais elevadas do que as recomendadas. A secagem pode se conceber como um processo de transferência simultânea de calor e de massa. O ar, ao mesmo tempo em que fornece calor ao sistema, absorve água do produto em forma de vapor. O gasto de energia provocado pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento do ar, contudo, o ar absorve em forma de vapor o que perdeu sob a forma de calor, caracterizando um processo isoentálpico. Grãos são produtos higroscópicos e, como tais, sofrem variações no seu conteúdo de água, de acordo com as condições do ar que os rodeia (ELIAS, 2007).

A secagem artificial é realizada a partir de estruturas específicas construídas para esse fim, onde o ar é forçado a passar pela massa de grãos, possibilitando a secagem de grandes quantidades de grãos em curtos espaços de tempo independentemente das condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente (AOSANI, 2007).

A forma mais comum de armazenagem de cereais e leguminosas é a do grão vivo. Esse contém alta concentração de substâncias nutritivas e é fácil de armazenar, graças ao baixo teor de água (GWINNER, 1997). O armazenamento por longos períodos requer medidas de controle de qualidade

obtidas em testes, onde fatores como variação de umidade relativa e temperatura do ar, umidade e temperatura do grão, bem como a avaliação do grau de desenvolvimento de microrganismos, de insetos e de ácaros, a presença de roedores e a variação de acidez do óleo, entre outros, devem ser considerados (ELIAS, 2002; ELIAS, 2007).

Os grãos armazenados em condições inadequadas resultam em aumentos na oxidação lipídica e do conteúdo de ácidos graxos livres (GALLIARD, 1986), formando um complexo com a amilose helicoidal ou reduzindo o comprimento das cadeias longas de amilopectina, alterando as propriedades físicas e nutricionais do grão e dos seus produtos finais (HAYFA; COPELAND, 2007; HASJIM et al., 2010). Um dos fatores que o armazenamento dos grãos pode provocar é a diminuição na solubilidade e digestibilidade da proteína (CHRASTIL, 1990).

Grãos amiláceos devem ser armazenados com um teor de água próximo a 13%, objetivando manter as características que possuem imediatamente após o pré-armazenamento, tais como a viabilidade dos grãos, a qualidade industrial e as propriedades nutritivas (ELIAS, et al. 2012a; ELIAS, et al., 2012b; VANIER et al., 2017).

Os grãos apresentam características próprias que lhe conferem propriedades específicas, interferindo tanto nos seus processos conservativos quanto nos tecnológicos e ao ser armazenados ficam sujeitos a ação de diversos fatores como calor, umidade, oxigênio, organismos associados, atividade enzimática, entre outros (ROCKENBACH, 2018).

No armazenamento um dos fatores de maior importância na conservação dos grãos é a temperatura de acondicionamento (REED et al., 2007; PARK et al., 2012), o resfriamento artificial vem apresentando um aumento de utilização, tendo como foco a diminuição do metabolismo dos grãos, reduzindo sua deterioração preservando assim a qualidade por maior período de tempo (PARAGINSKI, 2015).

O aumento ou redução da temperatura tem influência na velocidade das reações bioquímicas e metabólicas dos grãos, onde as reservas armazenadas nos tecidos de sustentação são desdobradas, transportadas e resintetizadas no eixo embrionário (SANTOS et al., 2004; PEREZ-GARCIA & GONZALEZ-

BENITO, 2006; AGUIAR *et al.*, 2012). As frações que compõem os grãos podem sofrer alterações ao longo do período de armazenamento (ELIAS, 2002).

Os lipídeos, dentre os macro constituintes dos grãos, são os mais suscetíveis a deterioração durante o armazenamento, seguidos pelas proteínas e carboidratos (ROCKENBACH, 2018). Quando armazenados inadequadamente os lipídios sofrem rancificação, originando ácidos graxos livres, já as proteínas podem sofrer desaminização e complexação com outros componentes e os carboidratos estão sujeitos a processos fermentativos (VANIER, *et al.* 2012). Os minerais dos grãos, representado pelo teor de cinzas, é, dos constituintes químicos, a fração que apresenta as menores variações quantitativas durante o armazenamento (ELIAS, *et al.*, 2015).

Alterações no perfil de ácidos fenólicos, também são observadas durante o armazenamento, ocorrendo consideráveis reduções no conteúdo dos insolúveis e aumento no conteúdo dos solúveis, resultante da ação enzimática e não enzimática, com degradação de fenólicos insolúveis e fenólicos solúveis (ZHOU *et al.*, 2004).

Reduções na qualidade nutricional ocorrem durante o armazenamento em grãos de milho com o aumento da temperatura de armazenamento, no entanto, nenhuma alteração significativa em qualquer nutriente foi observado no armazenamento (REHMAN *et al.* 2002). Com temperaturas de armazenamento de 25°C houve uma menor infestação de colônias de fungos em sementes de soja (AGUIAR *et al.* 2012), estudos em grãos de milho, que para os fungos de pós-colheita *Aspergillus niger* e *Aspergillus carbonarius* a temperatura de desenvolvimento foi na faixa de 15 a 35°C (ALBORCH *et al.* 2011)

O armazenamento de grãos em sistema refrigerado é uma alternativa para a manutenção da qualidade do produto, pois diminui a atividade da água, reduz a taxa respiratória dos grãos, e também retarda o desenvolvimento dos insetos-pragas e da microflora presente, independentemente das condições climáticas da região (RIGUEIRA *et al.*, 2009; REED *et al.*, 2007; REHMAN *et al.*, 2002).

Existem alguns estudos com uso de resfriamento artificial realizados em grãos de feijão, soja, arroz e milho (BRACKMANN et al., 2002; RIGUEIRA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011; PARK et al., 2012; PARAGINSKI et al., 2015), porém poucas pesquisas científicas foram realizadas com grãos de sorgo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Foram utilizados grãos de sorgo granífero do cultivar BRS 330 produzidos no município de Pinheiro Machado (31° 34' 42" S 53° 22' 52" W), colhidos manualmente com umidade próxima a 22%. Logo após a colheita, os grãos foram acondicionados em sacos de polietileno transportados até o Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial - DCTA, Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" - FAEM, Universidade Federal de Pelotas - UFPel, onde o estudo foi realizado e conduzido o experimento.

Os grãos foram secos em secador protótipo do Laboratório de Grãos, com umidades até ao entorno de 11%, 14% e 17%. Após a secagem, as amostras foram divididas em três partes iguais. Depois da secagem, os grãos foram conservados às temperaturas de 8°C, 13°C, 18°C e 25°C com variações de $\pm 1^\circ\text{C}$, onde todas as amostras dentro de suas temperaturas sofreram as mesmas influências do ambiente durante o período de armazenamento.

4.2 Métodos

4.2.1 Desenho experimental

Amostras com 1kg de sorgo, foram armazenadas em sacos de polietileno de baixa densidade com dimensões de 15 x 25cm, em ambiente com temperatura controlada ao abrigo da luz. O armazenamento foi realizado em BOD, exceto para os grãos armazenados a temperatura de 25°C, sendo em triplicata, ou seja, 3 pacotes com 1kg para cada tratamento, o sistema de armazenamento foi o semi-hermético onde a cada 30 dias as amostras eram abertas e realizada um revolvimento dos grãos com o objetivo de troca de gases e posteriormente as amostras eram vedadas novamente.

Os grãos, com umidades de 11%, 14% e 17%, foram armazenados em câmaras com controle de temperatura, sendo armazenados com 8 °C, 13 °C, 18°C e 25°C, com variações de ± 1 °C. As avaliações foram realizadas em triplicata no início do armazenamento, e aos 3, 6, 9 e aos 12 meses. Para cada tratamento foi coletada uma amostra de cada pacote, que posteriormente foi homogeneizada e analisada em triplicata para cada variável dependente. O delineamento experimental está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Delineamento experimental para avaliar as alterações nas propriedades tecnológicas dos grãos de sorgo armazenados sobre diferentes condições de umidade e temperatura pelo período de 12 meses.

Tratamentos	Variáveis Independentes			Variáveis dependentes
	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Tempo (meses)	
1	11	8	inicial	Umidade
2	14	13	3	Peso de mil grãos
3	17	18	6	Peso Volumétrico
4		25	9	Cinzas
5			12	Lipídios
6				Proteína bruta
7				pH dos grãos
8				Proteína solúvel
...				Perfil colorimétrico
...				Atividade antioxidante
				Compostos fenólicos totais
60				DPPH
				ABTS

4.2.2 Umidade

A umidade foi determinada segundo normas da (ASAE, 2000), durante 24h a 105°C.

4.2.3 Peso de mil grãos

O peso de 1000 grãos foi realizado segundo Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com contagem de três repetições de 1000 grãos cada e pesagem em balança de precisão. Os resultados foram expressos pela média das repetições.

4.2.4 Peso volumétrico

O peso volumétrico foi realizado segundo Regras para Análise de Sementes com oito repetições em balança de precisão (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos pela média das repetições.

4.2.5 Composição química

A determinada segundo normas da (ASAE 2000), durante 24h a 105°C. Os teores de proteína bruta, cinzas, extrato etéreo foram determinados de acordo com metodologia da *Association of Official Analytical Chemists* – AOAC (2006). O teor de fibra bruta total foi realizado utilizando método químico, determinando o resíduo orgânico insolúvel da amostra, após digestão ácida e alcalina, sendo descontados destes os valores de cinzas (BRASIL, 1991).

4.2.6 pH dos grãos

O pH dos grãos foi determinado segundo método proposto por Rehman, Zabib e Zafar (2002). Um filtrado de 2g de amostra moída (35 mesh) foi homogeneizado em 20mL de água destilada e em seguida realizou-se a leitura do pH utilizando um eletrodo de vidro pH metro (Pye Unicam, Inglaterra).

4.2.7 Solubilidade da proteína

A solubilidade proteica foi determinada 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 foram centrifugadas a 5300rpm durante 20min 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 realizada pelo método descrito pela AOAC (2006), o mesmo utilizado para avaliação do teor de proteína bruta.

4.2.8. Perfil colorimétrico

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.

A cor de um produto é definida pelo uso da escala de cor tridimensional que descreve os diferentes componentes da cor (Figura 3). No sistema Hunter de cor, corrigido pela *CIE Lab*, os valores de L' (luminosidade) variam entre zero (preto) e 100 (branco), os valores de a' e b' (coordenadas de cromaticidade) variam de -a' (verde) até +a' (vermelho), e -b' (azul) até +b' (amarelo) (HUNTERLAB, 1998). A luz refletida é composta de um componente escuro ou luminoso em adição a um vermelho ou verde e a um componente azul ou amarelo, determinada por colorímetros ou espectrofotômetros (COULTATE, 2004).

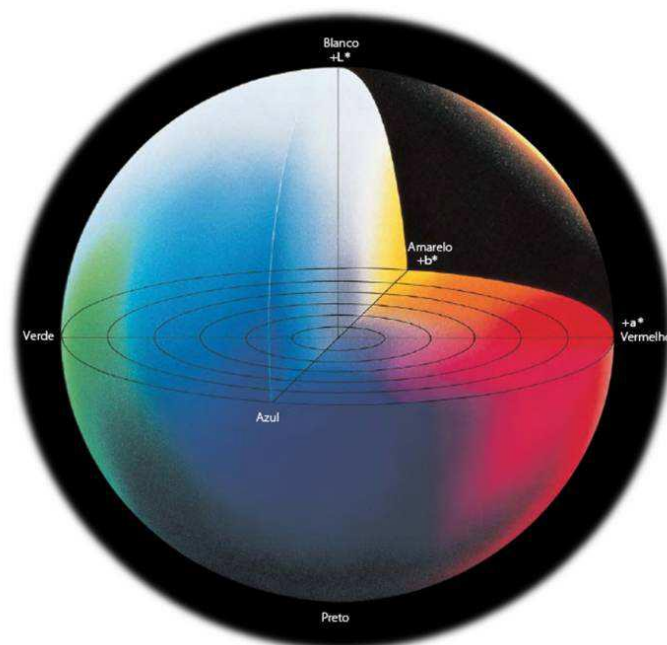


Figura 3. Representação da cor sólida no sistema Hunter de cor, corrigido pela *CIELab*, no qual os valores de L' (luminosidade) variam entre zero (preto) e 100 (branco), os valores de a' e b' (coordenadas de cromaticidade) variam de $-a'$ (verde) até $+a'$ (vermelho), e $-b'$ (azul) até $+b'$ (amarelo). Fonte: Adaptado de Minolta, 1994; Hunterlab, 1998

4.2.9 Atividade antioxidante

4.2.9.1 Extração dos compostos

A extração dos compostos antioxidantes foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Qiu, Jin e Dong (2010) com modificações. Foram pesados 2g de amostra tubos de falcon de 50mL, ao abrigo de luz, e adicionados 20mL de metanol 80%, em seguida os tubos foram agitados em mesa de agitação a 160rpm durante 1h, seguido de centrifugação a 4000rpm por 5min em centrífuga *Eppendorf Centrifuge 5430R*, o sobrenadante foi coletado. Foram realizadas duas extrações na mesma amostra e, ao final das extrações, os sobrenadantes foram juntados e concentrados em rotaevaporador a 35°C. O extrato de metanol seco foi redissolvido em 25mL de metanol P.A e utilizado para a quantificação de fenólicos solúveis totais, ABTS e DPPH.

4.2.9.2 Quantificação de Fenólicos solúveis totais

Os teores de fenólicos solúveis e insolúveis foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme citado por Zielinski e Kozłowska (2000). Foram adicionados 100µL de extrato (extraído conforme o item 4.2.9.1) em tubo de falcon de 15mL e completado o volume para 500µL com água destilada. Em seguida, foram adicionados 250µL de reagente Folin-Ciocalteu 1N e aguardado 8min 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, agitado e colocado em ambiente ao abrigo da luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro (Jenway 6705 UV/Vis) a 725nm após 2h. Os teores de compostos fenólicos solúveis foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico.g⁻¹ de amostra, através de curva realizada com padrão de ácido gálico.

4.2.9.3 Atividade antioxidante pelo método DPPH

A determinação da capacidade antioxidante foi realizada de acordo com o método DPPH (2,2-difenil-1-picrihidrazila) adaptado de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). Os valores de DPPH foram expressos em micromoles de Trolox equivalente por grama de sorgo usando a curva de calibração Trolox. A solução padrão de DPPH foi feita com 0,042g de DPPH dissolvidos em etanol p.a. A solução diluída foi preparada com uma alíquota de 10mL de solução padrão de DPPH em 45mL de etanol p.a. Foi certificado que a absorbância inicial a 515nm da solução diluída estava em torno de $1,1 \pm 0,02$. A solução para leitura compreendia de 500 µL de extrato em tubo falcon de 15mL (envolto em papel alumínio), com 3mL de etanol p.a e 300µL de solução diluída DPPH. Aguardou-se 45 minutos e realizou-se a leitura em espectrofotômetro (marca Jenway, modelo 6705 UV) a 515nm.

4.2.9.4 Atividade antioxidante pelo método ABTS

Para determinar a atividade antioxidante, pelo método ABTS, radical livre 2,2'azino-bis-(3-etilbenzotiazolin 6-ácido sulfônico), foi utilizado o método descrito por Re et al. (1999). A solução de uso foi feita através da adição de 0,088mL de persulfato de potássio a 4,912mL de solução padrão de ABTS.

Diluiu-se 1mL da solução contendo o radical ABTS em 90mL de etanol e ajustou-se absorvância até $0,70 \pm 0,05$ utilizando comprimento de onda de 734nm. Foi utilizado o mesmo extrato feito no item 4.2.9.1 onde em tubos Falcon de 15ml colocou-se 0,1mL da amostra e 3,9mL da solução diluída de ABTS. Agitou-se em vortex brevemente e transcorridos 6 minutos (tempo necessário para que a reação ocorresse), efetuou-se a leitura de absorvância em espectrofotômetro com 734nm de comprimento de onda. Os resultados obtidos da leitura espectrofotométrica foram calculados através de curva de calibração e os resultados finais foram expressos em $\mu\text{Mol Trolox.g}^{-1}$. O espectrofotômetro foi zerado com etanol P.A.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Peso de mil grãos

Nas Figuras 4, 5 e 6 estão apresentados o peso de mil grãos de sorgo armazenados por 5 períodos totalizando 12 meses com as umidades 11%, 14% e 17% armazenamento com temperaturas de 8°C, 13°C, 18°C e 25°C.

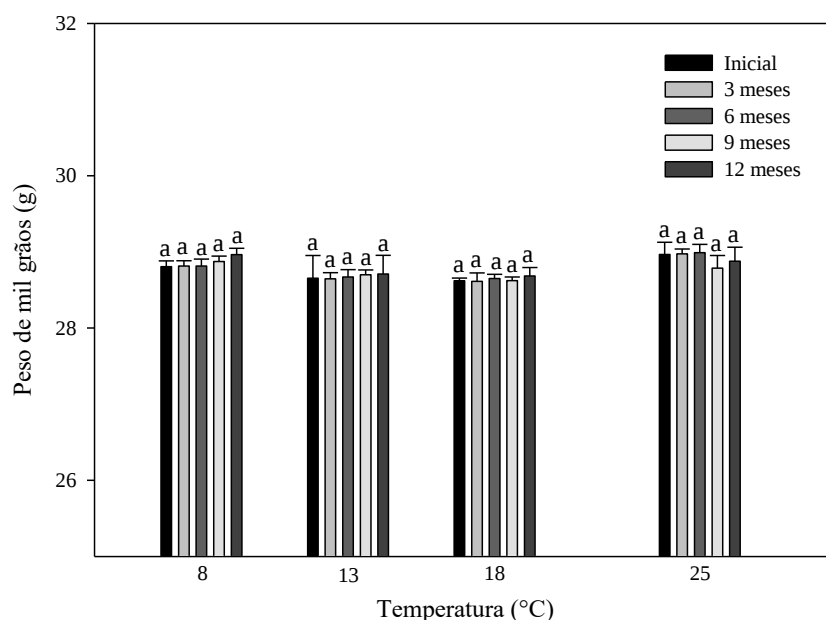


Figura 4. Peso de mil grãos (g) de grãos de sorgo armazenados a 11% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.

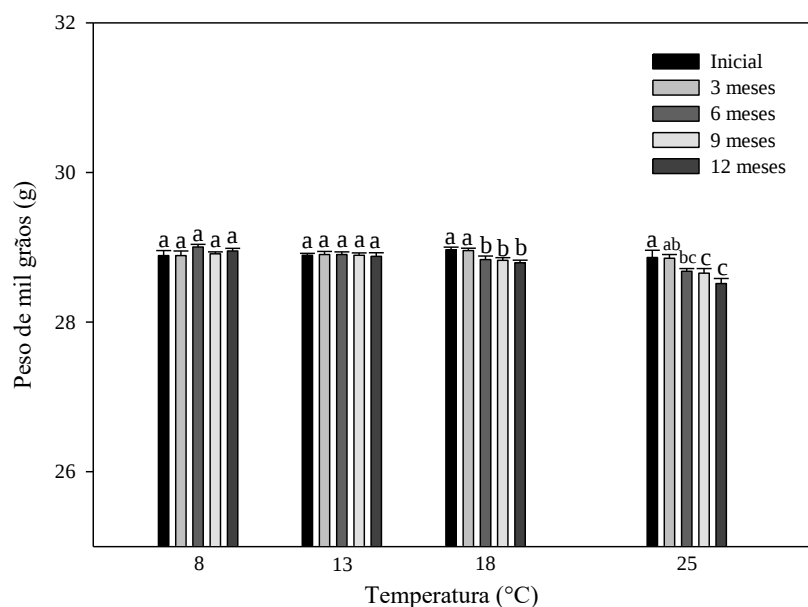


Figura 5. Peso de mil grãos (g) de grãos de sorgo armazenados a 14% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.

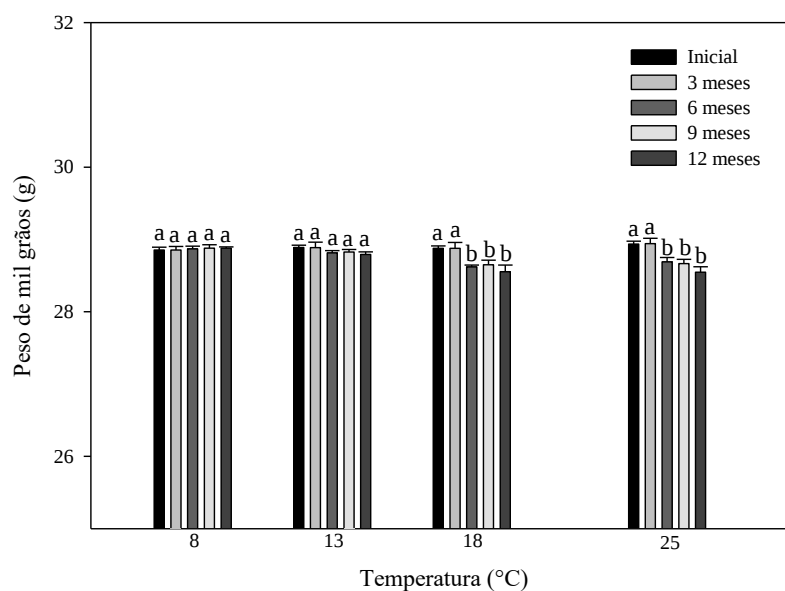


Figura 6. Peso de mil grãos (g) de grãos de sorgo armazenados a 17% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.

Não foram verificadas reduções no do peso de mil grãos ao longo do armazenamento, demonstrando que a redução do teor de umidade para 11% foi determinante para preservação deste parâmetro. Em estudo anterior realizado por Paraginski (2013), nos quais os grãos armazenados com teor de

umidade de 12% houve significativa redução do peso mil grãos quando armazenado por um período de 12 meses a temperatura de 25°C.

A Figura 5 apresenta o peso de mil grãos de grãos de sorgo armazenados por 12 meses com 14% de umidade em diferentes temperaturas, o qual demonstra redução significativa a partir do sexto mês quando armazenado a 18°C e a partir do terceiro mês quando armazenado a 25°C.

Ziegler (2016), ao armazenar arroz integral com diferentes pericarpos por 6 meses com as temperaturas de 16, 24, 32 e 40°C, verificou que temperaturas mais elevadas propiciam redução significativa no peso de mil grãos.

A Figura 6 apresenta o peso de mil grãos de grãos de sorgos armazenados por 12 meses com umidade de armazenamento de 17% e diferentes temperaturas. Pode-se verificar que a partir do sexto mês de armazenamento os grãos armazenados nas temperaturas de 18°C e 25°C apresentaram redução significativa no peso de mil grãos. Os resultados encontrados estão de acordo com Antunes et al. (2011), que observaram redução no peso de mil grãos ao avaliar grãos de milho durante o armazenamento. Esses autores atribuem esta redução ao ataque de insetos, porém neste estudo não houve ataque de insetos. A redução do peso de mil grãos é resultado do consumo das reservas energéticas ocasionado pelo aumento da atividade respiratória dos grãos quando armazenados por longos períodos.

5.2 Peso volumétrico

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam o peso volumétrico dos grãos de sorgo armazenados por 5 períodos totalizando 12 meses com as umidades 11%, 14% e 17% armazenamento com temperaturas de 8°C, 13°C, 18°C e 25°C.

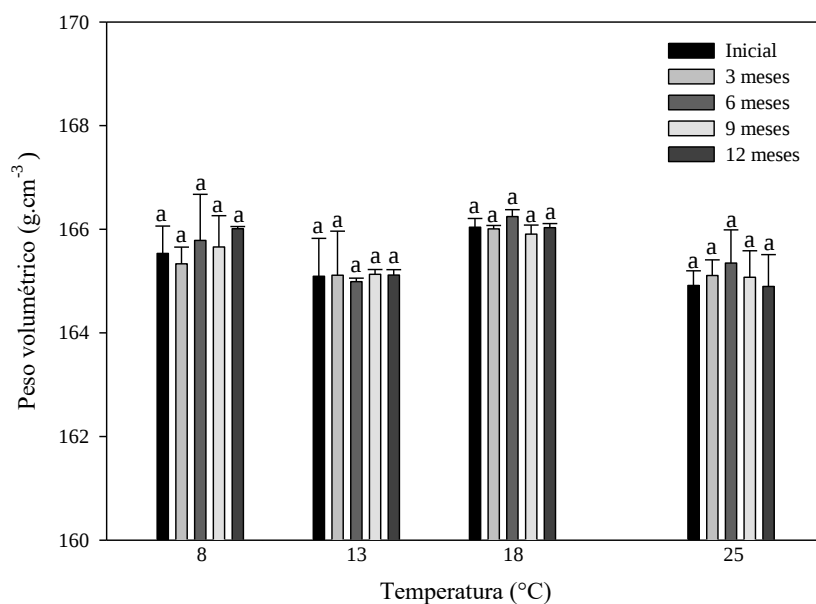


Figura 7. Peso volumétrico de grãos de sorgo armazenados a 11% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.

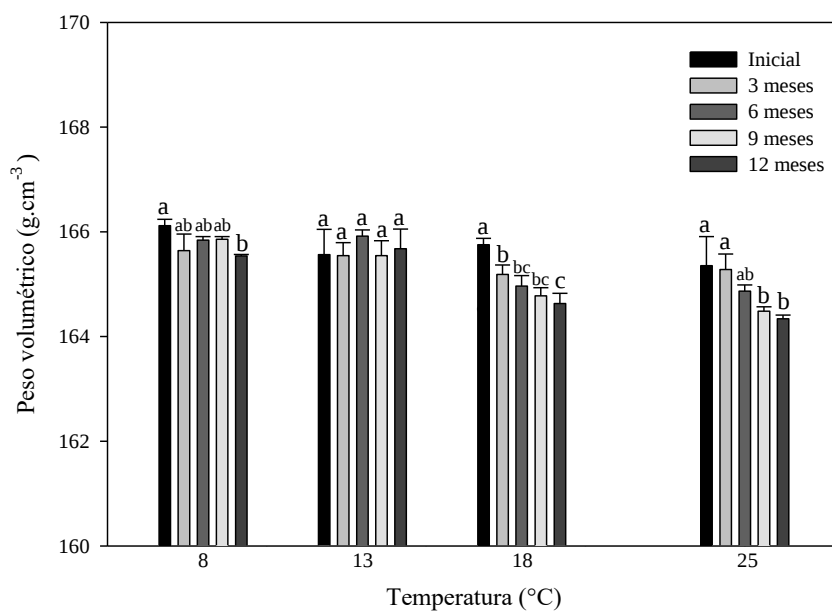


Figura 8. Peso volumétrico de grãos de sorgo armazenados a 14% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.

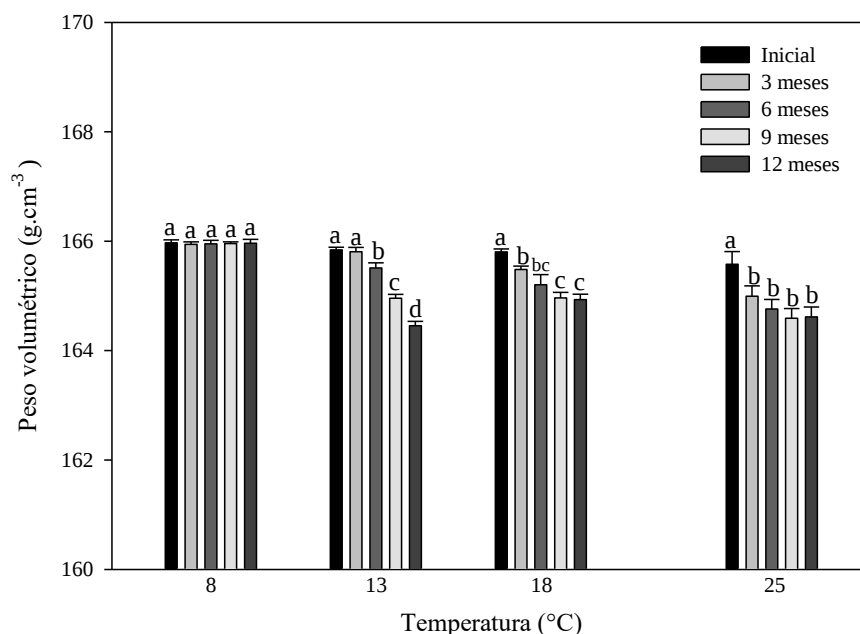


Figura 9. Peso volumétrico de grãos de sorgo armazenados a 17% de umidade e diferentes temperaturas pelo período de 12 meses.

A Figura 7 apresenta o peso volumétrico dos grãos de sorgo armazenados por 12 meses com 11% de umidade em diferentes temperaturas. Não foi verificada diferenças significativas para nenhuma das temperaturas de armazenamento. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Costa et al. (2010), pois não observaram diferenças significativas ao armazenar grãos hermeticamente em silos bolsas nas temperaturas de 25, 30 e 35°C.

A Figura 8 apresenta o peso volumétrico dos grãos armazenados pelo período 12 meses com 14% de umidade em diferentes temperaturas. Os resultados indicam que ocorreu uma redução no peso volumétrico dos grãos com 14% de umidade de armazenamento, exceto quando armazenado a temperatura de 13°C. Estudos indicam que o aumento ou redução deste parâmetro está relacionado diretamente com o a variação de umidade dos grãos ao longo do período de armazenamento (KARAOĞLU et al., 2010; FARONI et al., 2005).

A Figura 9 apresenta o peso volumétrico dos grãos de sorgo armazenados por 12 meses de armazenamento com 17% de umidade. Pode-se observar que apenas quando armazenados a 8°C não ocorreram alterações

significativas no peso volumétrico do sorgo com 17% de umidade. Já para as demais temperaturas ocorreu uma redução do peso volumétrico a partir do sexto mês. A temperatura de 8°C foi efetiva para manutenção deste parâmetro, mantendo os grãos estáveis por até 12 meses de armazenamento. Estes resultados estão em acordo com os encontrados por Paraginski (2013), onde foi verificada redução significativa do peso volumétrico ao longo do período de armazenamento. Rutz (2013) também observou comportamento similar ao armazenar trigo por um período de 180 dias com diferentes temperaturas.

5.3 Composição química dos grãos

Os resultados obtidos através da umidade dos grãos de sorgo armazenados com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas por 12 meses serão apresentados na Tabela 3.

Não foram observadas variações significativas no teor de umidade ao longo dos 12 meses de armazenamento, independente se as temperaturas eram 8, 13, 18 ou 25°C. Os resultados são semelhantes aos encontrados por Paraginski et al. (2015), que avaliaram grãos de milho armazenados a 15 e 25°C.

As alterações do teor de água dos grãos armazenados são resultado do equilíbrio higroscópico dos grãos com as condições do ambiente de armazenamento. Quando a pressão de vapor do grão é maior do que a do ar circundante, ocorre o fenômeno de dessorção, havendo transferência de vapor de água para o ar, reduzindo, desta forma, a umidade dos grãos (PARAGINSKI et al., 2015, SILVA et al., 1995). Porém, vários fatores interferem no equilíbrio higroscópico. De acordo com Carneiro et al. (2005), fatores como composição química dos grãos, integridade física, estado sanitário, gradientes termo hídricos e operações de pós-colheita interferem no equilíbrio higroscópico e na qualidade dos grãos.

Tabela 3. Teor de Umidade grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.

Temperatura (°C)	Umidade %	Teor de Umidade (%)				
		Meses				
		0	3	6	9	12
8	11	11,27 ^a	11,45 ^a	11,35 ^a	11,47 ^a	11,64 ^a
13		11,39 ^a	11,85 ^a	11,30 ^a	11,45 ^a	11,47 ^a
18		11,81 ^a	11,43 ^a	11,46 ^a	11,30 ^a	11,35 ^a
25		11,19 ^a	11,38 ^a	11,51 ^a	11,77 ^a	11,77 ^a
8	14	14,35 ^a	14,47 ^a	14,64 ^a	14,39 ^a	14,51 ^a
13		14,30 ^a	14,45 ^a	14,47 ^a	14,47 ^a	14,09 ^a
18		14,42 ^a	14,60 ^a	14,39 ^a	14,42 ^a	14,53 ^a
25		14,47 ^a	14,64 ^a	14,39 ^a	14,35 ^a	14,45 ^a
8	17	17,38 ^a	17,40 ^a	17,42 ^a	17,3 ^a	17,39 ^a
13		17,51 ^a	17,4 ^a	17,61 ^a	17,55 ^a	17,59 ^a
18		17,49 ^a	17,35 ^a	17,39 ^a	17,39 ^a	17,36 ^a
25		17,44 ^a	17,29 ^a	16,31 ^a	17,80 ^a	17,28 ^a

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As variações de umidade dos grãos ocorrem mais facilmente em sistema de armazenamento semi-hermético em relação ao hermético. Esse sistema permite trocas de ar com o ambiente externo de armazenamento, justificando assim a oscilação ao longo do armazenamento, pois os mesmos buscam o equilíbrio higroscópico com o ar circundante. Além das trocas, o metabolismo dos grãos e dos microrganismos associados aos grãos produzem calor e água, o que pode provocar alterações na umidade tanto em sistemas herméticos como em semi-herméticos (PARAGINSKI et al., 2015).

Os resultados obtidos para o teor de proteína bruta dos grãos de sorgo armazenados com diferentes teores de umidades e diversas temperaturas pelo período de 12 meses de armazenamento serão apresentados na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4. Teor de proteínas de grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.

Temperatura (°C)	Umidade %	Proteínas				
		Meses				
		0	3	6	9	12
8	11	4,43 ^{a,A}	4,43 ^{a,A}	4,40 ^{a,A}	4,39 ^{a,A}	4,40 ^{a,A}
13		4,43 ^{a,A}	4,37 ^{a,A}	4,36 ^{a,A}	4,38 ^{a,A}	4,37 ^{a,A}
18		4,36 ^{a,A}	4,27 ^{a,A}	4,35 ^{a,A}	4,30 ^{a,A}	4,30 ^{a,A}
25		4,29 ^{a,A}	4,31 ^{a,A}	4,34 ^{a,A}	4,34 ^{a,A}	4,28 ^{a,A}
8	14	4,23 ^{ab,A}	4,26 ^{a,A}	4,28 ^{ab,A}	4,28 ^{ab,A}	4,27 ^{ab,A}
13		4,28 ^{ab,A}	4,27 ^{a,A}	4,22 ^{ab,AB}	4,22 ^{ab,AB}	4,18 ^{B,a}
18		4,21 ^{ab,A}	4,18 ^{ab,A}	4,01 ^{bc,B}	4,01 ^{c,B}	3,94 ^{c,B}
25		4,28 ^{ab,A}	4,00 ^{c,B}	4,00 ^{c,B}	3,86 ^{c,BC}	3,86 ^{c,BC}
8	17	4,20 ^{ab,A}	4,19 ^{ab,A}	4,20 ^{ab,A}	4,20 ^{ab,A}	4,20 ^{b,A}
13		4,19 ^{b,A}	4,14 ^{b,B}	4,12 ^{b,BC}	4,10 ^{b,C}	3,97 ^{c,D}
18		4,19 ^{b,A}	4,15 ^{ab,B}	4,11 ^{b,B}	4,04 ^{b,C}	3,95 ^{c,D}
25		4,19 ^{b,A}	4,03 ^{c,B}	3,97 ^{c,BC}	3,96 ^{c,C}	3,92 ^{c,D}

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Foi observado que os grãos armazenados com 11% de umidade não apresentaram redução do teor de proteínas independente da temperatura de armazenamento testada, assim como quando armazenados com 8°C, indo ao encontro do estudo realizado por Paraginski (2013) no qual os grãos de milho não sofreram alterações significativas ao longo de 12 meses independente das temperaturas de armazenamento testadas.

Os grãos de sorgo quando armazenados com 14 e 17% de umidade sofreram redução dos teores de proteínas ao longo dos 12 meses quando as temperaturas foram de 13, 18 e 25°C. Resultado semelhante aos encontrados por Santos (2016), que ao armazenar grãos de feijão caupi com 13 e 16% de umidade por 12 meses as temperaturas de 15 e 25°C apresentaram redução do teor proteico dos grãos.

Os resultados obtidos para o conteúdo de lipídios dos grãos de sorgo armazenados por 12 meses com diferentes teores de umidade e diversas temperaturas estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Teor de Lipídeos grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.

Temperatura (°C)	Umidade %	Teor de Lipídeos (%)				
		Meses				
		0	3	6	9	12
8	11	3,59 ^{a,A}	3,60 ^{a,A}	3,61 ^{a,A}	3,61 ^{a,A}	3,60 ^{a,A}
13		3,59 ^{a,A}	3,59 ^{a,A}	3,60 ^{a,A}	3,60 ^{a,A}	3,60 ^{a,A}
18		3,45 ^{b,A}	3,45 ^{b,A}	3,36 ^{ab,AB}	3,39 ^{b,AB}	3,33 ^{b,B}
25		3,44 ^{b,A}	3,35 ^{c,A}	3,32 ^{b,A}	3,38 ^{b,A}	3,21 ^{b,A}
8	14	3,57 ^{a,A}	3,60 ^{a,A}	3,56 ^{a,A}	3,56 ^{a,A}	3,57 ^{a,A}
13		3,59 ^{a,A}	3,56 ^{a,A}	3,56 ^{a,A}	3,56 ^{a,A}	3,61 ^{a,A}
18		3,60 ^{a,A}	3,57 ^{a,A}	3,35 ^{b,B}	3,36 ^{b,BC}	3,27 ^{b,C}
25		3,43 ^{b,A}	3,33 ^{c,B}	3,32 ^{b,BC}	3,32 ^{b,C}	3,21 ^{b,C}
8	17	3,58 ^{a,A}	3,59 ^{a,A}	3,59 ^{a,A}	3,58 ^{a,A}	3,59 ^{a,A}
13		3,56 ^{a,A}	3,52 ^{a,A}	3,46 ^{ab,A}	3,46 ^{ab,B}	3,10 ^{c,C}
18		3,55 ^{a,A}	3,48 ^{ab,A}	3,45 ^{ab,A}	3,45 ^{ab,B}	3,07 ^{c,C}
25		3,48 ^{ab,A}	3,47 ^{ab,A}	3,35 ^{b,B}	3,35 ^{b,B}	3,10 ^{c,C}

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os grãos armazenados a temperatura de 8°C mantiveram os teores de lipídeos assim como os grãos com 11% armazenados a 13 e 18°C, e com 14% armazenados a 13°C, resultado semelhante ao obtidos por Paraginski et al. (2015).

Durante os 12 meses de armazenamentos dos grãos, demonstraram que a temperatura de armazenamento de 25° C foi a que menos conservou os teores de lipídios para os grãos armazenados com os maiores teores de umidades. A temperatura de armazenamento de 18% também ocasionou redução nos teores de lipídeos dos grãos quando armazenados com 14 e 17% de umidade. Os resultados diferem de Gutkoski et al. (2009), que encontraram

redução no teor de lipídios ao avaliar grãos de milho armazenados em silo aerado com ar natural durante 120 dias.

A redução do teor de lipídios, segundo Antunes et al. (2011), ocasiona problemas para a fabricação de rações de vez que a gordura é um dos constituintes mensurados na elaboração da dieta voltada para o ganho de peso de animais de corte comercial e a redução desses valores pode comprometer o rendimento dos animais.

A melhor condição de armazenamento para preservar o teor de lipídeos foi encontrada com a menor temperatura de 8°C, pois temperaturas mais baixas reduzem o metabolismo dos grãos ocasionando uma manutenção dos teores lipídicos.

O teor de cinzas dos grãos de sorgo armazenados em diferentes temperaturas e com diversas umidades está apresentado na Tabela 6.

O conteúdo mineral dos grãos de sorgo não sofreu alterações estatísticas ao longo do armazenamento independente a umidade dos grãos utilizada no estudo e as condições de armazenamento. Pesquisadores utilizando outros grãos, tais como feijão, milho e arroz, encontraram resultados semelhantes, não havendo alterações significativas no teor de cinzas dos grãos ao longo do armazenamento (SANTOS, 2016; PARAGINSKI, 2013; ZIEGLER et al., 2017).

Tabela 6. Teor de cinzas grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.

Temperatura (°C)	Umidade %	Teor de Cinzas (%)				
		Meses				
		0	3	6	9	12
8	11	1,24 ^{a,A}	1,25 ^{a,A}	1,24 ^{a,A}	1,21 ^{a,A}	1,24 ^{a,A}
13		1,19 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}	1,17 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}
18		1,19 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,15 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}
25		1,19 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,17 ^{a,A}
8	14	1,18 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}
13		1,17 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,23 ^{a,A}
18		1,18 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,13 ^{a,A}
25		1,19 ^{a,A}	1,14 ^{a,A}	1,15 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}
8	17	1,17 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}	1,16 ^{a,A}	1,17 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}
13		1,18 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}	1,21 ^{a,A}	1,17 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}
18		1,19 ^{a,A}	1,20 ^{a,A}	1,17 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}
25		1,20 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}	1,18 ^{a,A}	1,19 ^{a,A}	1,20 ^{a,A}

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O aumento do teor de minerais durante o armazenamento é resultado da degradação da fração orgânica, pois a atividade metabólica dos grãos e dos microrganismos associados consome materiais orgânicos, produzindo gás carbônico, água, calor e outros produtos, podendo alterar a quantidade de minerais presentes nos grãos, assumindo valores proporcionalmente maiores. Segundo Bhattacharya e Raha (2002) e Fleurat- Lessard (2002) a matéria orgânica é consumida durante o armazenamento. Os resultados estão de acordo com Deliberali et al. (2010).

5.4 pH dos grãos

Nas Figuras 10, 11 e 12 estão apresentados o pH dos grãos de sorgo armazenados por 5 períodos, totalizando 12 meses com as umidades 11%, 14% e 17%, com temperaturas de 8°C, 13°C, 18°C e 25°C.

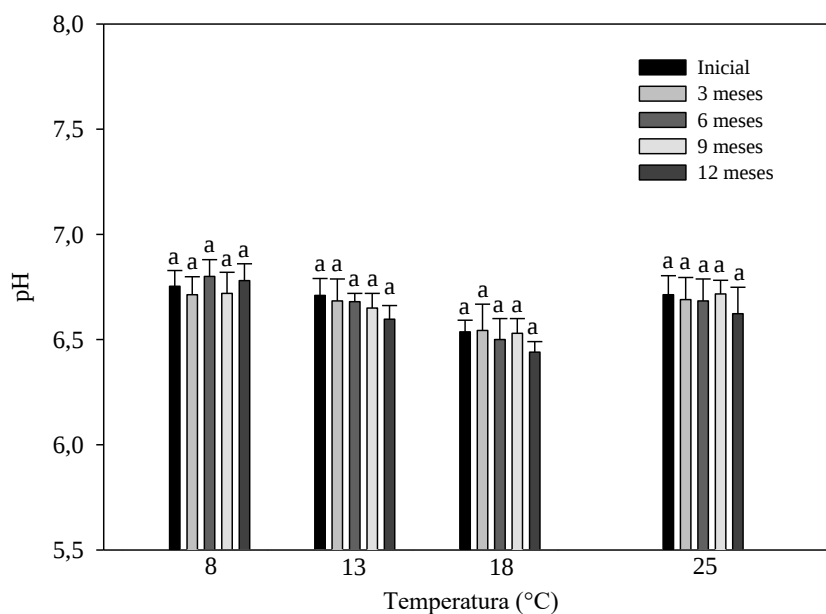


Figura 10. pH de grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

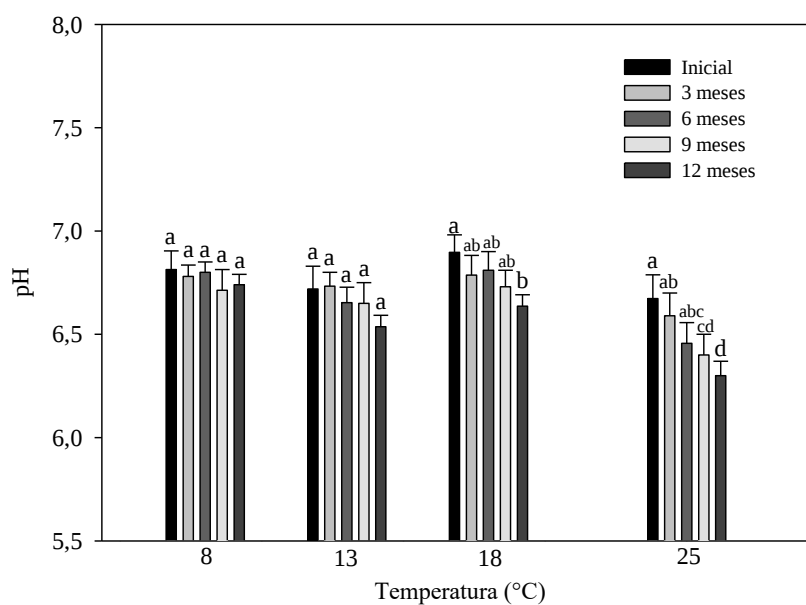


Figura 11. pH de grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

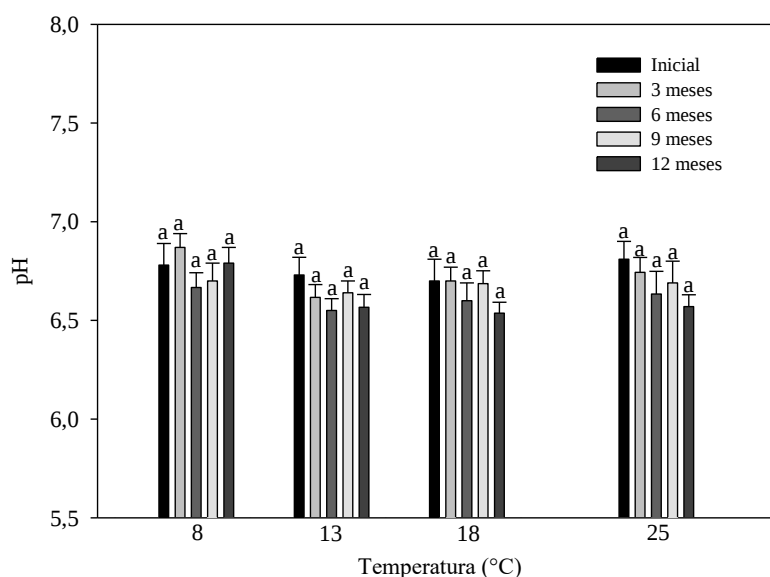


Figura 12. pH de grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A Figura 10 apresenta o pH dos grãos durante 12 meses de armazenamento com 11% de umidade em diferentes temperaturas. Os resultados não apresentaram alterações estatisticamente significativas para nenhuma das temperaturas de armazenamento. Demonstrando que foi mantida a organização celular ao longo do armazenamento, visto que o aumento de íons de hidrogênio na solução está associado a desestruturação celular (ROCKENBACH, 2018; PARAGINSKI et al., 2014).

A Figura 11 apresenta o pH dos grãos de após os 12 meses de armazenamento com 14% de umidade e diferentes temperaturas. Pode-se verificar que as temperaturas de armazenamento de 8°C e 13°C não acarretaram alterações significativas do pH dos grãos, independente das umidades de armazenamento das mesmas.

Já as temperaturas de armazenamento de 18°C e 25°C demonstraram uma redução do pH dos grãos ao longo do período de armazenamento deste cereal. Esse resultado vai ao encontro dos resultados obtidos por Rockenbach,

2018, no qual apresentou redução do pH ao fim de 6 meses de armazenamento.

Ziegler et al. (2017) armazenando arroz de pericarpo vermelho por 6 meses atribuiu a redução do pH dos grãos à lixiviação de íons de hidrogênio do interior das células para a solução, o que representa uma maior desestruturação celular dos grãos e indicam que esses grãos estão mais propensos a reações enzimáticas e químicas.

Na Figura 12 está apresentado o pH dos grãos de após os 12 meses de armazenamento com 17% de umidade. O pH dos grãos armazenados a temperatura ambiente de 25°C não apresentando alterações significativas ao longo do período. Resultado que diverge com estudos realizados por Ziegler et al. (2017) e Paraginski et al. (2014) e com os dados obtidos para os grãos armazenados a 14% de umidade.

5.5 Solubilidade proteica

Nas Figuras 13, 14 e 15 estão apresentados a solubilidade proteica dos grãos de sorgo armazenados por 5 períodos totalizando 12 meses com as umidades 11%, 14% e 17% armazenamento com temperaturas de 8°C, 13°C, 18°C e 25°C.

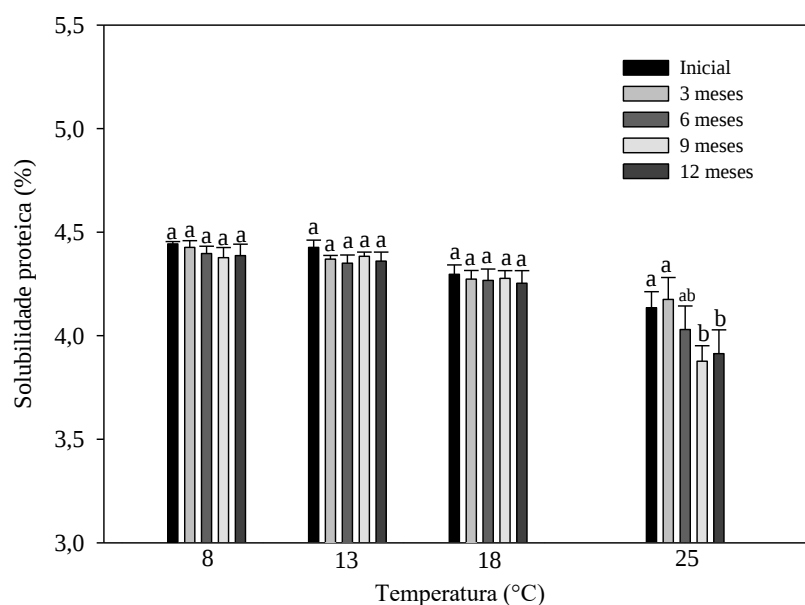


Figura 13. Solubilidade proteica de grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

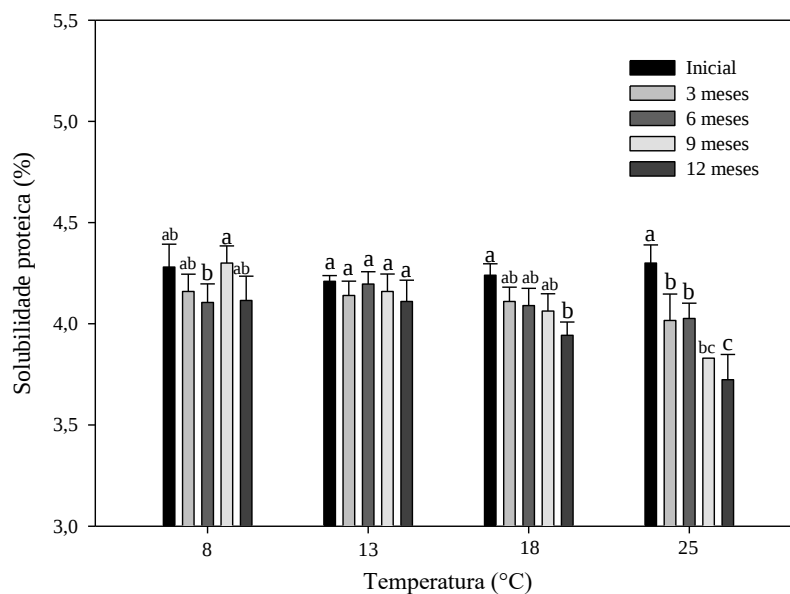


Figura 14. Solubilidade proteica de grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

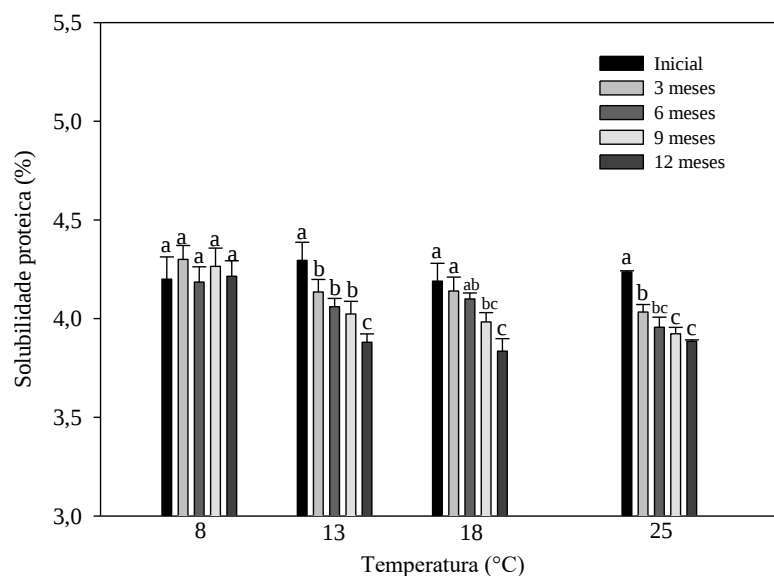


Figura 15. Solubilidade proteica de grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Na Figura 13 é apresentada a solubilidade proteica dos grãos com 11% de umidade armazenada por um período de 12 meses. As proteínas são classificadas quanto a sua solubilidade albuminas (solúveis em água), globulinas (solúveis em soluções salinas), prolaminas (solúveis em etanol 70%) e glutelinas (solúveis em ácidos ou bases) (OSBORNE, 1909). O estudo da solubilidade das albuminas é relevante para avaliar a qualidade e as interações que ocorrem com essas proteínas durante o armazenamento dos grãos (ZIEGLER et al., 2017).

Pode-se observar que as temperaturas de 8, 13 e 18°C não acarretaram em alterações estatísticas durante os 12 meses de armazenamento, porém quando armazenado por 25°C observou-se a redução da solubilidade. Estes resultados diferem dos encontrados Rockenbach (2018), porém já no comportamento não podemos observar que condições mais severas tendem a causar redução da solubilidade proteica

A Figura 14 apresenta a solubilidade das proteínas dos grãos armazenados com 14% de umidade por um período de 12 meses. Pode-se observar que ao fim de 12 meses de armazenamento tanto as expostas as temperaturas de 8°C quanto a 13°C mantiveram-se sem alterações estatísticas, mas quando as temperaturas de armazenamento foram de 18 e 25°C podemos observar que quanto maior a temperatura de armazenamento maior também foi a redução da solubilidade das proteínas.

Os resultados podem ser atribuídos às interações das proteínas com o amido e proantocianidinas, ocasionando a sua insolubilização (NASAR-ABBAS et al., 2009; SILVA et al. 2014; VANIER et al. 2015). As interações coloidais entre as proteínas e o amido formam estruturas físicas mais estáveis e insolúvel em água, causando assim a redução da solubilidade (SIRISOONTARALAK et al., 2007).

A Figura 15 apresenta a solubilidade das proteínas dos grãos com 17% de umidade armazenada por um período de 12 meses. Os resultados obtidos indicaram que quando armazenados com a menor temperatura (8°C) os grãos mantiveram sua a solubilidade proteica, porém, quando a temperatura foi elevada houve redução significativa a partir do terceiro mês de

armazenamento. Os resultados estão de acordo as pesquisas feitas com arroz, na qual ocorreram a redução da solubilidade proteica ao longo do armazenamento (ROCKENBACH, 2018 e ZIEGLER et al., 2017).

5.6 Perfil colorimétrico

Os resultados obtidos para o Valor L* dos grãos de sorgos armazenadas com umidades e temperaturas diferentes estão apresentados na Tabela 7. O Valor L* obtido pela análise em colorímetro, expressa a luminosidade da amostra, que varia de 0 (preto) a 100 (branco).

Foi observado que os grãos com 11% de umidade não sofreram mudanças estatísticas significativas quando armazenados com 8, 13 e 18°C, mas quando a temperatura foi de 25°C ocorreu um escurecimento dos grãos. Os demais tratamentos com 14 e 17% de umidade apresentaram escurecimento em todos as temperaturas avaliadas neste estudo.

Os valores encontrados estão de acordo com encontrados por Rockenbach, 2018 ao armazenar arroz com pericarpo vermelho constatou o escurecimento dos grãos.

Tabela 7. Cor L de grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diferentes temperaturas armazenados por 12 meses. Pelotas, 2018.

Temperatura (°C)	Umidade %	L				
		Meses				
		0	3	6	9	12
8	11	37,50 ^{c,A}	37,37 ^{b,A}	37,47 ^{b,A}	37,20 ^{b,A}	37,17 ^{b,A}
13		37,61 ^{c,A}	37,09 ^{b,A}	37,31 ^{b,A}	37,31 ^{b,A}	37,03 ^{b,A}
18		38,63 ^{bc,A}	38,54 ^{ab,A}	38,20 ^{ab,A}	38,02 ^{ab,A}	37,91 ^{b,A}
25		41,50 ^{a,A}	40,65 ^{a,b}	40,22 ^{a,BC}	39,50 ^{a,BC}	39,40 ^{a,C}
8	14	38,12 ^{bc,A}	37,12 ^{b,B}	37,27 ^{b,B}	37,16 ^{b,B}	36,91 ^{bc,B}
13		39,85 ^{b,A}	39,20 ^{a,b}	38,92 ^{a,B}	38,04 ^{ab,C}	37,23 ^{b,D}
18		39,61 ^{b,A}	39,56 ^{a,A}	38,77 ^{a,B}	38,13 ^{a,C}	37,40 ^{b,D}
25		39,75 ^{b,A}	38,58 ^{ab,B}	37,89 ^{b,C}	37,58 ^{b,CD}	37,01 ^{b,D}
8	17	37,75 ^{c,A}	37,17 ^{b,B}	36,99 ^{c,B}	36,79 ^{c,B}	36,27 ^{c,B}
13		38,64 ^{bc,A}	38,09 ^{b,B}	37,91 ^{b,B}	37,20 ^{b,C}	36,56 ^{c,D}
18		39,55 ^{b,A}	38,84 ^{ab,A}	38,41 ^{a,B}	37,77 ^{b,C}	36,31 ^{c,D}

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A produção de uma nova pigmentação durante o armazenamento é improvável, sendo que o escurecimento deve estar associado com a diminuição de compostos fenólicos totais por oxidação (ROCKENBACH, 2018), assim como Marles et al. (2008) atribui o escurecimento do tegumento de feijão tipo pinto, também conhecido como feijão cavalo, a oxidações enzimáticas de compostos fenólicos, transformando-os em pigmentos escuros, como quinonas.

Os resultados obtidos para o Valor A dos grãos de sorgo armazenados por 12 meses em diferentes temperaturas e umidades estão apresentados na Tabela 8. O Valor a* expressa a variação de cor do verde (-) ao vermelho (+).

Podemos observar que todos os grãos sofreram alterações no valor A deixando os grãos com um tom tendendo ao verde, os valores encontrados demonstram que a interação umidade alta e temperatura elevada causaram o maior esverdeamento dos grãos.

Tabela 8. Parâmetro colorimétrico a* de grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses.

Temperatura (°C)	Umidade %	A				
		Meses				
		0	3	6	9	12
8	11	16,57 ^{c,A}	16,32 ^{c,A}	16,28 ^{b,A}	16,17 ^{c,A}	16,18 ^{a,C}
13		16,32 ^{c,A}	16,32 ^{c,A}	16,38 ^{b,A}	16,26 ^{bc,A}	16,11 ^{b,A}
18		16,47 ^{c,A}	16,29 ^{c,A}	16,34 ^{b,A}	16,45 ^{b,A}	16,41 ^{b,A}
25		17,05 ^{bc,A}	16,90 ^{bc,A}	16,73 ^{ab,A}	16,60 ^{b,A}	16,36 ^{b,A}
8	14	16,69 ^{c,A}	16,40 ^{c,A}	16,34 ^{b,A}	16,22 ^{bc,A}	16,11 ^{b,A}
13		17,82 ^{ab,A}	17,34 ^{b,AB}	16,94 ^{ab,B}	16,55 ^{b,BC}	16,07 ^{b,C}
18		17,80 ^{ab,A}	17,35 ^{b,AB}	17,12 ^{a,B}	16,45 ^{b,BC}	16,00 ^{b,C}
25		17,93 ^{a,A}	17,30 ^{b,B}	17,22 ^{a,B}	16,95 ^{b,B}	16,16 ^{b,C}
8	17	16,44 ^{c,A}	17,21 ^{c,A}	16,18 ^{b,A}	16,14 ^{bc,A}	16,03 ^{b,A}
13		17,61 ^{b,A}	17,35 ^{c,A}	17,27 ^{a,A}	16,88 ^{b,AB}	16,25 ^{b,B}
18		18,19 ^{a,A}	17,64 ^{a,AB}	17,40 ^{a,AB}	17,20 ^{a,B}	17,01 ^{a,B}
25		17,86 ^{ab,A}	17,22 ^{b,AB}	17,12 ^{a,AB}	16,89 ^{b,BC}	16,00 ^{b,C}

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Hayashi et al. (2015), estudando a mudança de cor de arroz pericarpo vermelho ao longo de 5 anos, perceberam mudanças na tonalidade logo nos primeiros meses de armazenamento e atribuíram essas alterações à diminuição de fenóis solúveis em extrato aquoso e a degradação oxidativa de proantocianidinas.

Os resultados obtidos para o Valor b dos grãos de sorgo armazenados com 11, 14 e 17% de umidade sobre diferentes temperaturas de armazenamento, estão apresentados na Tabela 9. O valor b* expressa a intensidade da coloração amarela quando maior o valor mais amarelo e quanto menor indica que a tonalidade azul.

Tabela 9. Parâmetro colorimétrico b* de grãos de sorgo com diferentes teores de umidade em diversas temperaturas armazenados por 12 meses. Pelotas, 2018.

Temperatura (°C)	Umidade %	B				
		Meses				
		0	3	6	9	12
8	11	20,92 ^{a,A}	20,46 ^{ab,B}	20,14 ^{c,B}	20,81 ^{c,AB}	21,04 ^{c,A}
13		20,59 ^{a,AB}	20,40 ^{a,B}	20,63 ^{b,AB}	20,76 ^{c,AB}	20,96 ^{c,A}
18		20,65 ^{a,C}	20,95 ^{ab,BC}	21,10 ^{ab,B}	20,98 ^{c,BC}	21,53 ^{bc,A}
25		20,10 ^{a,E}	21,05 ^{a,D}	21,85 ^{a,C}	22,49 ^{a,B}	23,03 ^{a,A}
8	14	20,55 ^{a,C}	20,45 ^{ab,C}	21,12 ^{ab,B}	21,00 ^{c,B}	21,54 ^{bc,A}
13		19,96 ^{a,C}	20,55 ^{ab,B}	21,12 ^{ab,AB}	21,4 ^{b,AB}	21,76 ^{b,A}
18		19,97 ^{a,C}	20,11 ^{b,BC}	20,81 ^{b,B}	21,10 ^{c,AB}	21,32 ^{c,A}
25		20,95 ^{a,C}	20,85 ^{ab,C}	21,27 ^{a,BC}	21,55 ^{b,B}	22,02 ^{b,A}
8	17	20,74 ^{a,A}	20,38 ^{ab,A}	20,67 ^{b,A}	20,75 ^{c,A}	20,89 ^{c,A}
13		20,62 ^{a,A}	20,92 ^{ab,A}	21,26 ^{a,A}	21,45 ^{b,A}	21,60 ^{bc,A}
18		20,93 ^{a,C}	21,14 ^{a,BC}	21,54 ^{a,B}	22,13 ^{a,A}	22,04 ^{b,AB}
25		20,23 ^{a,B}	21,01 ^{a,AB}	20,85 ^{b,AB}	21,31 ^{b,A}	21,44 ^{bc,A}

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os grãos com 11% de umidade armazenados a 8 e 13°C por 12 meses não sofreram alterações significativas ao final do período, assim como os com

17% armazenados a 8°C, as demais condições testadas apresentaram um amarelecimento ao longo do armazenamento. Incrementos no valor b* ao longo do período de armazenamento estão associados aos fenômenos que provocaram mudanças no valor L* e a*. (CHEN et al., 2015).

A reação de Maillard também pode estar associada com as mudanças de coloração observadas neste estudo. Interações entre açúcares redutores e alguns aminoácidos desencadeiam uma série de reações que culminam com a formação de melanoidinas, composto de coloração escura (CHEN et al., 2015).

5.7 Atividade antioxidante

5.7.1 Fenólicos solúveis totais

Nas Figuras 16, 17 e 18 estão apresentados os fenólicos solúveis totais dos grãos de sorgo armazenados por 5 períodos totalizando 12 meses com as umidades 11%, 14% e 17% armazenamento com temperaturas de 8°C, 13°C, 18°C e 25°C.

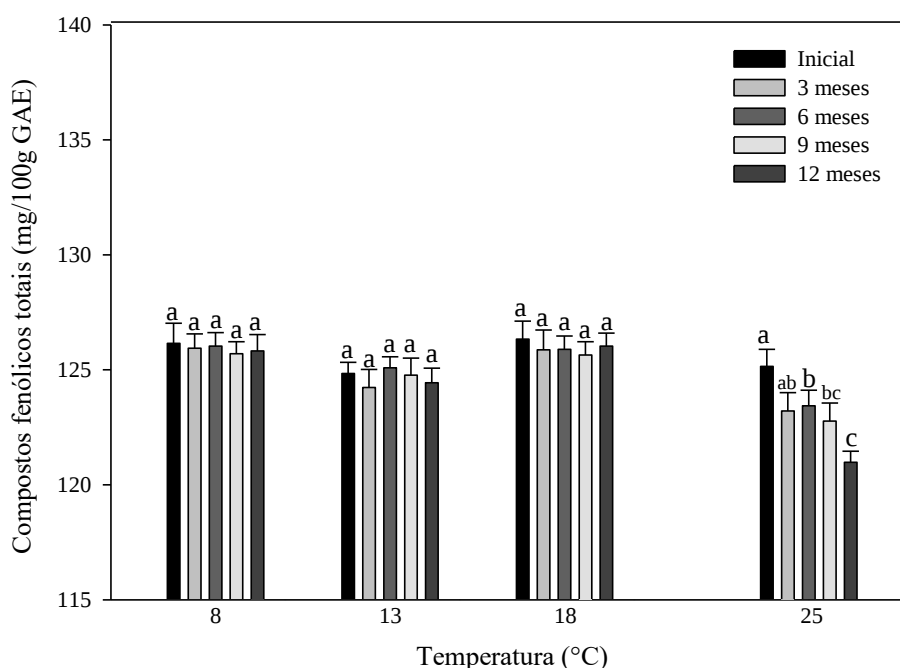


Figura 16. Fenólicos solúveis totais de grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

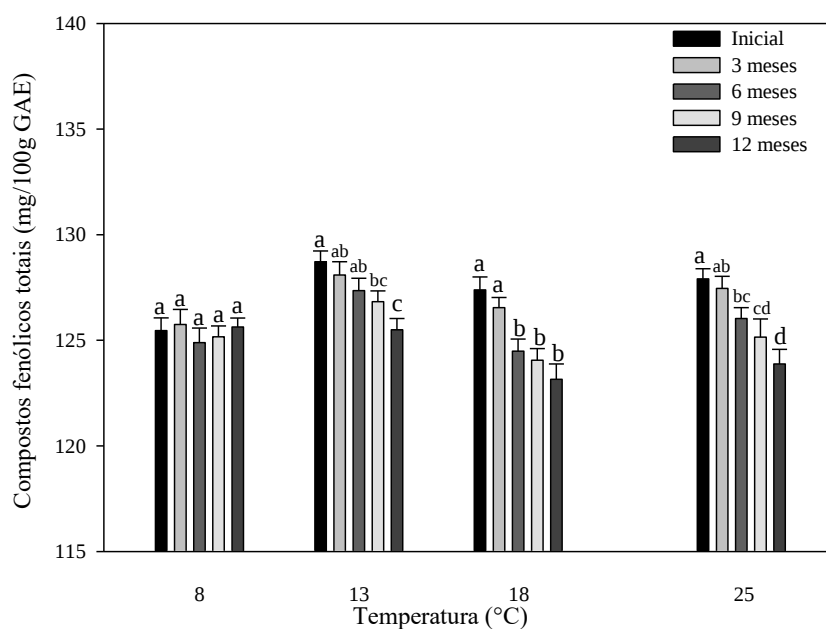


Figura 17. Fenólicos solúveis totais de grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

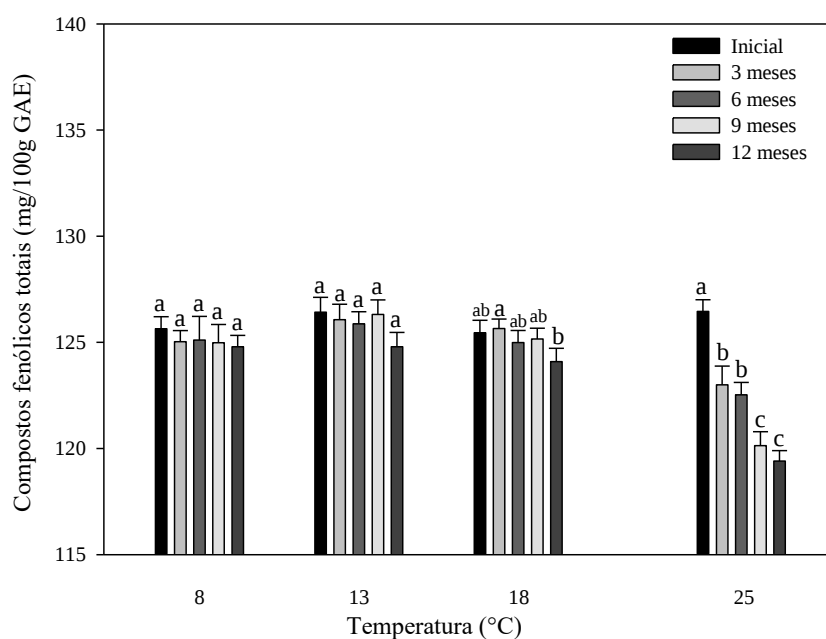


Figura 18. Fenólicos solúveis totais de grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos para o conteúdo de fenólicos solúveis totais de grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade por 12 meses estão apresentados na Figura 16. Os valores são dados em mg de ácido gálico.g⁻¹ de compostos fenólicos. Sabe-se que os compostos do metabolismo secundário das plantas apresentam variações em função do cultivar, das condições climáticas e de tipo de cultivo (YU et al., 2015). Pode-se observar que os compostos fenólicos totais dos grãos com 11% de umidade quando armazenados com temperaturas mais baixas não apresentaram redução estatística de seu conteúdo, sofrendo degradação apenas quando submetidas a temperatura de estocagem de 25°C, estes dados estão em acordo com Olivera et al. (2017) que ao armazenar grãos de sorgo encontrou estabilidade dos compostos fenólicos nos primeiros meses de armazenamento, ocorrendo uma redução do teor ao longo do armazenamento.

O conteúdo de fenólicos solúveis totais de grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade estão apresentados na Figura 17. Pode-se observar que os compostos fenólicos totais dos grãos quando armazenados com temperaturas de 8°C não sofreram diferenças ao longo do tempo, porém quando as temperaturas de armazenamento foram superiores os grãos apresentaram redução dos compostos fenólicos.

Em estudo realizado por Zhou et al. (2014) foi verificado redução no conteúdo de compostos fenólicos no armazenamento de grãos de arroz de pericarpo preto, após 6 meses na temperatura de 37°C, sendo essa redução atribuída à degradação térmica e a participação destes compostos em reações oxidativas.

Os fenólicos solúveis totais de grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade estão apresentados na Figura 18. Pode-se observar que os compostos fenólicos totais dos grãos quando armazenados com temperaturas de 8 e 13°C não sofreram diferenças ao longo do tempo, porém quando as temperaturas de armazenamento foram de 18 e 25°C os grãos apresentaram redução dos compostos fenólicos, e esta redução aumentou com o período de armazenamento. Resultado esse que vai ao encontro dos observados por Santos, (2016) que constatou redução dos teores de compostos fenólicos ao longo do armazenamento de grãos de feijão caupi a temperatura de 15 e 25°C.

5.7.2 Atividade antioxidante (ABTS)

Nas Figuras 19, 20 e 21 estão apresentadas a atividade antioxidante (ABTS) dos grãos de sorgo armazenados por 5 períodos totalizando 12 meses com as umidades 11%, 14% e 17% armazenamento com temperaturas de 8°C, 13°C, 18°C e 25°C.

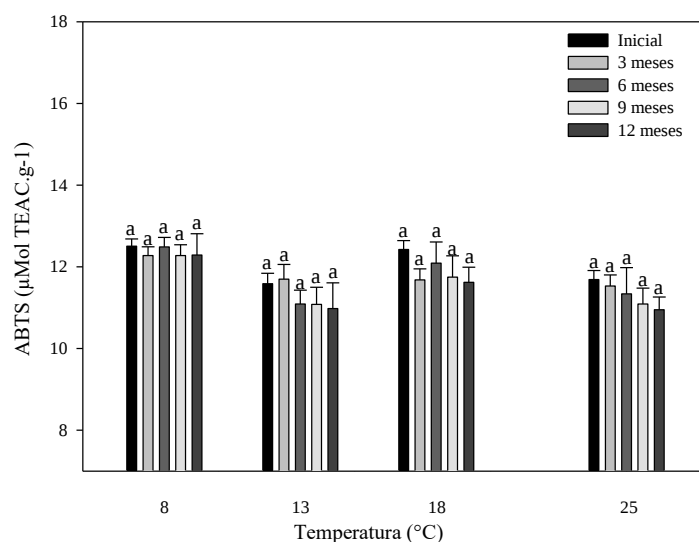


Figura 19. Atividade antioxidante pelo método ABTS de grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas por 5 períodos. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

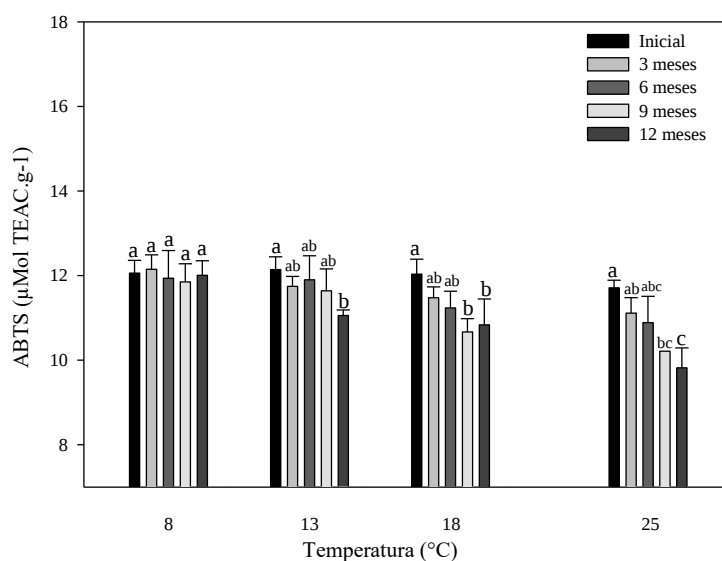


Figura 20. Atividade antioxidante pelo método ABTS de grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas por 5 períodos. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

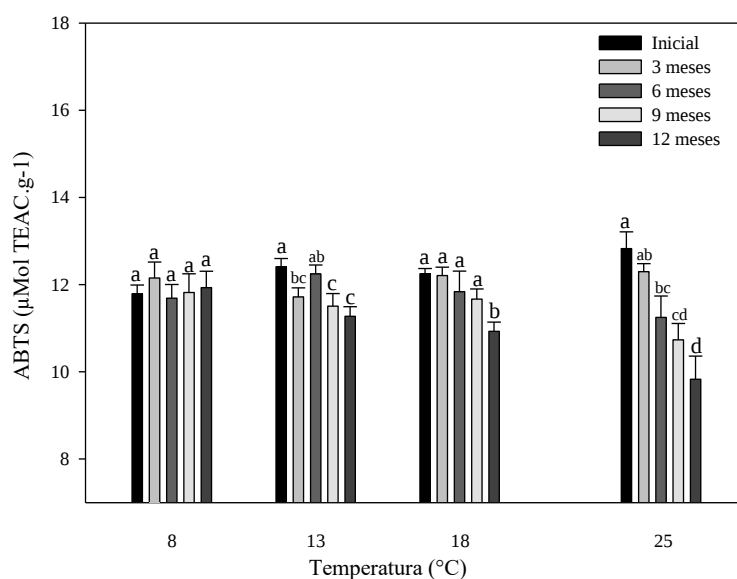


Figura 21. Atividade antioxidante pelo método ABTS de grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas por 5 períodos. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos para a atividade antioxidante (ABTS) dos fenólicos solúveis de grãos de sorgo armazenados com 11% umidades e com diferentes temperaturas de armazenamento apresentados na Figura 19.

A conservação da atividade antioxidante (ABTS) foi estatisticamente estável para as quatro temperaturas de armazenamento testadas demonstrando boa estabilidade. A luz pode ser fator fundamental na degradação dos compostos antioxidantes concluindo deste modo em temperatura ambiente e na ausência da luz, a velocidade de degradação é lenta, porém à medida em que se eleva a temperatura, ocorre um aumento da velocidade de degradação (NONIER *et al.* 2004).

A atividade antioxidante (ABTS) de grãos de sorgo armazenados com 14% umidade e com diferentes temperaturas de armazenamento apresentados na Figura 20. Os resultados da atividade antioxidante para os grãos com 14% de umidade apresentaram estabilidade apenas quando armazenados a 8°C, o que deixa claro que não são somente os fatores luminosidade e temperaturas citados por Nonier *et al.*, (2004) que tem papel importante para a manutenção

da atividade antioxidante, mas entrando também nestes fatores cruciais o teor de umidade dos grãos. Os resultados condizem com os encontrados por estudo realizado por Paraginski, (2014) no qual foi observado uma redução ao longo do armazenamento.

Os resultados obtidos para a atividade antioxidante (ABTS) dos grãos de sorgo armazenados com 17% umidade e com diferentes temperaturas de armazenamento apresentados na Figura 21. Ao fim da análise dos resultados da atividade antioxidante (ABTS) podemos observar que quando os grãos são armazenados a 8°C as demais variáveis testadas não obtiveram influências significativas para alterações da atividade.

Nas demais temperaturas testadas ocorreram alterações quando os grãos foram armazenados com 17% ocasionando uma redução das concentrações encontradas.

Observa-se que, no geral, o comportamento da atividade antioxidante (ABTS*) é similar ao comportamento dos fenólicos solúveis totais, em função das condições de armazenamento. Esse comportamento era esperado, pois a atividade antioxidante responde diretamente ao conteúdo de compostos fenólicos (TYUG et al., 2010; ZHANG et al., 2012; DAJANTA et al., 2013).

5.7.3 Atividade antioxidante (DPPH)

Nas Figuras 22, 23 e 24 estão apresentadas a atividade antioxidante (DPPH) dos grãos de sorgo armazenados por 5 períodos totalizando 12 meses com as umidades 11%, 14% e 17% armazenamento com temperaturas de 8°C, 13°C, 18°C e 25°C.

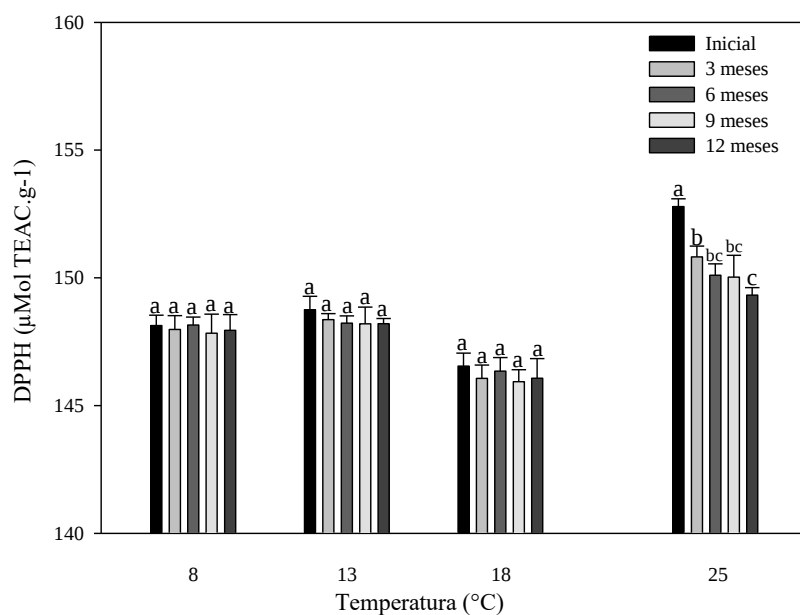


Figura 22. Atividade antioxidante pelo método DPPH dos grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

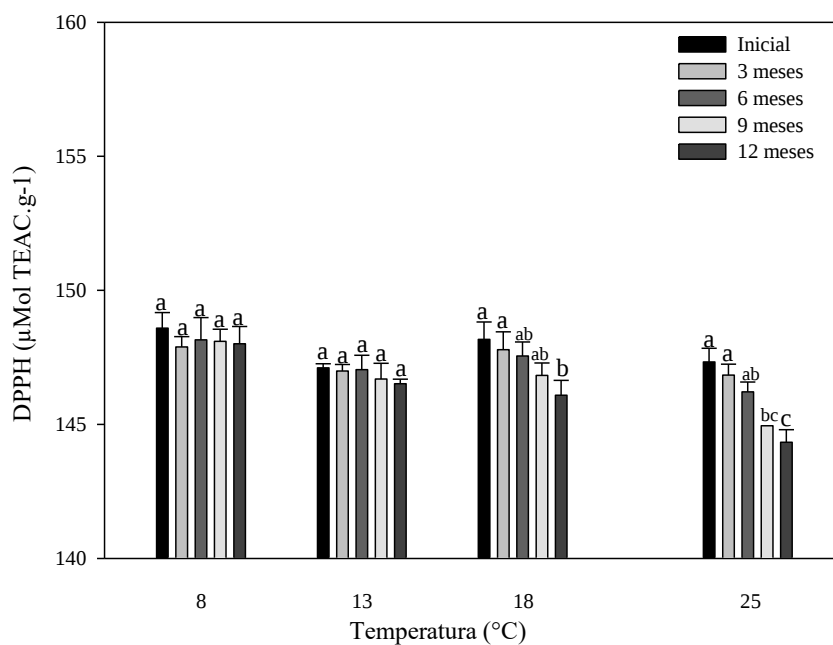


Figura 23. Atividade antioxidante pelo método DPPH dos grãos de sorgo armazenados com 14% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

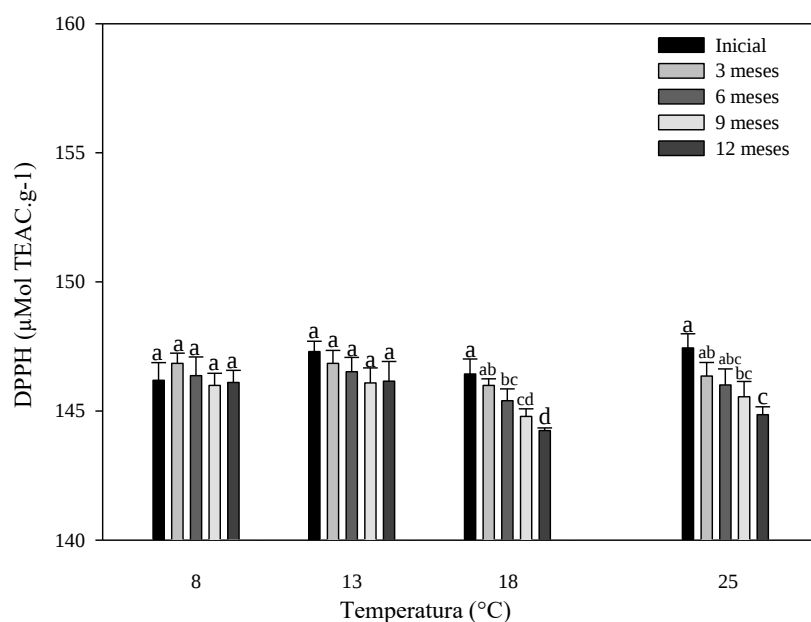


Figura 24. Atividade antioxidante pelo método DPPH dos grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade em diferentes temperaturas, pelo período de 12 meses. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si dentro da mesma temperatura pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos para a atividade antioxidante (DPPH) dos fenólicos solúveis de grãos de sorgo armazenados com 11% umidades e com diferentes temperaturas de armazenamento são apresentados na Figura 22.

Podemos observar que a atividade antioxidante quando os grãos são armazenados a 8, 13 e 18°C não obtiveram influências significativas para alterações da atividade, porém quando a temperatura durante o armazenamento foi de 25°C a atividade antioxidante reduziu. Esse comportamento era esperado uma vez que os fenólicos totais (Figura 15) também tiveram o mesmo comportamento durante o armazenamento.

A atividade antioxidante (DPPH*) dos grãos de sorgo armazenados com 11% de umidade estão apresentados na Figura 23. As temperaturas mais elevadas de armazenamento apresentaram reduções dos antioxidantes ao longo do armazenamento, enquanto as temperaturas mais baixas mantiveram-se estáveis.

A redução da atividade antioxidante ao longo dos 12 meses de armazenamento pode estar relacionada ao uso dessa bioatividade dos

compostos para a preservação dos demais constituintes dos grãos que, por certo, já estão em grau avançado de degradação (SANTOS, 2016).

Os resultados obtidos para a atividade antioxidante (DPPH*) dos grãos de sorgo armazenados com 17% de umidade estão apresentados na Figura 24. Foi verificado redução significativa na atividade antioxidante a partir do terceiro mês, quando armazenado nas temperaturas de 18°C e 25°C. Esses resultados estão de acordo com o apresentado por Santos, (2016), mostrando também que os resultados também tiveram influência do teor de umidade durante o período de armazenamento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

AGUIAR, R. W. S.; BRITO, D. R.; OOTANI, M. A.; FIDELIS, R. R.; PELUZIO, J. N. Efeito do dióxido do carbono, temperatura e armazenamento sobre sementes de soja e micoflora associada. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p.554-560, 2012.

AGUIAR, R.W.S.; BRITO, D.R.; OOTANI, M. A.; FIDELIS, R. R.; PELUZIO, J.N.; Efeito do dióxido do carbono, temperatura e armazenamento sobre sementes de soja e micoflora associada. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p.554-560, jul-set, 2012.

ALBORCH, L.; BRAGULAT, M.R.; ABARCA, M.L.; CABAÑES, F.J.; Effect of water activity, temperature and incubation time on growth and ochratoxin a production by *Aspergillus niger* and *Aspergillus carbonarius* on maize kernels. **International Journal of Food Microbiology**; v.147, n.01, p.53-57, 2011.

ANGELO, P. M. e JORGE, N. Phenolic compounds in foods- A brief review.

Antunes, L. E.G.; Viebrantz, P. C.; Gottardi, R.; Dionello, R. G. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.615-620, 2011

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

AOSANI, E. **Efeitos da temperatura do ar de secagem e das condições de armazenamento sobre a conservabilidade de grãos de soja**. 2007. 84f. Dissertação (Mestrado) UFPEL

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

Awika, J. M., & Rooney, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, 65(9), 1199-1221, 2004.

Awika, J.M., Rooney, L.W., & Waniska, R.D. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, 90,293–301, 2004.

Balasundram, N., Sundrama, K., & Sammam, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial byproducts: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, 99, 191 – 203, 2006.

Barros F, Awika JM, Rooney LW. Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. **Journal of Agricultural, Food and Chemistry**. 2012.

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

BRACKMANN, A.; NEUWALD, D. A.; RIBEIRO, N. D.; FREITAS, S. T. Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v.32, p.911-915, 2002.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm-Wiss Technology**, v.28, p.25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC. Métodos Analíticos para controle de alimentos para uso animal. INTERLAB VI. **Portaria 108, de 4 de setembro de 1991**. Diário Oficial da União, seção I, p.19813, 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Fisiologia da planta de sorgo. Circular técnica Embrapa milho e sorgo Sete Lagoas – MG 46p., 2000.

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

BROUILLARD, R. Chemical structure of anthocyanins. In: **MARKAKIS, P.** (Ed.). Anthocyanins as Food Colors. New York: Academic Press, p. 1-40, 1982.

Revista do Instituto Adolfo Lutz, v.6, p.232-240. 2006

Cardoso, L. M., Montini, A.T., Pinheiro, S.S., Pinheiro-Sant’Ana, H. M., Hércia Stampini Duarte Martino, H.S. D., & Moreira, A.V.B. Effects of processing with dry 17 heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. **Food Chemistry**, 152:210- 217, 2014.

Carneiro, L. M. T. A.; Biagi, J. D.; Freitas, J. G.; Carneiro, M. C.; Felício, J. C. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, Campinas, SP v.64, p.127- 137, 2005.

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, M. L. DE; PÁEZHERNÁNDEZ, M. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food Chemistry**. v.113, p.859–871, 2009.

CHANDRASHEKAR, A. E KIRLEIS, A. W. Influence on protein on starch gelatinization in sorghum. **Cereal Chemistry**, 65, p.457-462, 1988.

CHEN, Y.; JIANG, W.; CHEN, X.; CAO, J.; DONG, W.; DAI, B.; Changes in physicochemical, structural, and sensory properties of irradiated brown japonica rice during storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 4361-3369, 2015.

CHRASTIL, J. Influence of storage on enzyme in rice grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.38, p.1198-202, 1990.

COLUSSI, Rosana. Acetilação em amido de arroz com diferentes teores de amilose e elaboração de filmes biodegradáveis. 2014. 85p. Dissertação (Mestrado) UFPEL.

CONAB. Indicadores da agropecuária. **Brasil: Quinto levantamento**, v.6 safra 2018/2019, fevereiro, 2019.

Correia, A. I. L. **Contribuição para a melhoria da qualidade nutricional do sorgo**, 2010 269p. Tese (doutorado) Universidade de Aveiro.

COSTA, A.R.; FARONI, L.R.D.; ALENCAR, E.R.; CARVALHO, M.C.S; FERREIRA, L.G.; Qualidade de grãos de milho armazenados em silos bolsa. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.2, p.200-207, 2010.

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.

DENG, G. F.; XU, X. R.; ZHANG, Y.; LI, D.; GAN, R.Y.; LI, H. B. Phenolic compounds and bioactivities of pigmented rice. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v.53, n.3, p.209–306, 2013.

Dykes, L., & Rooney, L. W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Jornal of Cereal Science**, 44, 236-251.

ELIAS, M. C. Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade. 1. ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária UFPEL, 2007. v. 1. 424 p.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. de; VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; SCHIAVON, R. A. Manejo tecnológico na pós-colheita e inovações na conservação de grãos de arroz. In: ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. **Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 2012b. Cap. 3 p.21-42.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L.; FERREIRA, C. D.; **Classificação oficial, qualidade e conservação de arroz**, feijão e soja. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2015. 475 p.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; SCHIAVON, R. A. Industrialização de arroz por processo convencional e por parboilização. In: ELIAS, M. C. F.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. (Ed.). **Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 2012a. cap. 4, p.43-55.

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

FAO. El sorgo y el mijo en la nutrición humana Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1995

FARONI, L.R.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**, Viçosa, MG, v.13, n.3, 193-201, 2005.

FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v.38, n.2, p.191-218, 2002.

GALLIARD, T.; Hydrolytic and oxidative degradation of lipids during storage of whole meal flour: Effects of bran and germ components. **Journal Cereal Science**, v.4, p.179-192, 1986.

GUTKOSKI, L. C; EICHELBERGER, L.; SANTIN, J. A.; PORTELLA, J. A.; SPIER, F.; COLUSSI, R. Avaliação da composição química de milho seco e armazenado em silo tipo alambrado com ar natural forçado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.879-885, 2009.

GWINNER, J.; RÜDIGER, H.; MÜCK, O. **Manual sobre prevenção das perdas de grãos no pós-colheita**. Projeto de proteção dos produtos

armazenados do Ministério Federal da Cooperação Econômica e de Desenvolvimento (BMZ) da República Federal da Alemanha. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn - FRG, 1997. 143p.

HASJIM, J.; LEE, S.; HENDRICH, S.; SETIAWAN, S.; AI, Y.; JANE, J. Effects of a novel resistant-starch on postprandial plasma-glucose and insulin responses. **Cereal Chemistry**, v.87, p.257-262, 2010.

HAYASHI, S.; YANASE, E. A study on the color deepening in red rice during storage. **Food Chemistry**, v. 199, p. 457-462, 2016.

HAYFA, S.; COPELAND, L.; Effect of storage on fat acidity and pasting characteristics of wheat flour. **Cereal Chemistry**, v.84, p.600-606, 2007.

HOSENEY, R. C.; ANDREWS, D. J. E CLARK, H. Sorghum and pearl millets em utricional quality of cereal grains: genetic and agronomic improvement. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, **Crop Science of America, Soil Science of America**, 1987.

HOSENEY, R. C.; DAVIS, A. B. E HARBERS, L. H. Pericarp and endosperm structure of sorghum shown by electron microscopy. **Cereal Chemistry**, 51, 552-558, 1974.

HUBBARD, J. E.; HALL, H. H. E EARLE, F. R. Composition of the component parts of the sorghum kernel. **Cereal Chemistry**, v.27, p.415-420, 1950.

HUNTERLAB INC. **User's manual with universal software versions 3.5**. Reston: HunterLab, 1998. Paginação irregular.

KAMATH, V. CHANDRASHEKAR, A. e RAJINI, P. S. Antiradical properties of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) flour extracts. **Journal of Cereal Science**, v.40, n.3, p. 283-288. 2004

KARAOĞLU, M. M.; AYDENİZ, M.; KOTANCILAR, H. G.; GERÇELASLAN, K. E. A. comparison of the functional characteristics of wheat stored as grain with wheat stored in spike form. **International Journal of Food Science and Technology**, v.45, p.38-47, 2010

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. Tanino no grão de sorgo. Sete Lagoas: **Embrapa Milho Sorgo. (Comunicado técnico, 88)**, 2003. 2p.

MARLES, M. A. S.; VANDENBERG, A.; BETT, K. E.; Polyphenol oxidase activity and differential accumulation of polyphenolics in seed coats of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) characterize postharvest color changes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 7049-7056, 2008.

MINOLTA. **Precise color communication: color control from feeling to instrumentation**. Osaka: MINOLTA Co. Ltd., 1994. 49p.

MORAES, E.A., QUEIROZ, V.A.V., SHAFFERT, R.E., COSTA, N.M.B., NELSON, J.D., RIBEIRO, S.M.R., & MARTINO, H.S.D.M. (2012). In vivo protein quality of new sorghum genotypes for human consumption. **Food Chemistry**, 1549-1555.

NASAR-ABBAS, S.M.; PLUMMER, J.A.; SIDDIQUE, K.H.M.; WHITE, P.; HARRIS, D.; DODS, K. Cooking quality of faba bean after storage at high temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. **LWT- Food Science and Technology**, v.41, p.1260-1267, 2008.

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

OLIVEIRA, J. O.; SILVA, T. T. A.; PINHO, E. V. R. de V.; ABREU, L. A. S. Secagem e armazenamento de sementes de sorgo com alto e baixo teor de tanino.; **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, p. 699-710, 2011.

Oliveira, K. G. de., Queiroz, V. A. V., Carlos, L. de A., Cardoso, L. de Moraes, Pinheiro-Sant'Ana, H. M., Anunciação, P. C., Menezes, C. B. de, Silva, E. C. da, Barros, F. Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. **Food Chemistry**. 216, 390–398, 2017.

OSBORNE, T.B.; **The vegetable proteins**. EUA, Longmans, Green and Co, 125p, 1909.

PARAGINSKI, R. T.; ROCKENBACH, B. A.; DOS SANTOS, R. F.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.4, p.358-363, 2015.

PARAGINSKI, R. T.; VANIER, N. L.; BERRIOS, J. J.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. **Journal of Stored Products Research**. v.59, p.209-214, 2014

PARAGINSKI, R. T.; VANIER, N. L.; MOOMAND, K.; OLIVEIRA, M.; ZAVAREZE, E. R.; SILVA, R. M.; FERREIRA, C. D.; ELIAS, M. C. Characteristics of starch isolated from maize as a function of grain storage temperature. **Carbohydrate Polymers**. v.102, p.88-94, 2014a.

PARAGINSKI, Ricardo Tadeu. Efeitos da temperatura de armazenamento de grãos de milho (*Zea mays* L.) nos parâmetros de qualidade tecnológica, metabólitos e propriedades do amido. 2013, 111f. Dissertação (Mestrado) UFPEL.

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.

PEREZ-GARCIA, F.; GONZALEZ-BENITO M.E. Seed germination of five *Helianthemum* species: Effect of temperature and presowing treatments, **Journal of Arid Environments**. v.65, n.01, p.688-693, 2006.

QIU, Y.; LIU, Q.; BETA, T.; Antioxidant properties of commercial wild rice and analysis of soluble and insoluble phenolic acids. **Food Chemistry**, v.121, p. 140-147, 2010.

QUEIROZ, V. AP.V., MORAES, E.A., SCHAFFERT, R.E., MOREIRA, A.V., RIBEIRO, S.M.R., & MARTINO, H.S.D. (2011). Potencial funcional e tecnológico de processamento de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), na alimentação humana. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 10(3) 180-195.

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.

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.

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**, Araraquara, v.20, n.4, p.649-655, out./dez. 2009.

ROCKENBACH, B. A. Efeitos do tempo de espera, temperatura de secagem e tempo de armazenamento sobre propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de grãos de arroz com pericarpo vermelho. 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018. Disponível em: <<http://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/site/content/dissertacao/>>

RUBANZA C.D.K., SHEM M.N., OTSYINA R., & BAKENGESA SS. ICHINOHE T AND FUJIHARA T, Polyphenolics and tannins effect on *in vitro* digestibility of selected *Acacia* species leaves. **Anim Feed Sci Technol**,119:129–14 2005.

RUBANZA, C. D. K. ; SHEM, M. N. ; OTSYINA, R. ; BAKENGESA, S. S. ; ICHINOHE, T. ; FUJIHARA, T., 2005. Polyphenolics and tannins effect on *in vitro* digestibility of selected *Acacia* species leaves. **Anim. Feed Sci. Technol.**, 119 (1-2): 129-142, 2005.

RUTZ, D. Efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento do trigo sobre parâmetros de avaliação da qualidade dos grãos e das farinhas. 2012. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2012. Disponível em: <<http://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/site/content/dissertacao/>>

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

SANTOS. M. S. DOS. Efeitos das condições de armazenamento sobre parâmetros de avaliação tecnológicos e nutricionais de feijão caupi de tegumento branco 2016. 79f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016. Disponível em: <<http://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/site/content/dissertacao/>>

SEKINGER, H. L., AND WOLF, M. J. Sorghum protein ultrastructure as it relates to composition. **Cereal Chem.** 50, 455-465, 1973.

SERNA-SALDIVAR, S. O. E ROONEY, L. W. Structure and chemistry of sorghum and millets. *Em: D. A. V. Dendy, Sorghum and millets: chemistry and technology*. St. Paul, Minesota: **American Association of cereal chemists Inc**, 1995.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; LACERDA FILHO, A. F. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Silva, J. S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. p.395-462.

SILVA, W. S. V.; VANIER, N. L.; ZIEGLER, V.; OLIVEIRA, M.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M.C.; Effects of using eolic exhausters as a complement to conventional aeration on the quality of rice stored in metal silos. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 76-81, 2014.

SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A.; Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. **Journal of Stored Products Research**, v.42, p.264–276, 2006.

VANIER, N. L. Qualidade de arroz e mercados emergentes. **Labgrãos Magazine**. v.1, n.1, p. 2-4, 2017. Disponível em: <<http://www.labgraos.com.br/magazine>>

VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; BERRIOS, J. J.; OLIVEIRA, L. C.; ELIAS, M. C.; Thiamine content and technological quality properties of parboiled rice treated with sodium bisulfite: Benefits and food safety risk. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.41, p. 98-103, 2015.

VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; OLIVEIRA, M.; RUTZ, D.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C.; Caracterização e propriedades dos grãos. In: Classificação oficial, qualidade e conservação de grãos de arroz, feijão, soja e trigo. Pelotas: Ed. Cópias Santa Cruz, 2012, cap.1, p.11-40.

WANISKA, R. D.; POE, R. D.; BANDYOPADHYAY, R. Effects of growth conditions on grain molding and phenols in sorghum caryopsis. *Journal of Cereal Science*, London, v. 10, p. 217-225, 1989.

YANG, L., DYKES, L., & AWIKA, J.M. Thermal stability of-3-dexyanthocyanidin pigments. **Food Chemistry**, 160, 246-254, 2014.

ZANDONADI, C. H. S. Teor de clorofila, exportação de nutrientes e desempenho agrônômico de híbridos de sorgo granífero em diferentes épocas de semeadura. 2015, 74f. Dissertação (Mestrado) UFPel

ZHOU, Z.; CHEN, X.; ZHANG, M.; BLANCHARD, C. Phenolics, flavonoids, proanthocyanidin and antioxidant activity of brown rice with different pericarp colors following storage. **Journal of Stored Products Research**. v.59, p.120-125, 2014.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, v. 87, p. 401-406, 2004.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, v. 87, p. 401-406, 2004.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C. D.; TONIETO, L.; SILVA, J. G.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M.C.; Efeitos da temperatura de armazenamento de grãos de arroz integral de pericarpo pardo, preto e vermelho sobre as propriedades físico-químicas e de pasta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.20, 2017.

ZIEGLER, Valmor. Efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento de arroz integral de pericarpo pardo, preto e vermelho sobre parâmetros de avaliação de qualidade dos grãos e propriedades do amido. 2016. 138f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016. Disponível em: <<http://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/site/content/dissertacao/>>

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.