

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



Tese

**Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de
avaliação de propriedades tecnológicas e nutricionais de grãos de feijão
carioca**

Angélica Demito

Pelotas, 2019

Angélica Demito

**Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de
avaliação de propriedades tecnológicas e nutricionais de grãos de feijão
carioca**

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

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Prof. Dr. Sílvia Renata Machado Coelho

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier

Prof. Dr. Valmor Ziegler

Pelotas, 2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação:
Bibliotecária Daiane Schramm CRB - 10/1881**

D381e Demito, Angélica

Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de avaliação de propriedades tecnológicas e nutricionais de grãos de feijão carioca. / Angélica Demito; Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias. – Pelotas, 2019.

68f.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas.

1. Feijão carioca. 2. Armazenamento. 3. Perfil colorimétrico. 4. Cocção I. Elias, Moacir Cardoso; orient.
II. Título.

CDD 635

Angélica demito

**Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de
avaliação de propriedades tecnológicas e nutricionais de grãos de feijão
carioca**

Tese apresentada, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas.

Data de defesa:

Banca examinadora:

Dedico esse trabalho a
Mauro e Hilda, meus pais
Francisco José, meu filho
Francisco, meu esposo

Agradecimentos

A Deus, por me dar força, dedicação e persistência para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal de Pelotas – UFPEL.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PPGCTA.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

À Castrolanda Cooperativa Agroindustrial.

À Cool Seed – Indústria e Comércio de Equipamentos Agrícolas Ltda.

Ao meu Comitê de Orientação.

A todas as pessoas que colaboraram de uma forma ou de outra na elaboração deste trabalho.

Resumo

Demito, Angélica. **Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de avaliação de propriedades tecnológicas e nutricionais de grãos de feijão carioca.** 2019. 68f. Tese – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

O feijão carioca é produzido em diversos locais do Brasil e dentre os feijões é o que apresenta a maior produção e o maior consumo. O feijão e o arroz formam a dobradinha “feijão com arroz” a qual se completa em nutrientes essenciais para o organismo humano, principalmente nos aminoácidos metionina e lisina. Objetivou-se, com esse estudo, avaliar efeitos da umidade, da temperatura e do tempo de armazenamento de feijão carioca sobre propriedades fisiológicas, tecnológicas e nutricionais. Os grãos foram colhidos mecanicamente com umidade próxima a 23% e secos até aproximadamente 17 e 14% de umidade, em secador de múltipla intermitência com ar parcialmente desumidificado. Foram limpos e acondicionados em sacos de polietileno com capacidade de 3kg e armazenados em câmaras com temperaturas controladas em 12, 20, 28 e 36°C. Ao início e ao longo do armazenamento em 240 dias foram analisados parâmetros de avaliação de propriedades biológica, tecnológicas e de interesse nutricional. Os resultados mostram que a redução da temperatura proporciona as menores alterações nas propriedades fisiológicas, na composição centesimal e nas propriedades tecnológicas dos grãos de feijão carioca, enquanto que o armazenamento em temperaturas elevadas (28 a 36°C) acelera a degradação dos grãos, percebida principalmente pelo aparecimento do defeito HTC, pela redução da digestibilidade e pelas alterações na coloração dos grãos.

Palavras-chave: Feijão carioca, armazenamento, perfil colorimétrico, cocção

Abstract

Demito, Angélica. **Effects of moisture and storage temperature on parameters of evaluation of technological and nutritional properties of carioca beans.** 2019. 68f. Thesis (Doutorate in Food Science and Techology) Postgraduate Program in Science and Food Technology. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2019.

Carioca beans are produced in several places in Brazil and among the beans is the one with the highest production and the highest consumption. Beans and rice form the "bean and rice" double that completes in essential nutrients for the human organism, mainly in the amino acids methionine and lysine. The objective of this study was to evaluate the effects of moisture, temperature and storage time of carioca beans on physiological, technological and nutritional properties. The beans were mechanically harvested at about 23% moisture and dried to approximately 17 and 14% moisture in a multi-intermittent drier with partially dehydrated. They were cleaned and packed in 3kg capacity polyethylene bags and stored in chambers with controlled temperatures at 12, 20, 28 and 36°C. At the beginning and along the storage in 240 days were analyzed parameters of biological, technological, and nutritional interest. The results show that the reduction in temperature provides the slightest changes in the physiological properties, the centesimal composition and the technological properties of the carioca beans, while the storage at elevated temperatures (28 to 36°C) accelerates the degradation of the grains, perceived mainly by appearance of the defect HTC, by the reduction of the digestibility and the changes in the coloration of the grains.

Keywords: Carioca bean, stored, colorimetric profile, cocking.

Lista de figura

Figura 1.	Mapa da produção agrícola – feijão total.....	16
Figura 2.	Estrutura anatômica do grão de feijão.....	17
Figura 3.	Morfologia do amido de grãos de feijão carioca.....	20
Figura 4.	A) Estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em - (1-4)]. B) Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em - (1-4) e - (1-6)].....	22
Figura 5.	Estrutura básica dos principais compostos fenólicos encontrados em grãos, , A) Anel aromático, B) Ácido fenólico e C) Flavonóide.....	24
Figura 6.	Representação da estrutura da parede celular primária de material vegetal e entre os componentes estruturais e compostos fenólicos. (A) Celulose. (B) hemicelulose, (C) proteínas estruturais, (D) pectina, (E) ácidos fenólicos (F) lignina.....	25
Figura 7.	Estrutura básica de um flavonoide e os radicais R1, R2, R3 e R4 que podem ser modificados.....	26
Figura 8.	Estrutura química geral da antocianina.....	26
Figura 9.	Secador de Multipla Intermitência utilizado para a secagem dos grãos de feijão carioca.....	31
Figura 10.	Aparência visual dos grãos de feijão carioca armazenados por 240 dias em diferentes condições de umidade e temperatura..	50
Figura 11.	Digestibilidade do amido presente em grãos de feijão carioca, no início e após 240 dias de armazenamento em diferentes condições de umidade e temperatura.....	59

Lista de tabelas

Tabela 1.	Composição centesimal (% em base seca) dos grãos de diferentes cultivares de feijões carioca e preto.....	18
Tabela 2.	Delineamento experimental.....	32
Tabela 3.	Germinação (%) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	39
Tabela 4.	Vigor (%) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	39
Tabela 5.	Umidade (%) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	41
Tabela 6.	Teor de proteínas (% base seca) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	42
Tabela 7.	Solubilidade proteica (% base seca) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	43
Tabela 8.	Teor de lipídios (% base seca) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	44
Tabela 9.	Teor de cinzas (% base seca) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	45
Tabela 10.	Peso de Mil Grãos (g) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	46
Tabela 11.	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	47
Tabela 12.	pH dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	48

Tabela 13.	Sólidos lixiviados (%) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	49
Tabela 14.	Tempo de cocção (minutos (min), segundos (s) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	50
Tabela 15.	Dureza (N) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	51
Tabela 16.	Valor L* dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	53
Tabela 17.	Valor a* dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	55
Tabela 18.	Valor b* dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	54
Tabela 19.	Propriedades de pasta (RVA) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	57
Tabela 20.	Atividade antioxidante pelo radical ABTS dos de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.....	60

Sumário

1.	Introdução.....	13
2.	Revisão bibliográfica.....	15
2.1	Aspectos de importância e de consumo do feijão carioca.....	15
2.2	Estrutura e composição dos grãos.....	17
2.3.	Secagem, armazenamento e qualidade de grãos de feijão.....	27
3.	Material e métodos.....	31
3.1.	Material e preparo das amostras.....	31
3.2.	Delineamento experimental.....	32
3.3.	Avaliações.....	32
3.3.1.	Umidade dos grãos.....	32
3.3.2.	Parâmetros biológicos.....	33
3.3.2.1.	Germinação.....	33
3.3.2.2	Vigor.....	33
3.3.3.	Parâmetros de avaliação de composição química.....	33
3.3.4.	Tempo de cocção.....	33
3.3.5.	Dureza.....	34
3.3.6.	Proteína solúvel.....	34
3.3.7.	Perfil colorimétrico.....	34
3.3.8.	Peso de mil grãos.....	35
3.3.9.	pH dos grãos.....	35
3.3.10.	Sólidos lixiviados.....	35
3.3.11.	Condutividade elétrica.....	35
3.3.12.	Propriedades de pasta.....	35
3.3.13.	Digestibilidade.....	36
3.3.14.	Atividade antioxidante.....	37
3.4.	Análise estatística.....	37
4.	Resultados e discussões.....	38
4.1.	Germinação.....	38
4.2.	Vigor.....	39
4.3.	Umidade.....	40
4.4.	Teor de proteína bruta e solubilidade proteica.....	41
4.5.	Teor de lipídios.....	43

4.6.	Teor de cinzas.....	44
4.7.	Peso de mil grãos.....	45
4.8.	Condutividade elétrica.....	46
4.9.	pH dos grãos.....	47
4.10.	Sólidos lixiviados.....	48
4.11.	Tempo de cocção.....	49
4.12.	Dureza.....	50
4.13.	Aparência visual e perfil colorimétrico.....	51
4.14.	Propriedades de pasta.....	55
4.15.	Digestibilidade.....	58
4.16.	Atividade antioxidante.....	59
5.	Conclusões.....	61
6.	Referências bibliográficas.....	62

1 Introdução

O feijão faz parte da base da alimentação dos brasileiros e, juntamente com o arroz forma a dobradinha “feijão com arroz”, a qual se completa em nutrientes essenciais para o organismo humano. O feijão do gênero *Phaseolus* apresenta várias espécies com ampla variedade de coloração. São exemplos os feijões carioca, roxo, mulatinho e preto.

No Brasil, o feijão que representa a maior fração do consumo é o carioca, que corresponde a cerca de 70% da produção nacional, sendo que 53% da área cultivada é semeada com este tipo de grão. O feijão preto é mais popular no sul do país, podendo ser encontrado também nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo. O feijão carioca é mais popular na região Sudeste, Centro Oeste e parte do Nordeste. Existe ainda uma produção considerável de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), também conhecido como Feijão Macassar ou Feijão Fradinho, os quais são especialmente produzidos e apreciados pelos consumidores do Nordeste do país.

No cenário mundial, Myanmar e Índia são os principais produtores de feijão, enquanto o Brasil ocupa o terceiro lugar em produção, com 3,4 milhões de toneladas distribuídas em três safras. Apesar disso, a produção brasileira é geralmente insuficiente para abastecer o mercado interno, necessitando importar este produto de outros países da América Latina e dos Estados Unidos.

A colheita do feijão acontece em épocas específicas durante o ano, que podem variar em função da região de produção, enquanto que o seu consumo se estende por todo o ano, necessitando de técnicas adequadas de secagem e de armazenamento para a manutenção da qualidade desses grãos por longos períodos de armazenamento. O consumidor está cada vez mais exigente e qualquer alteração na qualidade dos grãos, como o endurecimento e a coloração, são facilmente perceptíveis pelos consumidores e definem a escolha do produto no momento da compra.

Os principais fatores que interferem na qualidade dos grãos durante o armazenamento são a temperatura no ambiente de armazenamento, a umidade dos grãos, a umidade relativa do ar no ambiente de armazenamento e a qualidade inicial dos grãos. O controle desses fatores é imprescindível para o controle da taxa respiratória dos grãos, pois, os grãos são armazenados vivos e, portanto, respiram, consumindo as reservas energéticas dos grãos, produzindo calor, gás carbônico e água, conseqüentemente proporcionando a redução da massa específica dos grãos.

O controle dos fatores que interferem na qualidade dos grãos durante o armazenamento, além de reduzir a taxa respiratória, reduzem a velocidade de uma série de reações químicas e enzimáticas que ocorrem no interior dos grãos e que afetam diretamente a sua qualidade como um todo e conseqüentemente o seu desempenho de panela. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar efeitos da umidade, da temperatura e do tempo de armazenamento de feijão carioca sobre propriedades fisiológicas, tecnológicas e nutricionais.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Aspectos de importância e de consumo do feijão carioca

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), uma fabácea, foi domesticado e vem sendo consumido há mais de 7000 anos (KAPLAN e KAPLAN, 1988). É produzido em praticamente todos os países de clima tropical e é excelente fonte de nutrientes para a alimentação humana, sendo considerado a principal fonte de proteínas em várias regiões da América Latina e da África Oriental (GRAHAM e RANALLI, 1997).

O feijão do gênero *Phaseolus* apresenta diversas variedades com ampla variabilidade de coloração e forma. No Brasil, fica evidente essa ampla diversidade de tipos, sendo que cada tipo possui suas regiões de destaque (SILVA et al., 2012). Nos estados do sul do Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo o feijão preto é o mais consumido, enquanto que nas outras regiões do país, o feijão carioca apresenta uma maior aceitação e consumo. No geral, o feijão carioca representa a maior alíquota de produção e consumo no Brasil (CONAB, 2017).

Na Figura 1 está apresentado um mapa de produção de feijão total no Brasil. É possível identificar que, embora em volumes diferentes, a produção de feijão (preto e carioca) se estende por todas as regiões do país, sendo que a produção de feijão carioca foi de 2.177 mil toneladas produzidas em 989,5 mil hectares e a produção de feijão preto foi de 507,8 mil toneladas produzidas em 323,7 mil hectares, na safra 2016/17 (CONAB, 2017).

No cenário mundial, Myanmar e Índia são os principais produtores de feijão, enquanto o Brasil ocupa o terceiro lugar em produção, com 3,4 milhões de toneladas (FAO, 2018), distribuídas em três safras. Alguns fatores como a variabilidade climática, as características do solo e o ciclo de cultivo são responsáveis por esta diversidade de épocas de cultivo. Embora a produção ocorra em três safras, a qualidade variada dos grãos, associado a questões de logística e de manejo durante o armazenamento, acarretam em grandes oscilações no valor comercial durante o

ano agrícola, podendo atingir valores entre R\$ 60,00 e 260,00 à saca de 60kg (CONAB, 2017).

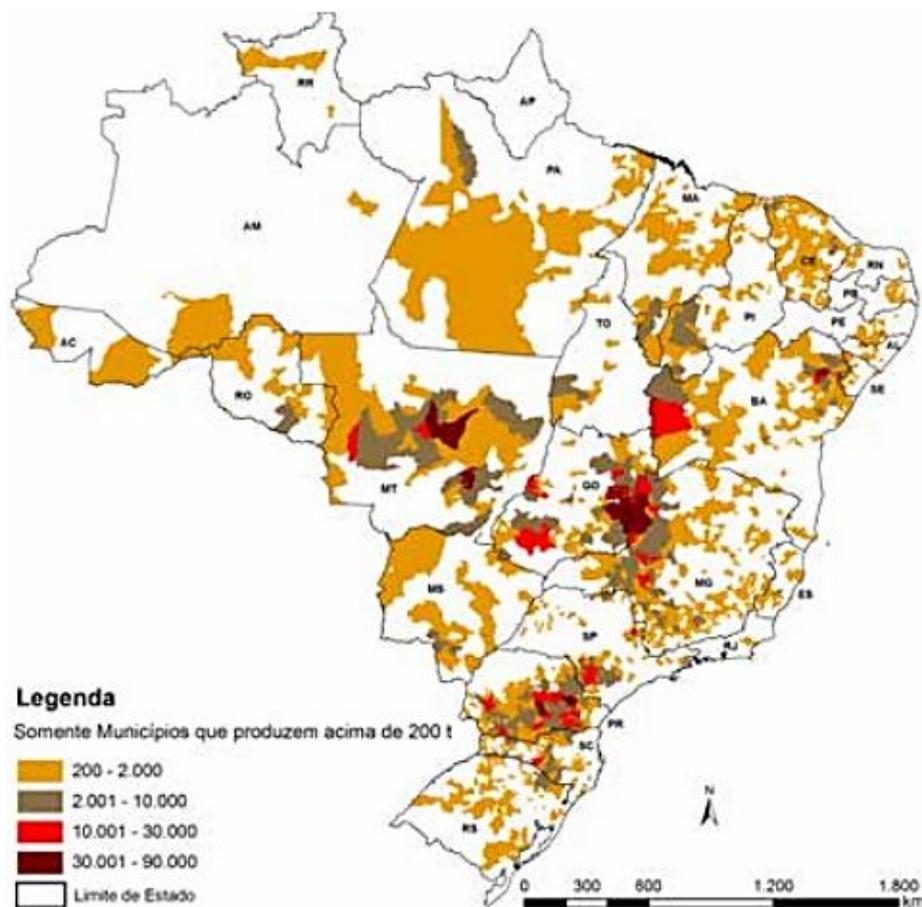


Figura 1. Mapa da produção agrícola – Feijão total.
Fonte: Conab (2017).

Os aspectos sensoriais e nutricionais dos grãos, associados aos aspectos culturais e regionais estão diretamente relacionados com a escolha do consumidor, que observa alguns parâmetros de qualidade dos grãos, como a rápida hidratação, o reduzido tempo de cocção, a viscosidade tradicional do caldo, o sabor e a textura (SILOCHI, 2015).

O feijão, juntamente com o arroz, formam a dobradinha “feijão com arroz”, que se complementam em aminoácidos essenciais. O Brasil está entre os países que mais consomem feijão, representando um total, em 2013, de 16,07 kg/habitante/ano, sendo responsável pelo fornecimento diário de 9,7g de proteína (FAO, 2018). Ao longo dos últimos anos, o consumo per capita de feijão vem

diminuindo, principalmente em resposta às mudanças nos hábitos alimentares dos consumidores brasileiros.

2.2 Estrutura e composição dos grãos

Os grãos de feijão são dicotiledôneas formadas basicamente pelo tegumento, eixo embrionário e os cotilédones. A estrutura anatômica do grão de feijão está apresentada na Figura 2.

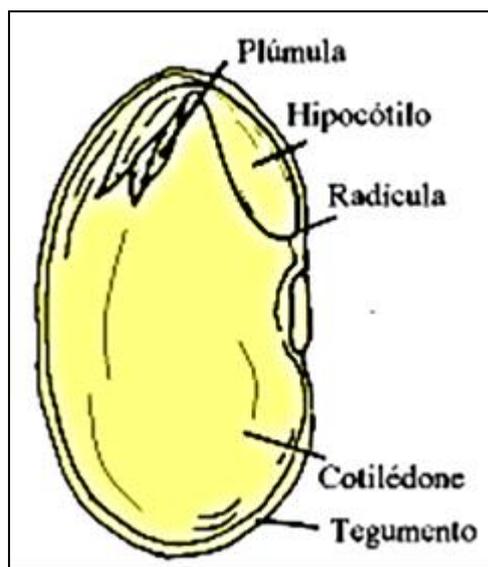


Figura 2. Estrutura anatômica do grão de feijão.

Fonte: Corrêa e Silva (2008).

A parte mais externa do grão de feijão, o tegumento, é uma cobertura constituída por camadas celulares originárias dos integumentos ovuláres. Apresenta função protetora, reguladora e delimitante (CORRÊA e SILVA, 2008). No tegumento estão alojados os pigmentos que conferem a coloração característica dos diferentes tipos de grãos disponíveis para o consumo (CAMPOS-VEGA, LOARCA-PINÃ e OOMAH, 2010).

Nas dicotiledôneas, o embrião maduro é constituído pelo eixo embrionário e por duas estruturas foliares, os cotilédones, que são responsáveis pelo armazenamento de energia, principalmente amido e proteínas. A parte do eixo situada abaixo da inserção dos cotilédones (nó cotiledonar) é denominada hipocótilo, enquanto a porção terminal inferior dá origem ao primórdio da raiz ou radícula. Este primórdio é representado pelo meristema apical da raiz e é revestido pela coifa. A parte do eixo acima do nó cotiledonar é formada pelo epicótilo e pela plúmula, sendo

estas, por sua vez, constituídas pela gema apical e por primórdios foliares (Figura 1) (CORRÊA e SILVA, 2008).

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é fonte de nutrientes importantes para o organismo humano, como proteínas, fibras, ferro, carboidratos, minerais e vitaminas, sendo que essa importância é destacada, principalmente para as populações de países em desenvolvimento (LIN et al., 2008). Em países da América do Sul e da África, feijões são uma fonte barata e rica de proteína, substituindo, muitas vezes, a proteína animal na dieta da população. Na Tabela 1 está apresentada a composição centesimal de grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto produzidas no Brasil.

Tabela 1. Composição centesimal (% em base seca) dos grãos de diferentes cultivares dos feijões carioca e preto.

Cultivares	Proteína Bruta (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Fibra Alimentar (%)	Outros carboidratos (%)
<i>Feijão Carioca</i>					
BRS Estilo	21,07	1,52	3,93	18,54	54,05
BRS Horizonte	26,06	1,20	4,19	18,70	49,82
Pérola	27,40	1,10	4,21	21,66	45,11
BRS Pontal	23,99	1,20	4,01	23,36	47,43
BRS Requite	23,74	1,16	4,11	20,79	49,40
<i>Feijão Preto</i>					
BRS Campeiro	23,08	1,23	4,25	22,83	48,59
BRS Esplendor	25,36	1,37	3,94	17,63	51,67
BRS Grafite	23,81	1,22	4,06	20,32	50,56
BRS Supremo	26,00	1,68	4,39	21,15	46,76
BRS Valente	23,89	1,22	4,20	19,93	50,74

*Os resultados são médias de três repetições. Os grãos foram cultivados em blocos ao acaso, em triplicata, na Fazenda Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil, na safra 2010.

Fonte: Vanier (2012).

Conforme apresentado na Tabela 1, o conteúdo de proteínas pode variar de 21 a 27%. A qualidade da proteína de feijão é inferior à dos produtos de origem animal por causa do baixo teor de aminoácidos sulfurados, da resistência à proteólise em virtude da natureza dos grãos e da presença de outros compostos, os quais colaboram para reduzir a biodisponibilidade de proteínas (DURANTI, 2006). O consumo de feijão é realizado, geralmente, associado com cereais como o arroz, que é rico em aminoácidos sulfurados e deficientes em lisina. No entanto, o feijão é rico em lisina e, dessa forma, quando o consumo de feijão é realizado juntamente

com o arroz, obtêm-se um prato com boa qualidade protéica (DILIS e TRICHOPOULOU, 2009; BOYE e ZARE e PLETCH, 2010; HAYAT et al., 2014).

As globulinas (solúveis em soluções salinas) são as principais proteínas do feijão, não apresentam atividade enzimática e não apresentam papel estrutural no tecido do cotilédone, constituindo-se, dessa forma, de proteínas de armazenamento (OOMAH et al., 2011).

A solubilidade proteica em água dos grãos de feijão é um parâmetro importante de avaliação da qualidade, principalmente em se tratando das condições de armazenamento dos grãos. Na prática, uma baixa solubilidade proteica, está relacionada com uma baixa viscosidade do caldo do feijão no momento da cocção, o que representa um certo grau de degradação da fração proteica durante o período de conservação. Esta redução na solubilidade proteica é ocasionada pela oxidação de proteínas, formação de pontes dissulfídicas, complexação de proteínas e amido com outros compostos, sendo favorecidas por altas temperaturas de armazenamento (ANGEL, MARTÍNEZ e LÓPEZ, 2003; YOUSIF et al., 2003; MAURER et al., 2004; BATISTA, PRUDÊNCIO e FERNANDES, 2010) .

O principal carboidrato presente nos grãos de feijão é o amido e sua concentração pode variar de 22 a 45% (HOOVER e SOSULSKI, 1991). O amido presente nos grãos de feijão é relacionado a muitos benefícios á saúde devido ao seu baixo índice glicêmico, por ser lentamente digerido (WINHAM, HUTCHINS e MELDE, 2007). Os grãos de feijão também possuem uma ótima concentração de fibra alimentar, a qual é indicada para auxiliar no funcionamento adequado do trato gastrointestinal (MARLETT, McBURNEY e SLAVIN, 2002).

O amido se organiza no interior dos grãos de feijão, na forma de grânulos, conforme apresentado na Figura 3. Os grânulos do amido de feijão carioca apresentam forma oval, com superfícies lisas e o tamanho dos grânulos variam de 19,0 a 39,1 μm (DEMIANTE et al., 2016).

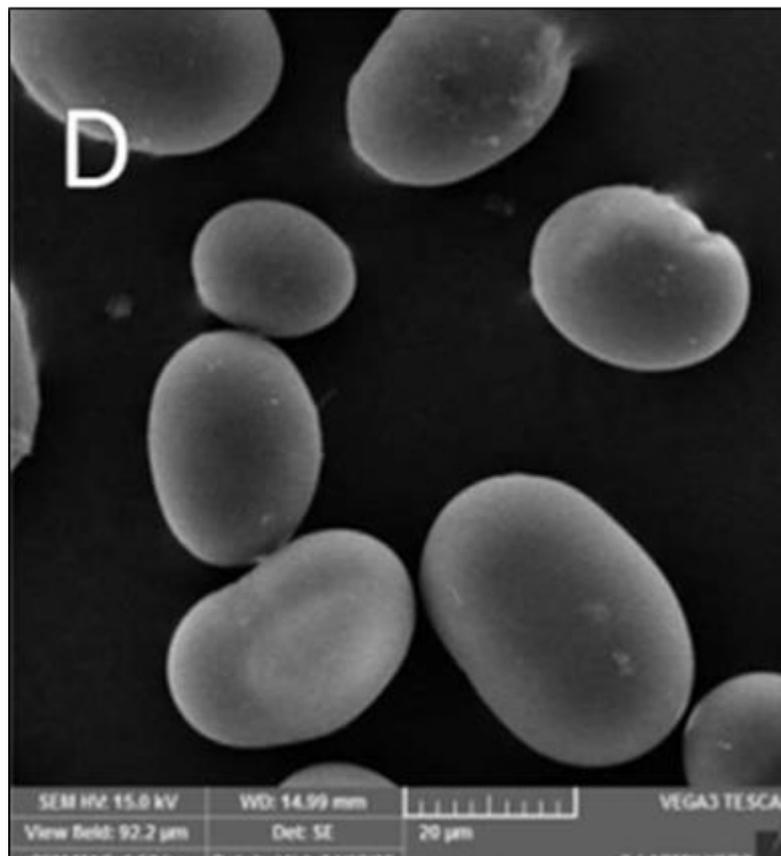


Figura 3. Morfologia do amido de grãos de feijão carioca.
Fonte: Demiate et al. (2016).

O amido é o principal componente responsável pelas propriedades tecnológicas dos alimentos industrializados e também tem relação direta com o desempenho de panela de alimentos como o feijão e o arroz, no momento da cocção. No feijão, alterações no amido, influenciam diretamente na espessura do caldo do feijão, o que auxilia na determinação da qualidade do feijão. Além disso, em alimentos industrializados, o amido contribui para diversas propriedades de textura, podendo ser aplicado como espessante, estabilizador de coloides, geleificante, além de conferir adesividade e auxiliar na retenção de água (DENARDIN e SILVA, 2009).

Além da aplicação direta em produtos alimentícios, o amido também possui diversas outras aplicações, sendo utilizado na produção de filmes biodegradáveis, produção de embalagens e utilização na indústria de cosméticos, têxtil, plásticos colas, adesivos, papel e produtos farmacêuticos (NGUYEN, JENSEN e KRISTENSEN, 1998). As principais fontes de amido comercial no Brasil são de milho e mandioca, sendo que a grande maioria do amido produzido, cerca de 70%, é

convertido em xarope de glicose ou também conhecido por xarope de milho (BILIIADERIS, 1991).

O amido é composto por dois homopolímeros de glicose, a amilose e a amilopectina (Figura 4), sendo considerado um polímero semicristalino com diferentes concentrações de amilose ou amilopectina, que podem variar de acordo com a fonte vegetal do amido (SINGH et al., 2003).

A amilose é um polímero basicamente linear, constituído de unidades de D-glicose unidas por ligações α -(1-4), podendo ser encontrado algumas ligações α -(1-6), em uma taxa menor que 0,1%. Ela apresenta um grau de polimerização médio (DPn), comprimento de cadeia médio (CL) e peso molecular de 1×10^5 a 1×10^6 Da, sendo frequentemente encontrada como uma estrutura helicoidal. O interior da hélice contém átomos de hidrogênio (característica de hidrofobicidade), permitindo que a amilose forme complexos com ácidos graxos livres. Enquanto que a amilopectina é um polímero altamente ramificado formado por unidades de D-glicose unidas por ligações α -(1-4), com 5 a 6% de ligações α -(1-6) apresentando um alto grau de polimerização (DPn) 4700–12800, menor comprimento de cadeia (CL) 17–24 e peso molecular 1×10^7 a 1×10^9 Da (VANDEPUTTE e DELCOUR, 2004; HOOVER et al., 2010; HUGHES et al., 2009; OVANDO-MARTÍNEZ et al., 2011).

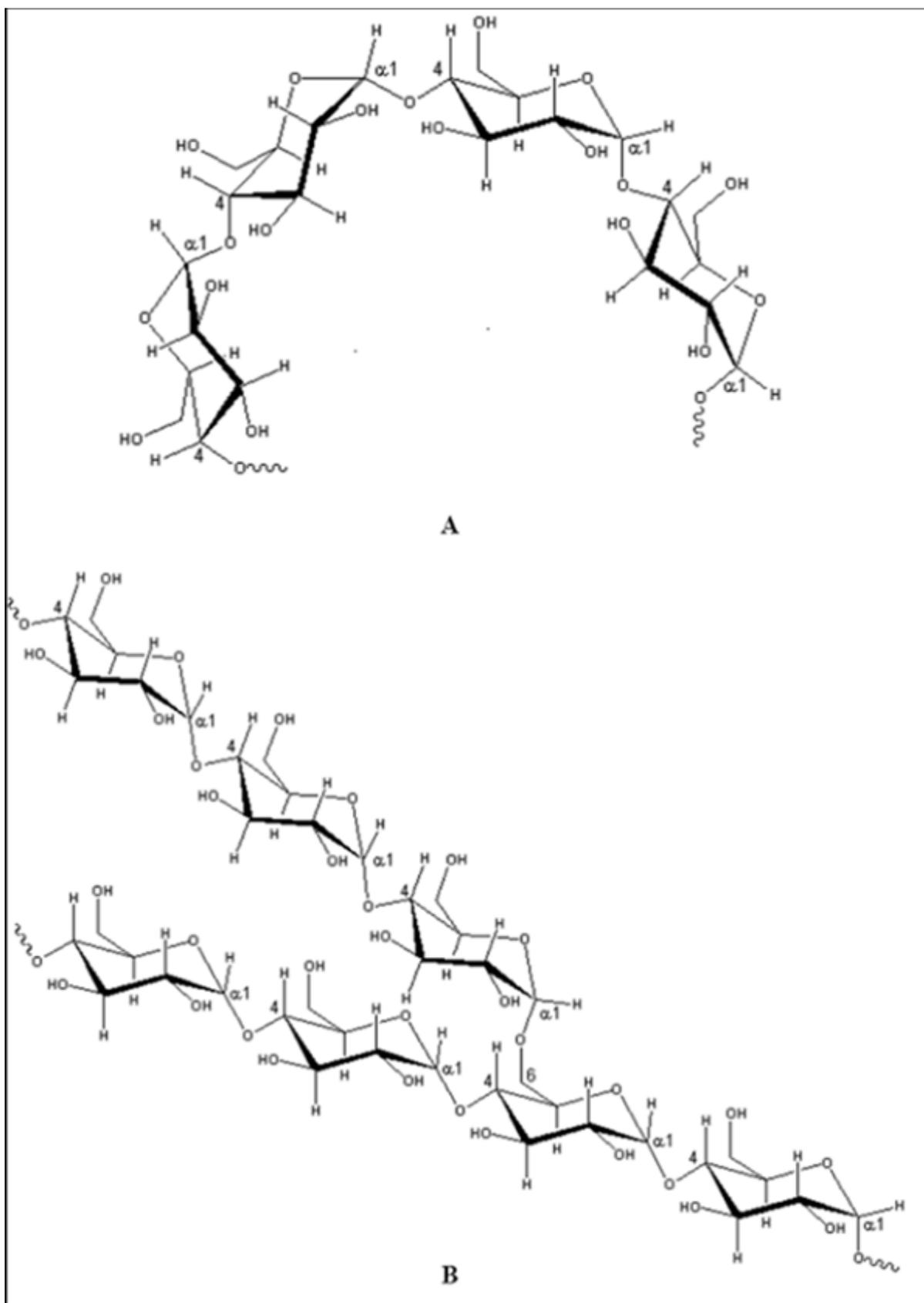


Figura 4. A) Estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em - (1-4)]. B) Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em - (1-4) e - (1-6)].
Fonte: Parker e Ring (2001).

Os grãos de feijão também apresentam uma composição variada de minerais, os quais apresentam importantes funções na dieta humana, auxiliando no funcionamento do organismo, transporte de oxigênio, metabolismo energético, balanço hídrico, cofatores e função estrutural (BURATTO, 2012). A concentração dos minerais encontrados nos grãos de feijão pode variar em função do cultivar utilizado e também da estrutura morfológica do grão (tegumento, eixo embrionário e cotilédono) (BURATTO, 2012).

Um estudo realizado por Prolla et al. (2010) caracterizou os micronutrientes de dezesseis cultivares de feijão comum, ao longo de duas safras consecutivas e foram encontradas algumas variações na concentração dos micronutrientes: Fe 8,26 a 9,65 mg.100g⁻¹; Mn 1,35 a 1,67 mg.100g⁻¹; Zn 3,18 a 3,57 mg.100g⁻¹ e P 3,58 a 3,35 g.kg⁻¹. Esses resultados demonstram a importância do consumo de feijão como fonte de ferro. A predominância do ferro em grãos de feijão também foi encontrada por Silva, Brigide e Canniatti-Brazaca (2013).

Os grãos de feijão também são uma importante fonte de compostos bioativos que apresentam características antioxidantes e anti-inflamatórias, desempenhando assim um papel importante na prevenção de doenças crônicas, degenerativas, cardiovasculares e o câncer (CAMPOS-VEGA, LOARCA-PIÑA e OOMAH, 2010; DÍAZ, CALDAS e BLAIR, 2010; HAYAT et al, 2014).

Os principais compostos bioativos presentes em grãos, oriundos do metabolismo secundário, são os compostos fenólicos, os quais, na planta, atuam como mecanismos de defesa contra patógenos, parasitas e predadores, além de contribuir para a cor das plantas e dos seus respectivos frutos (SANCHO et al., 2001; LIU, 2007).

Em uma abordagem química, os compostos fenólicos apresentam um ou mais anéis aromáticos e uma ou mais hidroxilas, dependendo da sua estrutura química. A síntese dos compostos fenólicos ocorre pela via do ácido chiquímico ou ainda podem ser originados da fenilalanina, que é seu precursor (SALES e RESURRECCION, 2010). Em grãos, os ácidos fenólicos e os flavonoides são os compostos fenólicos predominantes. Essas estruturas são apresentadas na Figura 5.

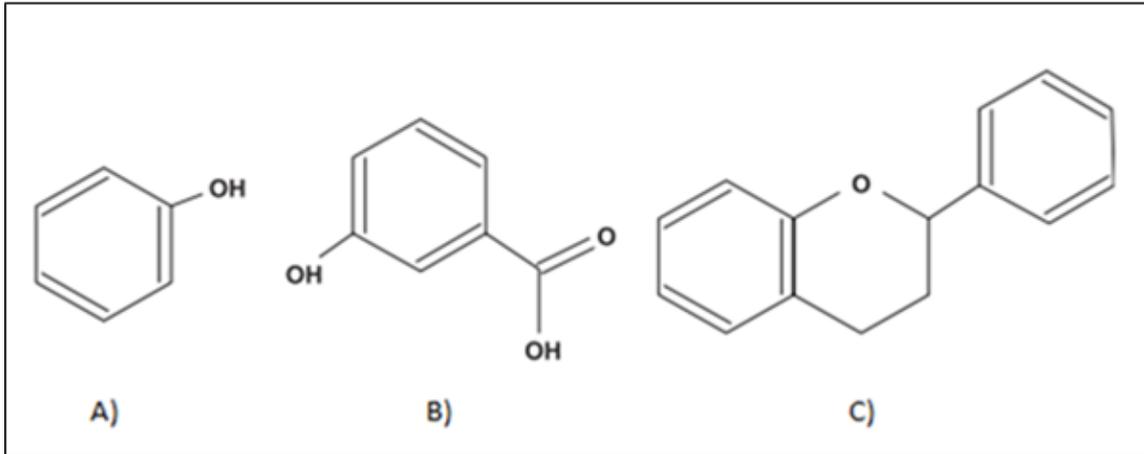


Figura 5. Estrutura básica dos principais compostos fenólicos encontrados em grãos, A) Anel aromático, B) Ácido fenólico e C) Flavonóide.

Fonte: Liu (2007).

Os compostos fenólicos presentes em grãos podem ser encontrados na forma solúvel, sendo facilmente extraídos por solventes polares, ou na forma complexada, os quais necessitam de uma hidrólise química ou enzimática para que ocorra a sua liberação (ACOSTA-ESTRADA, GUTIÉRREZ-URIBE e SERNA-SALDIVAR, 2014). Na maioria dos grãos, os fenólicos insolúveis representam mais de 50% do total de compostos fenólicos, sendo que em feijão, o percentual de fenólicos insolúveis pode chegar a 98,2%, segundo estudos de Ross, Beta e Arntfield (2009).

Na estrutura do grão, os compostos fenólicos insolúveis estão unidos a estruturas de parede, por ligações covalentes, com celulose, hemicelulose, lignina e proteínas estruturais (WONG, 2006). A esquematização dessas estruturas pode ser verificado na Figura 6.

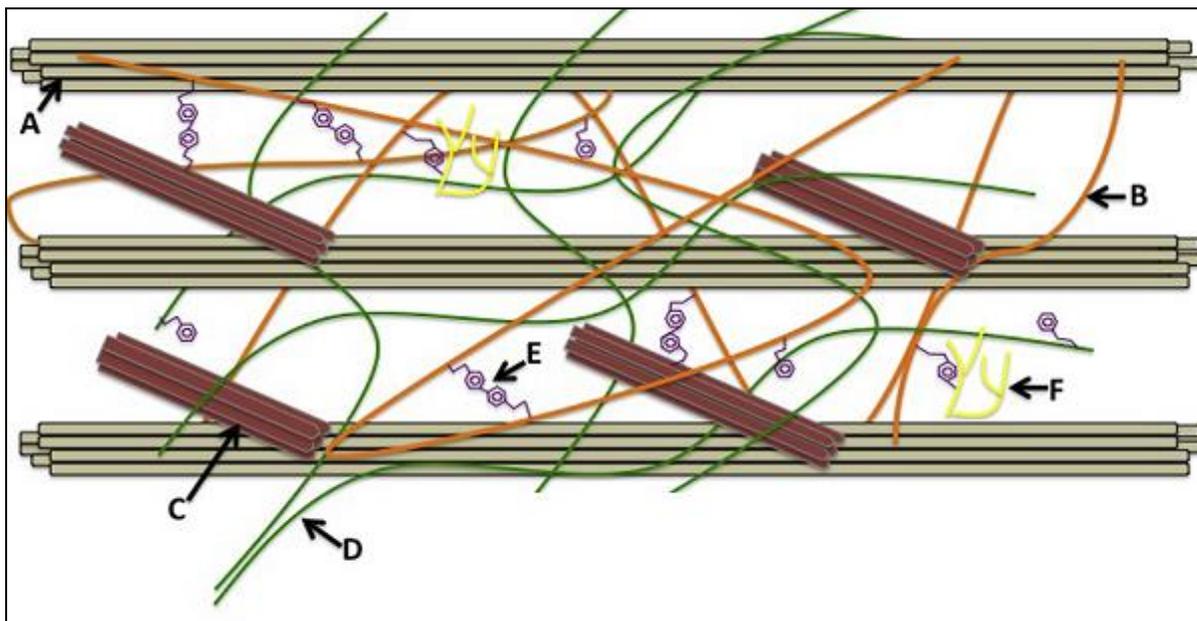


Figura 6. Representação da estrutura da parede celular primária de material vegetal e entre os componentes estruturais e compostos fenólicos. (A) Celulose. (B) hemicelulose, (C) proteínas estruturais, (D) pectina, (E) ácidos fenólicos (F) lignina.

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

Os compostos fenólicos solúveis são mais instáveis e absorvidos mais facilmente pelo organismo humano, desempenhando suas funções promotoras de saúde (CHANDRASEKARA; SHAHIDI, 2011). Por outro lado, os compostos fenólicos complexados são mais estáveis e sua liberação ocorre de forma parcial no trato gastrointestinal, após a ação de enzimas esterases e xilanases, oriundas da microflora do meio. As enzimas quebram as estruturas de celulose, hemicelulose e proteínas estruturais e, os compostos fenólicos liberados desempenham suas funções benéficas a saúde (ACOSTA-ESTRADA, GUTIÉRREZ-URIBE e SERNA-SALDIVAR, 2014).

Após uma abordagem geral dos compostos fenólicos, é importante destacar que esses compostos podem apresentar outras classificações de acordo com a complexidade. Os flavonoides são compostos com estrutura mais complexa que os ácidos fenólicos, normalmente são encontrados ligados a um ou mais glicosídeos, por ligações de hidroxilas ou carbono/carbono. O que caracteriza um flavonoide é a presença de dois anéis aromáticos ligados a um grupamento piranosídico central. Diferentes tipos de flavonoides podem ser formados por meio de reações de hidroxilação, metilação, acilação, glicosilação e etc, nas posições R1, R2, R3 e R4 (HAN et al., 2009), conforme apresentado no Figura 7.

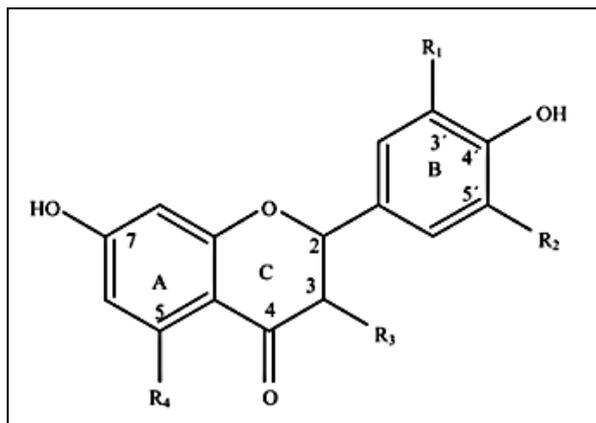


Figura 7. Estrutura básica de um flavonoide e os radicais R1, R2, R3 e R4 que podem ser modificados.

Fonte: Han et al. (2009).

As antocianinas também são compostos fenólicos pertencentes ao grupo dos flavonoides e que podem ser encontrados em grãos de feijão, sendo que a sua concentração pode ser bastante variada em função da coloração do feijão. Esses compostos são responsáveis pelas cores vermelha, azul e roxo dos grãos, frutos e vegetais em geral. Em alguns casos as antocianinas podem apresentar coloração preta (feijão preto). As antocianinas são hidrossolúveis por estarem ligadas a moléculas de açúcar. As antocianinas predominantes em vegetais são cianidina, pelargonidina, peonidina, delphinidina, petunidina e malvidina (NAYAK et al., 2011; HOU et al., 2011). A estrutura química geral das antocianinas é apresentada na Figura 8.

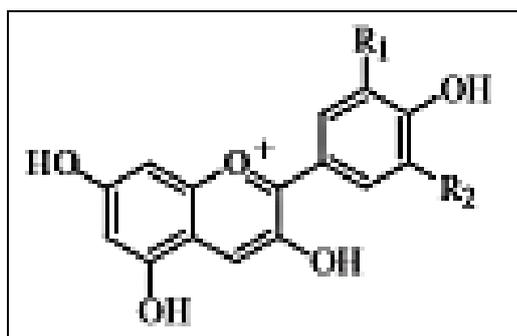


Figura 8. Estrutura química geral da antocianidina.

Fonte: Hou et al. (2011).

O ácido fítico é outro composto do metabolismo secundário das plantas, presentes em grãos de feijão, sendo a principal forma de armazenamento de fósforo grãos (LOEWUS e MURTHY, 2000). O ácido fítico é um antinutricional na

alimentação humana e animal, além de formar quelatos, o que reduz a disponibilidade de diversos minerais (WEAVER e KANNAN, 2002).

2.3 Secagem, armazenamento e qualidade dos grãos de feijão

Os grãos de feijão, na maioria das vezes, são colhidos apresentando umidades acima dos índices ideais para o armazenamento. A umidade dos grãos no momento da colheita é influenciada por diversos fatores, mas principalmente pelas condições climáticas no momento da colheita, que podem variar de acordo com a região de produção desses grãos.

Nesse contexto, a secagem dos grãos deve ser realizada o mais rápido possível, após a colheita, pois a alta umidade favorece o desenvolvimento de fungos, acelera o metabolismo dos grãos e um conjunto de reações químicas e enzimáticas que prejudicam a qualidade dos grãos. No entanto, não são em todos os casos que é possível a realização da secagem adequada desses grãos, devido ao fluxo de grãos que chega às unidades armazenadoras.

A etapa de secagem dos grãos é de suma importância para a cadeia produtiva, no entanto, se não for realizada de forma adequada pode apresentar sérios danos a qualidade dos grãos, já no momento da secagem, ou serem evidenciados na etapa de armazenamento. Para que a secagem ocorra de forma adequada, algumas questões do manejo devem ser observados, como a umidade inicial e final dos grãos, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a taxa de secagem e o período de exposição ao ar de secagem (MIRANDA, SILVA e CAVARIANI, 1999; BIAGI, BERTOL e CARNEIRO, 2002).

O alto fluxo de grãos que chega as unidades armazenadoras com necessidade de secagem rápida, associado a falta de estrutura de secagem acarreta na prática de utilização de altas temperaturas e grandes fluxos de ar, proporcionando um alto gradiente de umidade entre a superfície do grão e o seu interior, gerando tensões internas, que causam o trincamento e posterior quebra dos grãos e problemas durante o armazenamento (MARTINS et al., 2002; ELIAS et al., 2015).

Após a secagem, a etapa mais importante e que pode ser prejudicial a qualidade dos grãos, é o armazenamento dos grãos. O principal objetivo do armazenamento é manter as características que os grãos possuem imediatamente após o pré-processamento, tais como a viabilidade de grãos, a qualidade industrial e

as propriedades nutritivas (BROOKER et al., 1992), que afetam diretamente o valor comercial dos grãos.

Os grãos de feijão são armazenados em silos a granel ou em bolsas dentro dos armazéns, apresentando uma massa porosa, preenchida por oxigênio. Os grãos são armazenados vivos e, por isso, utilizam o oxigênio intergranular no seu processo respiratório, consumindo carboidratos e produzindo gás carbônico, água e calor. A velocidade com que o grão respira, varia de acordo com a temperatura de armazenamento, sendo que a cada 10°C de aumento na temperatura, numa faixa de 10 a 45°C, dobra a velocidade das reações metabólicas no grão (ORDONEZ, 2006).

Nesse contexto, a utilização de temperaturas de resfriamento, através da utilização da aeração artificial, pode ser uma tecnologia promissora na manutenção da qualidade dos grãos, retardando a desenvolvimento de insetos-pragas, independente das condições climáticas da região (REED et al., 2007; DEMITO e AFONSO, 2009; RIGUEIRA, LACERDA e VOLK, 2009).

Os grãos de feijão, em geral são armazenados em alta temperatura (30 e 40°C), condições essas que são comuns em países tropicais como o Brasil, o que acarreta em perda gradual da qualidade nutricional, tecnológica e sensorial (NASAR-ABBAS et al., 2008).

As condições inadequadas de armazenamento favorecem a desenvolvimento de diversos fungos, principalmente os xerofílicos. Esses fungos são comuns na natureza e podem crescer em diversas matérias orgânicas que possuem teor de umidade em equilíbrio com a umidade relativa do ambiente de 68 a 90%. Os fungos mais importantes nesse contexto são as espécies de *Aspergillus* das quais as mais comuns são *A. halophilicus*, *A. restrictus*, espécies do grupo *A. glaucus* (*A. amstelodami*, *A. rubers*, *A. repens* e *A. glaucus*); *A. ochraceus*, *A. candidus*, *A. flavus*, *A. parasiticus* e *Penicillium spp.* (DHINGRA, 1985). Estudos realizados por Bemiller e Whistler (2009), revelam que os fungos se desenvolvem facilmente se a temperaturua dos grãos ultrapassar a faixa de 22 a 24°C durante um longo periodo de tempo.

Uma das principais dificuldades do setor armazenista de grãos de feijão carioca, é impedir o escurecimento dos grãos, que é resultado da oxidação dos compostos fenólicos, pela ação da enzima polifenoloxidase na presença de oxigênio, formando novos compostos que alteram significativamente a cor dos grãos e deprecia seu valor comercial (SIQUEIRA et al., 2014).

Estudo realizado por Zambiasi (2015) durante o armazenamento de feijão carioca com umidade inicial de 11,7% verificou expressiva redução do valor L^* dos grãos de feijão carioca armazenado na temperatura de 30°C, quando comparado a temperatura de 15°C que apresentou as mínimas alterações nesse parâmetro de avaliação da cor. Reduções no valor L^* revelam que os grãos escureceram durante o período de armazenamento.

Outra alteração bastante relevante que ocorre em grãos de feijão durante o período de armazenamento, é o aumento do tempo de cocção e da dureza. As principais causas deste aumento são a utilização de temperatura e teor de água elevados durante o armazenamento, que levam a formação do defeito “HTC – Hard to cook”, que significa difícil de cozinhar. O aumento do tempo de cocção é caracterizado pela dificuldade de absorção de água pelos grãos durante o processo de hidratação e cocção, acarretando em elevados tempos de cocção, reduzindo a palatabilidade, aceitabilidade e valor comercial (NASAR-ABBAS et al., 2008; NJOROGÉ et al., 2014).

Dentre os principais fatores relacionados ao endurecimento dos grãos durante o período de armazenamento destaca-se a complexação de pectina-cátion-fitado (NJOROGÉ et al., 2014), compactação das células de parede (SHIGA, 2004), interação entre proteínas e amido (LIU, MCWATTERS e PHILLIPS, 1992) e ligações de taninos e outros compostos fenólicos com proteínas (MARIA et al., 2007).

Estudo realizado por Zambiasi (2015) durante o armazenamento de feijão carioca com umidade inicial de 11,7% verificou expressivo aumento do tempo de cocção após 90 dias de armazenamento na temperatura de 30°C, quando comparado ao armazenamento dos grãos na temperatura de 15°C que apresentaram as mínimas alterações no tempo de cocção dos grãos.

Em estudo realizado por Nassar-Abbas et al. (2008) também foi verificado o defeito HTC em feijão fava após 12 meses de armazenamento nas temperaturas acima de 37°C, quando comparado ao armazenamento em temperaturas abaixo de 25°C, que apresentaram as menores alterações.

Em grãos de feijão preto, Ferreira et al. (2017) constataram o aparecimento do defeito HTC em grãos armazenados na temperatura de 32°C com 4 meses de armazenamento, enquanto que nos grãos armazenados na temperatura de 11°C, foram pequenos os aumentos no tempo de cocção com 12 meses de armazenamento. Além do tempo de cocção, esses autores verificaram um

expressivo aumento na dureza dos grãos de feijão preto, de acordo com o aumento da temperatura de armazenamento. Ainda nesse mesmo estudo, a avaliação de outros parâmetros de qualidade, como o teor de sólidos lixiviados, a acidez do óleo e a condutividade elétrica também apresentaram as maiores alteração no armazenamento em temperaturas elevadas, quando comparado às temperaturas de resfriamento.

3 Material e métodos

3.1 Material e preparo das amostras

Foram utilizados grãos de feijão carioca da cultivar IPR Campos Gerais, produzidos no município de Piraí do Sul, na região centro-oriental do Paraná, Brasil, Latitude 24°31'34"S, Longitude 49°56'55"W e altitude de 1036 metros. Os grãos foram colhidos mecanicamente com umidade próxima a 23% e secos em secador de multipla intermitência, Modelo SMI - 40 toneladas, com ar parcialmente desumidificado (Figura 9), até as umidades aproximadas de 17 e 14%. A temperatura do ar de secagem na entrada do secador foi de 50°C e de saída de 30°C. A umidade relativa do ar (URA) na entrada do secador variou de 8 a 10%, sendo que essa baixa URA foi alcançada com o auxílio de uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) com potência de 60 TR (Toneladas de Refrigeração). A temperatura da massa de grãos na descarga do secador não ultrapassou, em nenhum momento, os 30°C.



Figura 9. Secador de Multipla Intermitência utilizado para a secagem dos grãos de feijão carioca.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental do estudo está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Delineamento experimental

Tratamentos	Variáveis independentes			Variáveis dependentes
	Umidade	T. °C	Tempo	
1				Parâmetros de avaliação da qualidade
2				Peso de mil grãos
3		12°C	Inicial	Perfil colorimétrico
...	13,8%			Vigor
...				Germinação
...				pH dos grãos
...		20°C	80 dias	Condutividade elétrica
...				Composição química (umidade, proteína, lipídios, cinzas)
...	16,7%			Proteína solúvel
...		28°C	160 dias	Tempo de cocção
...				Dureza
...				Sólidos lixiviados
...				Digestibilidade
26		36°C	240 dias	Atividade antioxidante - ABTS

Após a secagem, as amostras (3kg cada pacote) foram acondicionadas em sacos de polietileno de baixa densidade com 15 μ (micras) de espessura de filme plástico, dimensões de 25x35cm, vedados com máquina Webomatic® e ao abrigo da luz. O armazenamento foi realizado em quadruplicata, ou seja, 4 pacotes de 3kg para cada tratamento.

Após o acondicionamento, as amostras foram armazenadas em 4 câmaras com controle de temperatura. As temperaturas das câmaras foram de 12, 20, 28 e 36°C com variações de $\pm 1^\circ\text{C}$, respectivamente para a câmara 1, 2, 3 e 4. As avaliações foram realizadas em triplicata no início do armazenamento (inicial), aos 80, 160 e 240 dias. Para cada tratamento foi coletada uma amostra de cada pacote, que posteriormente foi homogeneizada e analisada em triplicata para cada variável dependente. O preparo das amostras, para as análises que necessitavam de moagem dos grãos, estes foram moídos em moinho laboratorial (Moinho Tecnal TE-631/3) para redução das partículas para 35 mesh.

3.3 Avaliações

3.3.1 Umidade dos grãos

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

3.3.2 Parâmetros biológicos

A avaliação dos perâmetros biológicos foi feita pelos testes de Germinação e Vigor.

3.3.2.1 Germinação

O teste de germinação foi conduzido de acordo com as Regras para Análise de Sementes (2009), em quatro repetições de 50 grãos por amostra, em rolo de papel apropriado para esse teste, em germinador regulado a 25°C, embebido em água na quantidade de 2,5 vezes o peso de sementes, visando adequado umedecimento, com as contagens feitas no 5º dia após a semeadura. Os resultados foram expressos em percentagem pela média das repetições.

3.3.2.2 Vigor

O teste de vigor foi realizado de acordo com as Regras para Análise de Sementes (2009) pelo teste de frio, conduzido com quatro repetições de 50 grãos por lote, em rolo de papel apropriado para esse teste, que foram colocados durante cinco dias na temperatura de 10°C, e posteriormente levados para um germinador regulado a 25°C. As contagens foram realizadas no 5º dia após a semeadura e os resultados foram expressos em percentagem pela média das repetições.

3.3.3 Parâmetros de avaliação de composição química

Os parâmetros avaliados foram proteína bruta, cinzas e lipídeos, determinados de acordo com metodologias descritas pela AOAC (2006).

3.3.4 Tempo de cocção

O tempo de cocção foi determinado segundo o método proposto por Mattson (1946) e alterado por Burr, Kon e Morris (1968), com adaptações. No equipamento de Mattson, com 25 hastes, foram colocados 25 grãos uniformes e inteiros previamente embebidos em 80 mL de água destilada, por 16 horas, a 25 °C. Cada haste apresenta comprimento de 210 mm e massa de 89 gramas, possuindo, na

extremidade, uma ponta afunilada com 2,05 mm de diâmetro e comprimento de 9 mm, para a penetração no grão em análise. O equipamento com os grãos foi colocado em Becker de 2000 mL, contendo 400 mL de água destilada, fervendo em chapa elétrica. Em continuidade, o tempo de cocção das amostras passou a ser cronometrado após a água atingir a temperatura de 90 °C. O tempo de cocção foi finalizado pela queda da 13ª haste, o que representa mais de 50% dos grãos, e os resultados foram expressos em minutos.

3.3.5 Dureza

O teste de dureza foi realizado no início e após 240 dias de armazenamento utilizando um texturômetro (*Stable Micro Systems Texture Analysers*, modelo TA.XTplus), conforme método descrito por Bourne (1978). O tempo utilizado para a cocção dos grãos de feijão foi de 14 minutos, correspondente ao tempo de cocção obtido no início do armazenamento. Foram realizadas 30 repetições, onde os grãos foram colocados individualmente na base do aparelho e submetidos a uma compressão 80% com uma sonda cilíndrica de 40 mm de diâmetro e velocidade do teste de 1 mm.s⁻¹, em dois ciclos, empregando-se carga de 5 kg para calibração. A dureza corresponde a força máxima obtida durante o primeiro ciclo de compressão.

3.3.6 Proteína solúvel

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 da solubilidade proteica foi realizada pelo método descrito pela AOAC (2006), o mesmo utilizado para avaliação do teor de proteína bruta. Os resultados foram expressos em percentual de solubilidade em relação ao conteúdo de proteína bruta da amostra.

3.3.7 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.

3.3.8. Peso de mil grãos

O peso de mil grãos foi realizado segundo Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com a contagem de 8 repetições de 100 grãos íntegros para cada repetição e pesagem em balança de precisão. Os resultados foram expressos em gramas (g) pela média das repetições.

3.3.9 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).

3.3.10 Sólidos lixiviados

Os sólidos lixiviados foram determinados segundo Nasar-Abbas et al. (2008). A amostra com 10g de grãos de feijão foi imersa em 50 mL de água deionizada durante 18 horas. Após o período de imersão a água foi coletada e levada à estufa com circulação de ar a 105 °C, por 24 horas e os resultados foram expressos em percentagem (%).

3.3.11 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água de hidratação foi determinada segundo metodologia do International Seed Testing Association - ISTA (2008). Foram pesadas três repetições de 10g, e imersas em 75mL de água deionizada (em Becker de 250mL), colocadas em germinador regulado para a temperatura constante de 20°C, posteriormente, incubados durante 24h. As soluções foram agitadas suavemente e a condutividade elétrica foi determinada com condutímetro sem filtragem da solução. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$.

3.3.12 Propriedades de pasta

As características viscoamilográficas dos grãos moídos foram avaliadas com o analisador rápido de viscosidade (RVA- Rapid Visco Analyser), usando programa

Thermocline for Windows versão 1.10. O perfil utilizado foi o *Standard Analysis 1*. A quantidade de amostra utilizada para os testes foi de 5g corrigidas para 14% de umidade, conforme descrito por Singh et al. (2004).

3.3.13 Digestibilidade

A digestão *in vitro* do amido presente nos grãos de feijão foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Dartois et al. (2010) com modificações, utilizando um modelo de digestão em duas etapas, simulando condições gástrica e intestinal. As amostras de grãos de feijão (inicial e armazenadas por 240 dias nas temperaturas de 12 e 36°C, para as umidades de 13,7 e 16,8%) foram cozidas em água fervente, dentro de um Becker, até os grãos serem totalmente cozidos. Posteriormente, a suspensão foi digerida por 30 min no fluido gástrico simulado (FGS, contendo pepsina, pH 1,2). Para realizar o terceiro passo de digestão, o fluido intestinal simulado (SIF, contendo pancreatina, amiloglucosidase e invertase) foi adicionado à mistura da reação para simular a digestão no intestino delgado por 180 min, mantendo o pH em 6,8. Alíquotas (0,5 mL) foram retiradas nos tempos 0, 15 e 30 min durante a etapa de digestão gástrica e a 0, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 min durante a etapa de digestão intestinal e misturada com etanol absoluto (2 mL) para paralisar a reação. As amostras retiradas foram centrifugadas a 1800 g por 10 min e incubadas por 10 min na temperatura de 37 °C em uma solução de amiloglucosidase e invertase. Após foi quantificado a glicose disponível utilizando o ensaio *D-glucose assay* (GOPOD-FORMAT, K-GLUC 05/2008, Megazyme International Ireland Ltd., Irlanda). Os resultados serão expressos como percentagem de hidrólise do amido utilizando a seguinte equação:

$$\%SH = \frac{Sh}{Si} = 0.9 \frac{Gp}{Si}$$

Onde: %SH é o percentual de hidrólise do amido (total); Sh é a quantidade de amido hidrolisado (g); Si é a quantidade inicial de amido (g); Gp é a quantidade de glicose produzida (g). Um fator de conversão (a partir do amido em glicose) de 0.9 o qual é gerado pelo peso molecular do monômero de amido / peso molecular de glicose (162/180=0.9) foi utilizado (DARTOIS et al., 2010).

3.3.14 Atividade antioxidante

A obtenção do extrato foi realizada conforme método proposto por Mira et al. (2009). Foram pesadas 2g de amostra desengordura em tubos de falcon de 50mL, com abrigo de luz, e adicionados 10mL de metanos P.A. (padrão analítico), em seguida os tubos serão agitados em mesa de agitação a 160rpm durante 10min, seguido de centrifugação a 7600rpm, a 24°C, durante 15min em centrífuga *Eppendorf Centrifuge 5430R*, o sobrenadante foi coletado. Serão realizadas mais duas extrações, na mesma amostra, com 10mL e com 5mL de metanol respectivamente, seguindo as mesmas operações descritas acima. Ao final das três extrações, serão juntados e armazenados os sobrenadantes a 4°C até o momento da determinação da atividade antioxidante.

A determinação da atividade antioxidante foi realizada com reação colorimétrica com o radical ABTS – 2,2-azino-bis (3 etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) sal diamônio (RE et al., 1999). Os resultados foram expressos em mg de equivalente Trolox.g⁻¹ de amostra.

3.4. Análise estatística

Para comparação dos resultados foi aplicado o teste de variância ANOVA, seguido pela comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O software utilizado foi o programa estatístico SAS.

4 Resultados e discussão

4.1 Germinação

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de germinação dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento os grãos apresentaram uma germinação de 88,00 e 85,25%, sem diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre eles. Após 240 dias de armazenamento os grãos armazenados na temperatura de 12°C, não apresentaram alteração ($p \geq 0,05$), enquanto que os grãos armazenados na temperatura de 36°C não apresentaram germinação já com 160 dias de armazenamento quando armazenados com 13,8% de umidade e com 80 dias de armazenamento quando armazenados com 16,7% de umidade.

Em estudos realizados por Rani et al. (2013) que armazenaram grãos de feijão comum com 12, 14, 16, 18 e 20% de umidade, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, durante 16 semanas, foi verificado comportamento similar ao presente estudo, com expressiva redução da germinação de acordo com o aumento da umidade e da temperatura de armazenamento ao longo do tempo. As reduções de germinação observadas nas condições mais drásticas de armazenamento, indica que os grãos não estão mais fisiologicamente ativos, devido a elevada temperatura que promove o aumento da taxa respiratória e acelera as reações metabólicas, onde as reservas armazenadas são desdobradas, transportadas e ressintetizadas no eixo embrionário (PEREZ-GARCIA e GONZALEZ-BENITO, 2006), inativando enzimas e degradando hormônios responsáveis pela germinação dos grãos. O resfriamento atua reduzindo esse conjunto de reações, preservando a qualidade fisiológica dos grãos.

Tabela 3. Germinação (%) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
Umidade inicial 13,8%				
12	A 88,00 ± 2,30 a	A 84,75 ± 1,70 a	A 86,50 ± 1,73 a	A 87,75 ± 1,25 a
20	A 88,00 ± 2,30 a	A 85,75 ± 1,89 ab	A 85,75 ± 2,62 ab	B 80,50 ± 3,87 b
28	A 88,00 ± 2,30 a	C 70,75 ± 1,89 b	C 25,00 ± 2,94 c	D 3,25 ± 0,50 d
36	A 88,00 ± 2,30 a	E 1,25 ± 0,50 b	D 0,00 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 b
Umidade inicial 16,7%				
12	A 85,25 ± 1,25 a	A 83,50 ± 1,29 a	A 83,25 ± 2,36 a	AB 82,50 ± 3,10 a
20	A 85,25 ± 1,25 a	B 77,50 ± 1,29 b	B 64,50 ± 2,08 c	C 55,00 ± 4,89 d
28	A 85,25 ± 1,25 a	D 63,25 ± 2,62 b	D 0,25 ± 0,50 c	D 0,00 ± 0,00 c
36	A 85,25 ± 1,25 a	E 0,00 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 b

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

4.2 Vigor

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados de vigor dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento, o vigor foi de 63,50 e 48,00%, respectivamente, para os grãos armazenados com 13,8 e 16,7% de umidade. Durante o período de armazenamento, o comportamento do vigor foi semelhante ao da germinação, com acentuada redução de acordo com o aumento da umidade e da temperatura ao longo do tempo. Os resultados de vigor ajudam a comprovar as alterações fisiológicas que ocorrem nos grãos de feijão durante o período de armazenamento e demonstram a importância da utilização de temperaturas de resfriamento para a manutenção dos parâmetros fisiológicos dos grãos.

Tabela 4. Vigor (%) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
Umidade inicial 13,8%				
12	A 63,50 ± 2,08 a	A 60,50 ± 1,29 a	A 56,25 ± 1,70 b	A 54,75 ± 0,95 b
20	A 63,50 ± 2,08 a	B 53,00 ± 3,36 b	C 11,00 ± 1,15 c	C 10,00 ± 1,82 c
28	A 63,50 ± 2,08 a	E 9,00 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 c	D 0,00 ± 0,00 c
36	A 63,50 ± 2,08 a	F 0,50 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 b
Umidade inicial 16,7%				
12	B 48,00 ± 1,82 a	C 30,50 ± 0,57 b	B 24,00 ± 1,15 c	B 12,00 ± 0,81 d
20	B 48,00 ± 1,82 a	D 14,00 ± 3,36 b	D 1,50 ± 0,57 c	D 0,00 ± 0,00 c
28	B 48,00 ± 1,82 a	E 0,00 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 b
36	B 48,00 ± 1,82 a	F 0,00 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 b	D 0,00 ± 0,00 b

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

4.3 Umidade

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados de umidade dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento, a umidade dos grãos foi de 13,83 e 16,73%, sendo que durante o período de armazenamento foram observadas algumas alterações no teor de água em função das condições de armazenamento. As principais alterações são observadas no armazenamento com 16,73% de umidade na temperatura de 36°C, que após 240 dias de armazenamento apresentou uma redução de ($p \leq 0,05$) 1,56 pontos percentuais, atingindo níveis de umidade de 15,17%. Nas outras condições de armazenamento testadas, a redução de umidade foi em menores proporções.

As alterações observadas na umidade dos grãos pode se atribuída ao sistema de armazenamento utilizado, que é o semi-hermético, aquele que permite trocas parciais de ar entre o ambiente externo e interno de armazenamento. Dessa forma, quando a pressão de vapor dos grãos é maior do que a do ar circundante, ocorre o fenômeno de dessecção, ou quando a pressão de vapor dos grãos for menor que a do ar circundante ocorre o fenômeno de sorção (SUN e WOODS, 1997). Além disso, o metabolismo dos grãos e dos microrganismos associados produzem calor e água que podem provocar alterações na umidade dos grãos tanto em sistemas herméticos como semi-herméticos.

Comportamento similar, com redução da umidade ao longo do período de armazenamento em sistema semi-hermético também foi verificado por Ferreira (2014) em grãos de feijão preto e por Ziegler et al. (2016a) em grãos de soja. Em ambos os estudos as maiores reduções foram observadas nas temperaturas mais altas de armazenamento (32°C).

Tabela 5. Umidade (%) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
<i>Umidade inicial 13,8%</i>				
12	B 13,83 ± 0,09 b*	CD 14,45 ± 0,06 a	C 14,45 ± 0,23 a	BC 14,33 ± 0,35 ab
20	B 13,83 ± 0,09 b	D 14,40 ± 0,11 a	C 14,26 ± 0,12 ab	BC 14,25 ± 0,33 ab
28	B 13,83 ± 0,09 b	C 14,64 ± 0,08 a	C 14,45 ± 0,14 a	CD 13,96 ± 0,15 b
36	B 13,83 ± 0,09 a	E 13,61 ± 0,10 a	D 13,06 ± 0,07 b	D 12,64 ± 0,06 b
<i>Umidade inicial 16,7%</i>				
12	A 16,73 ± 0,08 a	A 16,15 ± 0,01 bc	A 16,19 ± 0,03 b	A 16,05 ± 0,03 c
20	A 16,73 ± 0,08 a	A 16,11 ± 0,04 b	A 15,90 ± 0,04 b	A 15,95 ± 0,14 b
28	A 16,73 ± 0,08 a	A 15,98 ± 0,04 b	A 15,91 ± 0,08 b	AB 15,60 ± 0,12 c
36	A 16,73 ± 0,08 a	B 15,64 ± 0,12 b	B 15,29 ± 0,12 b	ABC 15,17 ± 0,33 b

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

4.4 Teor de proteína bruta e solubilidade proteica

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados do teor de proteína bruta dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento o conteúdo de proteína bruta foi de 20,09%, estando de acordo com o encontrado nos estudos de Silochi (2015) que encontrou teores de proteínas variando de 17,31 a 20,23% em três cultivares de feijão carioca.

Após 240 dias de armazenamento, observa-se uma redução de 9,23 e 8,39% no teor de proteína bruta nos grãos armazenados a 36°C, respectivamente com 13,8 e 16,7% de umidade. Nas temperaturas de 12 e 20°C não foram observadas alterações ($p \leq 0,05$) no teor de proteínas. Reduções no conteúdo de proteínas também foi observado por Rani et al. (2013) no armazenamento de feijão carioca com umidade de 20% na temperatura de 40°C, após 16 semanas de armazenamento. As reduções no conteúdo de proteínas pode ser ocasionado pelas reações do metabolismo dos grãos, e o resfriamento atua reduzindo a velocidade das reações metabólicas, preservando o conteúdo de proteínas.

Tabela 6. Teor de proteínas (% base seca) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
<i>Umidade inicial 13,8%</i>				
12	A 20,09 ± 0,37 a	A 20,07 ± 0,97 a	A 20,16 ± 0,89 a	AB 19,88 ± 0,17 a
20	A 20,09 ± 0,37 a	A 19,96 ± 0,87 a	A 20,02 ± 0,51 a	ABC 19,54 ± 0,82 a
28	A 20,09 ± 0,37 a	A 19,07 ± 0,28 ab	A 19,25 ± 0,55 ab	ABC 18,60 ± 0,43 b
36	A 20,09 ± 0,37a	A 19,97 ± 0,16 a	A 18,94 ± 0,16 b	C 18,23 ± 0,33 b
<i>Umidade inicial 16,7%</i>				
12	A 20,24 ± 0,75 a	A 20,35 ± 0,58 a	A 20,09 ± 0,46 a	A 20,01 ± 0,32 a
20	A 20,24 ± 0,75 a	A 19,70 ± 0,39 a	A 19,29 ± 0,09 a	ABC 18,97 ± 0,59 a
28	A 20,24 ± 0,75 a	A 19,32 ± 0,64 a	A 19,33 ± 0,78 a	ABC 18,68 ± 0,52 a
36	A 20,24 ± 0,75 a	A 19,91 ± 0,56 ab	A 19,11 ± 0,09 ab	BC 18,54 ± 0,50 b

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

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados de solubilidade proteica dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento a solubilidade proteica foi de 59,25 e 60,44% nas duas umidades estudadas, sem diferenças entre elas ($p \leq 0,05$). Após 240 dias de armazenamento observa-se uma redução da solubilidade proteica, de acordo com o aumento da temperatura de armazenamento, sendo que as principais reduções são observadas nos grãos armazenados com 16,7% de umidade na temperatura de 36°C, que apresentaram uma redução de 68,66% na solubilidade proteica.

Reduções na solubilidade proteica também foi verificado por Ferreira (2014), no armazenamento por 12 meses de feijão preto, com umidades de 14 e 17%, na temperatura de 32°C. Resultados semelhantes também foram verificados no armazenamento de grãos de soja, por 12 meses, nas umidades de 9, 12, 15 e 18%, na temperatura de 32°C (Ziegler et al., 2016a)

Redução na solubilidade proteica dos grãos de feijão está associado a oxidação de proteínas, formações de pontes dissulfídicas, complexação de proteínas com amido e/ou com ácidos graxos, sendo que essas reações são favorecidas pelo aumento da temperatura de armazenamento (YOUSIF et al., 2003; BATISTA, PRUDÊNCIO e FERNANDES, 2010). A redução da solubilidade proteica dos grãos de feijão carioca afeta o desempenho de panela desses grãos, pois uma baixa solubilidade, indica que essas proteínas teram dificuldade de se incorporarem ao caldo, formando um caldo menos viscoso, o que é indesejado pelos consumidores.

Tabela 7. Solubilidade proteica (% , base seca) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
<i>Umidade inicial 13,8%</i>				
12	A 59,26 ± 1,89 a*	AB 58,16 ± 1,24 a	A 59,81 ± 0,56 a	A 57,55 ± 1,22 a
20	A 59,26 ± 1,89 a	AB 57,55 ± 0,87 a	A 58,08 ± 1,23 a	A 56,10 ± 0,34 a
28	A 59,26 ± 1,89 a	AB 56,92 ± 1,15 a	B 50,62 ± 1,32 b	B 43,25 ± 1,46 c
36	A 59,26 ± 1,89 a	C 49,99 ± 0,80 b	D 38,78 ± 0,93 c	D 31,67 ± 0,91 d
<i>Umidade inicial 16,7%</i>				
12	A 60,44 ± 1,53 a	A 59,76 ± 0,61 a	A 57,37 ± 1,66 ab	A 54,91 ± 1,82 b
20	A 60,44 ± 1,53 a	B 54,63 ± 1,83 b	B 49,57 ± 1,72 c	B 44,32 ± 0,62 d
28	A 60,44 ± 1,53 a	C 50,28 ± 2,51 b	C 42,86 ± 1,88 c	C 37,52 ± 2,36 c
36	A 60,44 ± 1,53 a	D 35,61 ± 1,48 b	E 25,04 ± 0,92 c	E 18,94 ± 0,35 d

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

4.5 Teor de lipídios

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados do teor de lipídios dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento, o teor de lipídios foi de 1,21 e 1,25%, respectivamente, para as umidades de grãos de 13,8 e 16,7%. Os teores de lipídios encontrados nesse estudo estão de acordo com o estudos de Vanier (2012) que encontrou uma variação de 1,10 a 1,52% de lipídios em 5 cultivares de grãos de feijão carioca. Após 240 dias de armazenamento, observa-se um aumento ($p \leq 0,05$) no teor de óleo, principalmente, com o aumento da temperatura de armazenamento, atingindo níveis de 2,01% nos grãos armazenados com 16,7% de umidade na temperatura de 36°C.

Aumentos no teor de lipídios também foi verificado por Ferreira (2014) no armazenamento de feijão preto na umidade de 17% e na temperatura de 32°C. O aumento no teor de lipídios está relacionado com o metabolismo dos grãos, pois o processo respiratório dos grãos consome basicamente carboidratos, dessa forma, quanto maior a atividade respiratória, maior é a redução de carboidratos, o que proporciona um maior aumento, proporcional, no conteúdo de lipídios (CHIDANANDA et al., 2014).

Tabela 8. Teor de lipídios (% base seca) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
<i>Umidade inicial 13,8%</i>				
12	A 1,21 ± 0,05 b*	ABC 1,38 ± 0,07 a	CD 1,49 ± 0,02 a	DE 1,47 ± 0,00 a
20	A 1,21 ± 0,05 b	ABC 1,44 ± 0,06 a	d 1,47 ± 0,07 a	DE 1,49 ± 0,03 a
28	A 1,21 ± 0,05 c	AB 1,52 ± 0,02 ab	CD 1,51 ± 0,03 b	C 1,60 ± 0,01 a
36	A 1,21 ± 0,05 c	A 1,56 ± 0,04 b	B 1,74 ± 0,05 a	B 1,82 ± 0,02 a
<i>Umidade inicial 16,7%</i>				
12	A 1,25 ± 0,03 c	C 1,26 ± 0,09 bc	D 1,44 ± 0,08 ab	E 1,45 ± 0,23 a
20	A 1,25 ± 0,03 c	BC 1,31 ± 0,03 c	D 1,43 ± 0,03 b	CD 1,57 ± 0,03 a
28	A 1,25 ± 0,03 d	ABC 1,41 ± 0,08 c	BC 1,64 ± 0,01 b	B 1,82 ± 0,06 a
36	A 1,25 ± 0,03 c	A 1,59 ± 0,14 b	A 1,89 ± 0,08 a	A 2,01 ± 0,01 a

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

4.6 Teor de cinzas

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados do teor de cinzas dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento, o conteúdo de cinzas foi de 4,36 e 4,51%, respectivamente, nas umidade de 13,8 e 16,7%, estando de acordo com os estudos de Vanier (2012) que encontrou uma variação de 3,93 a 4,21% na caracterização de 5 cultivares de feijão carioca.

Após 240 dias de armazenamento, observa-se aumento significativo ($p \leq 0,05$) no conteúdo de cinzas dos grãos armazenados com umidade de 16,7% nas temperaturas de 28 e 36°C. Aumento no conteúdo de cinzas também foi verificado por Ziegler et al. (2016a) no armazenamento de grãos de soja com umidade de 18% na temperatura de 32°C. O aumento de cinzas se deve ao metabolismo dos grãos, que consome as reservas energéticas, principalmente os carboidratos, por isso, o aumento no teor de cinzas é considerado um aumento proporcional.

Tabela 9. Teor de cinzas (% base seca) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
<i>Umidade inicial 13,8%</i>				
12	A 4,36 ± 0,16 a*	A 4,33 ± 0,15 a	A 4,39 ± 0,28 a	C 4,34 ± 0,22 a
20	A 4,36 ± 0,16 a	A 4,26 ± 0,07 a	A 4,29 ± 0,23 a	BC 4,42 ± 0,18 a
28	A 4,36 ± 0,16 a	A 4,24 ± 0,20 a	A 4,15 ± 0,07 a	BC 4,40 ± 0,23 a
36	A 4,36 ± 0,16 a	A 4,37 ± 0,22 a	A 4,31 ± 0,05 a	ABC 4,51 ± 0,16 a
<i>Umidade inicial 16,7%</i>				
12	A 4,51 ± 0,14 a	A 4,39 ± 0,27 a	A 4,32 ± 0,17 a	C 4,36 ± 0,05 a
20	A 4,51 ± 0,14 a	A 4,40 ± 0,14 a	A 4,37 ± 0,33 a	ABC 4,53 ± 0,07 a
28	A 4,51 ± 0,14 b	A 4,56 ± 0,04 b	A 4,35 ± 0,13 b	AB 4,86 ± 0,12 a
36	A 4,51 ± 0,14 b	A 4,69 ± 0,32 b	A 4,44 ± 0,27 b	A 4,90 ± 0,14 a

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

4.7 Peso de mil grãos

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados do peso de mil grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento o peso de mil grãos foi de 247,25 e 249,57g, respectivamente, para as umidades de 13,8 e 16,7%. Após 240 dias de armazenamento observa-se redução de 4,52 e 3,81% no peso de mil grãos, respectivamente, para os grãos armazenados nas umidades de 13,8 e 16,7%, na temperatura de 36°C.

A redução do peso de mil grãos é resultado da redução da umidade dos grãos (Tabela 5) associado ao metabolismo dos grãos que consome as reservas energéticas, como proteínas (Tabela 6) e carboidratos, reduzindo o seu peso. O resfriamento atua reduzindo a taxa respiratória dos grãos, conseqüentemente, reduzindo o consumo das reservas energéticas e reduzindo as perdas para os armazenistas desses grãos, os quais vêm a anos lutando para reduzir a chamada quebra técnica durante o período de armazenamento.

Os benefícios do resfriamento na manutenção do peso de mil grãos já foi estudado e comprovado em estudos com soja (ZIEGLER et al., 2016b), feijão preto (FERREIRA, 2014), arroz de pericarpo pardo, preto e vermelho (ZIEGLER, 2016) e em milho (PARAGINSK et al., 2015).

Tabela 10. Peso de Mil Grãos (g) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
Umidade inicial 13,8%				
12	A 247,25 ± 2,36 a*	A 247,60 ± 5,16 a	A 247,28 ± 5,88 a	A 247,68 ± 5,90 a
20	A 247,25 ± 2,36 a	A 247,30 ± 4,96 a	A 246,84 ± 4,72 a	A 246,84 ± 4,72 a
28	A 247,25 ± 2,36 a	A 245,22 ± 8,51 a	A 244,65 ± 2,19 a	AB 243,10 ± 4,94 a
36	A 247,25 ± 2,36 a	A 246,38 ± 2,18 a	A 242,88 ± 5,30 ab	B 236,06 ± 2,94 b
Umidade inicial 16,7%				
12	A 249,57 ± 3,17 a	A 247,01 ± 2,13 a	A 247,35 ± 3,06 a	A 246,29 ± 0,55 a
20	A 249,57 ± 3,17 a	A 246,58 ± 1,96 a	A 247,20 ± 2,65 a	A 246,87 ± 1,86 a
28	A 249,57 ± 3,17 a	A 246,67 ± 5,22 a	A 244,62 ± 3,94 a	AB 242,11 ± 2,44 a
36	A 249,57 ± 3,17 a	A 247,13 ± 2,35 ab	A 245,26 ± 4,36 ab	B240,82 ± 3,57 b

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

4.8 Condutividade elétrica

Na Tabela 11 estão apresentados os resultados de condutividade elétrica dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. A condutividade elétrica é um parâmetro de avaliação da qualidade dos grãos que auxilia na identificação de possíveis alterações na estrutura celular dos grãos, dessa forma, quanto maior a condutividade elétrica, mais desestruturado está o grão, e quanto menor a condutividade elétrica, mais intacta está a estrutura celular dos grãos (COSTA et al., 2010).

Durante o período de armazenamento, observa-se um expressivo aumento da condutividade elétrica de acordo com o aumento da umidade e da temperatura de armazenamento. Os maiores aumentos são verificados no armazenamento com umidade de 16,7%, na temperatura de 36°C, em que a condutividade elétrica passou de 109,99 (inicial) para 357,04 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ (240 dias). Aumentos na condutividade elétrica de acordo com o aumento da temperatura de armazenamento também foi verificado em Fava (NASAR-ABBAS et al., 2008), Feijão preto (FERREIRA et al., 2017), arroz com pericarpo pardo, preto e vermelho (ZIEGLER, 2016) e em milho (PARAGINSK et al., 2015).

Esses resultados demonstram que a estrutura celular do interior dos grãos foi afetada pelo armazenamento em alta temperatura, associado as maiores umidades de grãos. Essa desestruturação é ocasionada pela atividade enzimática e o desencadeamento de uma série de reações químicas que são aceleradas em temperaturas elevadas de armazenamento.

Tabela 11. Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) da solução de hidratação dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
<i>Umidade inicial 13,8%</i>				
12	A 113,85 ± 13,15 a*	F 110,57 ± 10,04 a	F 120,41 ± 9,14 a	F 120,90 ± 6,94 a
20	A 113,85 ± 13,15 b	EF 119,44 ± 11,22 b	F 120,71 ± 7,98 b	DE 156,43 ± 8,00 a
28	A 113,85 ± 13,15 c	D 148,46 ± 10,29 b	D 170,89 ± 3,52 b	C 246,60 ± 2,51 a
36	A 113,85 ± 13,15 c	B 260,08 ± 8,77 b	B 278,79 ± 10,84 b	A 354,22 ± 3,58 a
<i>Umidade inicial 16,7%</i>				
12	A 109,99 ± 10,01 c	F 104,89 ± 8,07 c	F 112,12 ± 0,03 b	E 149,07 ± 0,03 a
20	A 109,99 ± 10,01 c	DE 140,71 ± 8,40 b	E 145,80 ± 1,74 b	D 180,03 ± 14,72 a
28	A 109,99 ± 10,01 d	C 201,81 ± 12,04 c	C 240,22 ± 10,50 b	B 308,35 ± 12,21 a
36	A 109,99 ± 10,01 d	A 314,27 ± 3,92 c	A 323,31 ± 9,92 b	A 357,04 ± 11,22 a

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

4.9 pH dos grãos

Na Tabela 12 estão apresentados os resultados de pH dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento, os grãos de feijão carioca apresentaram pH de 7,27 e 7,34, respectivamente, para as umidade de 13,8 e 16,7%, no entanto, durante o período de armazenamento observa-se uma redução do pH dos grãos de acordo com o aumento da umidade e da temperatura de armazenamento, chegando a níveis de 5,69 e 5,30, quando armazenados na temperatura de 36°C, respectivamente, nas umidades de 13,8 e 16,7%.

A redução do pH indica que os grãos acidificaram ao longo do armazenamento, devido a formação de compostos ácidos e principalmente pela liberação de ácidos graxos livres oriundos da ação enzimática da lipase sobre os triacilgliceróis. O resfriamento atua reduzindo a atividade enzimática da lipase e também reduz a velocidade de reações químicas que acarretam na produção de compostos ácidos.

Redução do pH dos grãos de acordo com o aumento da temperatura de armazenamento também foi verificado por Ziegler (2016) em grãos de arroz integral de pericarpo pardo, preto e vermelho e em feijão carioca por Zambiasi (2015). Aumento da acidez lipídica de grãos de feijão preto de acordo com o aumento da temperatura de armazenamento também foi verificado por Ferreira et al. (2017).

Tabela 12. pH dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
<i>Umidade inicial 13,8%</i>				
12	A 7,27 ± 0,51 a*	A 7,27 ± 0,02 a	A 6,75 ± 0,22 ab	B 6,26 ± 0,03 b
20	A 7,27 ± 0,51 a	A 7,12 ± 0,10 a	A 6,66 ± 0,17 ab	BC 6,23 ± 0,03 b
28	A 7,27 ± 0,51 a	AB 6,98 ± 0,09 ab	AB 6,39 ± 0,15 bc	D 6,00 ± 0,00 c
36	A 7,27 ± 0,51 a	CD 6,62 ± 0,13 ab	BC 6,06 ± 0,19 bc	F 5,69 ± 0,01 c
<i>Umidade inicial 16,7%</i>				
12	A 7,34 ± 0,11 a	AB 6,99 ± 0,10 b	A 6,58 ± 0,11 c	A 6,34 ± 0,02 c
20	A 7,34 ± 0,11 a	AB 7,02 ± 0,12 b	AB 6,46 ± 0,11 c	C 6,17 ± 0,01 d
28	A 7,34 ± 0,11 a	BC 6,78 ± 0,16 b	AB 6,32 ± 0,12 c	E 5,87 ± 0,03 d
36	A 7,34 ± 0,11 a	D 6,37 ± 0,12 b	C 5,68 ± 0,11 c	G 5,30 ± 0,01 d

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

4.10 Sólidos lixiviados

Na Tabela 13 estão apresentados os resultados de sólidos lixiviados dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento, o teor de sólidos lixiviados foi de 2,30 e 2,25%, respectivamente, nas umidade de 13,8 e 16,7%. Durante o período de armazenamento observa-se aumento ($p \leq 0,05$) no teor de sólidos lixiviados de acordo com o aumento de temperatura de armazenamento, independente da umidade de grãos estudada.

Aumentos no teor de sólidos lixiviados também foi observado por Ferreira et al. (2017) no armazenamento de grãos de feijão durante 12 meses com umidades de 14 e 17%, na temperatura de 32°C. A aumento no teor de sólidos lixiviados indica que uma maior quantidade de carboidratos de cadeia curta, proteínas solúveis e minerais foram lixiviados para a água de hidratação dos grãos quando armazenados em alta temperatura. Esses resultados indicam que a estrutura celular dos grãos foi danificada, o que facilitou a lixiviação desses compostos, dessa forma, esse parâmetro de avaliação de qualidade indica que o armazenamento de grãos de feijão carioca em altas temperaturas proporciona uma desestruturação celular no interior dos grãos, o que acelera os processos de degradação.

Tabela 13. Sólidos lixiviados (%) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
<i>Umidade inicial 13,8%</i>				
12	A 2,30 ± 0,36 a*	E 2,41 ± 0,33 a	D 2,48 ± 0,16 a	E 2,54 ± 0,27 a
20	A 2,30 ± 0,36 a	DE 2,59 ± 0,40 a	CD 2,80 ± 0,36 a	E 2,82 ± 0,11 a
28	A 2,30 ± 0,36 c	C 4,00 ± 0,59 b	B 5,11 ± 0,06 a	C 6,04 ± 0,21 a
36	A 2,30 ± 0,36 b	A 7,90 ± 0,20 a	A 8,15 ± 0,13 a	AB 8,19 ± 0,18 a
<i>Umidade inicial 16,7%</i>				
12	A 2,25 ± 0,09 b	DE 2,68 ± 0,24 ab	CD 2,78 ± 0,23 ab	E 2,86 ± 0,24 a
20	A 2,25 ± 0,09 c	DC 3,35 ± 0,29 b	C 3,89 ± 0,36 ab	D 4,12 ± 0,24 a
28	A 2,25 ± 0,09 c	B 6,12 ± 0,25 b	A 7,79 ± 1,05 ab	B 7,54 ± 0,17 ab
36	A 2,25 ± 0,09 b	A 8,34 ± 0,08 a	A 8,31 ± 0,08 a	A 8,39 ± 0,46 a

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

4.11 Tempo de cocção

Na Tabela 14 estão apresentados os resultados do tempo de cocção dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. Observa-se que no início do armazenamento, o tempo de cocção foi de 13min e 31s e 13min e 59s, respectivamente, nas umidades de 13,8 e 16,7%. Durante o período de armazenamento, observa-se um expressivo aumento ($p \leq 0,05$) no tempo de cocção, principalmente de acordo com o aumento da temperatura de armazenamento. Nas temperaturas de armazenamento de 12 e 20°C, os grãos apresentaram aumento no tempo de cocção, no entanto, não apresentaram o defeito HTC, o qual foi identificado nos grãos armazenados a 36°C com 80 e 160 dias de armazenamento. Ao final dos 240 dias de armazenamento, o defeito HTC foi identificado nas temperaturas de 28 e 36°C, independente da umidade de grãos estudada.

O defeito HTC também foi encontrado por Ferreira et al. (2017), no armazenamento de grãos de feijão preto armazenados com 17% de umidade na temperatura de 32°C já com 4 meses de armazenamento, seguindo até um ano. Aumento no tempo de cocção também foi verificado por Zambiasi (2015) em grãos de feijão carioca armazenado por 90 dias, com 11,7% de umidade, na temperatura de 30°C. Em ambos os estudos, os menores aumentos no tempo de cocção foram verificados nos grãos armazenados em temperaturas de resfriamento.

Tabela 14. Tempo de cocção (minutos (min), segundos (s) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
<i>Umidade inicial 13,8%</i>				
12	A 13,31 ± 1,15 c*	F 19,50 ± 0,50 b	D 28,00 ± 1,00 a	D 30,33 ± 1,52 a
20	A 13,31 ± 1,15 d	D 40,50 ± 3,50 c	B 56,00 ± 2,00 b	B 71,67 ± 1,52 a
28	A 13,31 ± 1,15 c	B 68,33 ± 0,57 b	A 144,67 ± 4,50 a	HTC
36	A 13,31 ± 1,15	HTC	HTC	HTC
<i>Umidade inicial 16,7%</i>				
12	A 13,48 ± 0,59 c	E 29,00 ± 2,00 b	C 38,00 ± 1,00 a	C 38,67 ± 1,52 a
20	A 13,48 ± 0,59 d	C 51,00 ± 3,00 c	B 59,00 ± 1,00 b	A 85,00 ± 1,00 a
28	A 13,48 ± 0,59 b	A 143,57 ± 4,04 a	A 148,33 ± 2,08 a	HTC
36	A 13,48 ± 0,59	HTC	HTC	HTC

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

HTTC – Hard Too Cook - Grãos de feijão que apresentaram tempo de cocção superior a 180min.

6.12 Dureza

Na Tabela 15 estão apresentados os resultados de dureza dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura, no início e após 240 dias. Observa-se um expressivo aumento ($p \leq 0,05$) da dureza dos grãos após 240 dias de armazenamento, em relação ao início do armazenamento. Observa-se ainda que a dureza aumentou ($p \leq 0,05$) gradativamente de acordo com o aumento da temperatura de armazenamento, representando 165,70 e 167,53N de aumento, respectivamente para os grãos armazenado com 13,8 e 16,7% de umidade na temperatura de 36 °C. Em estudos realizados por Ferreira et al. (2017) durante o armazenamento de feijão preto em diferentes condições de umidade e temperatura, durante 12 meses, também foi verificado aumento da dureza dos grãos de acordo com o aumento da temperatura de armazenamento.

O endurecimento dos grãos de feijão, verificados pelos aumentos do tempo de cocção e da dureza, podem ser ocasionados por inúmeros fatores, destacando a complexação de pectina-cátin-fitato (NJOROGÉ et al., 2014), compactação das células de parede (SHIGA, 2004), interação entre proteínas e amido (LIU, MCWATTERS e PHILLIPS, 1992) e ligações de taninos e outros compostos fenólicos com proteínas (MARIA et al., 2007). Todos esses fatores atuam reduzindo a taxa de absorção de água dos grãos, o que dificulta a sua cocção, deixando-os mais duros. O resfriamento atua reduzindo a velocidade desse conjunto de reações, mantendo a qualidade de cocção por mais tempo, além disso, o alto tempo de

coção, geralmente, está relacionado com as alterações de cor em grãos de feijão carioca, como pode ser verificado na sequência.

Tabela 15. Dureza (N) de grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Dureza (N)
Umidade inicial 13,8%	
Inicial	61,56 ± 5,36 h*
12	67,59 ± 7,27 gh
20	80,95 ± 11,63 g
28	201,41 ± 19,11 c
36	227,26 ± 5,67 b
Umidade inicial 16,7%	
Inicial	107,07 ± 9,71 f
12	125,26 ± 8,99 e
20	174,80 ± 6,40 d
28	225,90 ± 19,41 b
36	274,60 ± 17,29 a

*Médias aritméticas simples de três repetições ± desvio padrão, seguidas por diferentes letras minúsculas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4.13 Aparência visual e perfil colorimétrico

Na Figura 10 está apresentada a aparência visual dos grãos dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. No início do armazenamento, observa-se que os grãos de feijão carioca apresentaram aparência visual característica de grãos de feijão recém colhidos, no entanto, depois de 240 dias de armazenamento, a aparência dos grãos sofreu alterações marcantes, principalmente quando armazenados nas temperaturas de 28 e 36°C, pois esses grãos adquiriram uma coloração escura, o que descaracteriza o feijão carioca e acarreta em expressiva redução do valor comercial desses grãos.

O escurecimento dos grãos de feijão é resultado de reações de oxidação dos compostos fenólicos presentes no tegumento dos grãos pela enzima polifenoloxidase associado a atividade enzimática da peroxidase, produzindo compostos escuros (RIOS et al., 2002). As menores alterações na aparência dos grãos ao serem armazenados em temperaturas de resfriamento, é ocasionada pela redução da atividade enzimática da polifenoloxidase e da peroxidase, conseqüentemente, inibindo o escurecimento dos grãos.

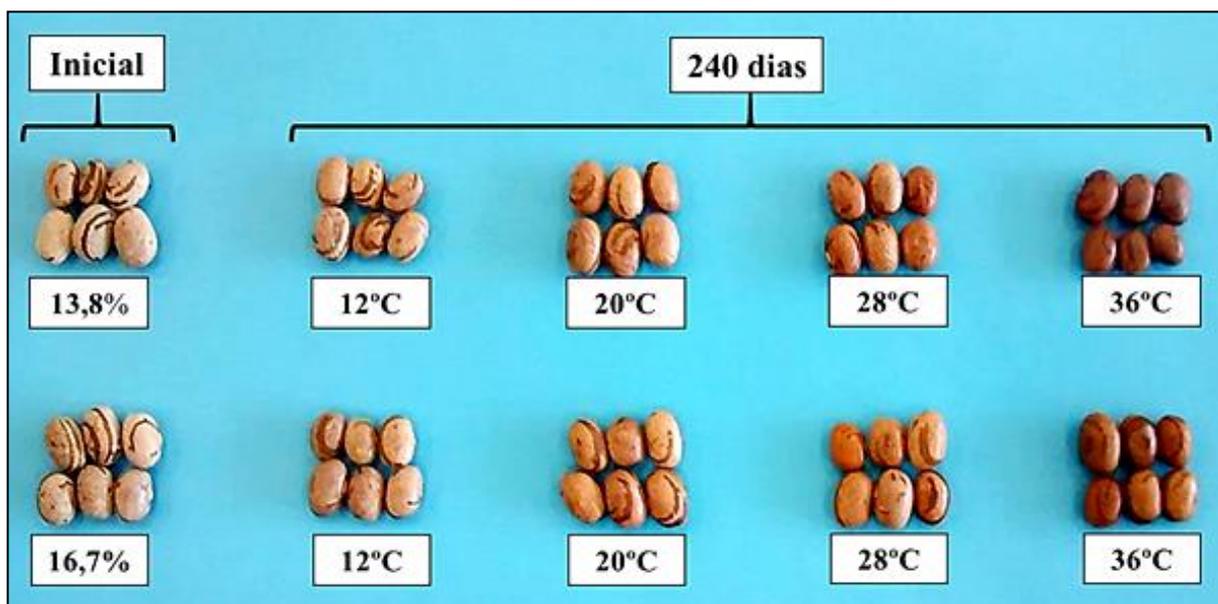


Figura 10. Aparência visual dos grãos de feijão carioca armazenados por 240 dias em diferentes condições de umidade e temperatura.

Além da aparência visual, o perfil colorimétrico dos grãos também foi determinado através de um método instrumental. Na Tabela 16 estão apresentados os resultados do valor L^* dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. O valor L^* representa a variação de cor dos grãos, que varia do preto ao branco, sendo que quanto maior o valor L^* mais branca ou luminosa está a amostra e quanto menor o valor L^* , mais escura está a amostra. De acordo com os resultados, observa-se uma redução ($p \leq 0,05$) do valor L^* de acordo com o aumento da temperatura e do tempo de armazenamento, o que indica que esses grãos escureceram durante o período de armazenamento, principalmente nas temperaturas mais elevadas. Por outro lado, os grãos armazenados a 20°C ou menos, foram os que apresentaram as menores alterações no valor L^* .

Os resultados encontrados nesse estudo, estão de acordo com os resultados encontrados por Zambiasi (2015) que verificou um maior escurecimento de grãos de feijão carioca armazenados a 30°C , ao comparar com o armazenamento na temperatura de 15°C . Resultados que demonstram a importância da utilização de temperaturas de resfriamento para inibir o escurecimento de grãos de feijão caupi também foram verificados por Santos (2016).

Tabela 16. Valor L* dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
Umidade inicial 13,8%				
12	A 61,67 ± 0,72 a	A 61,76 ± 0,62 a	A 60,83 ± 0,64 ab	A 58,98 ± 1,61 b
20	A 61,67 ± 0,72 a	AB 60,73 ± 0,37 a	BC 58,86 ± 0,30 b	B 55,00 ± 1,00 c
28	A 61,67 ± 0,72 a	C 59,05 ± 0,37 b	D 56,79 ± 0,59 c	C 45,66 ± 0,57 d
36	A 61,67 ± 0,72 a	D 56,46 ± 0,42 b	E 54,13 ± 0,61 c	E 37,50 ± 0,50 d
Umidade inicial 16,7%				
12	A 61,47 ± 0,41 a	AB 61,01 ± 0,08 a	AB 59,53 ± 0,15 b	B 56,00 ± 1,00 c
20	A 61,47 ± 0,41 a	BC 59,97 ± 0,48 ab	BC 58,75 ± 0,56 b	B 54,16 ± 0,76 c
28	A 61,47 ± 0,41 a	C 59,21 ± 0,58 b	BC 58,50 ± 0,33 b	C 47,01 ± 1,01 c
36	A 61,47 ± 0,41 a	C 59,11 ± 0,70 b	CD 57,82 ± 0,10 b	D 40,40 ± 1,01 c

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

Outro parâmetro importante para quantificar as alterações de cor nos grãos de feijão é o valor a^* , que mede as alterações de cor do verde ao vermelho, ou seja, quanto maior o valor a^* , mais vermelho estão os grãos e quanto menor o valor a^* , mais verde estão os grãos. Na Tabela 17 estão apresentados os resultados do valor a^* dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. Observa-se um aumento ($p \leq 0,05$) do valor a^* dos grãos de feijão carioca, de acordo com o aumento do tempo e da temperatura de armazenamento, sendo que as menores alterações no valor a^* são observados nos grãos armazenados a 12 e 20°C. Comportamento similar foi observado por Santos (2016) no armazenamento de feijão caupi, por 12 meses, com 13 e 16% de umidade, que constatou que a temperatura de 15°C proporciona as menores alterações no valor a^* dos grãos, em comparação ao armazenamento na temperatura de 25°C.

Tabela 17. Valor a* dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
Umidade inicial 13,8%				
12	A 4,29 ± 0,02 b	F 4,42 ± 0,04 b	E 4,48 ± 0,07 b	E 5,43 ± 0,54 a
20	A 4,29 ± 0,02 c	E 5,21 ± 0,03 b	C 5,46 ± 0,07 b	CD 7,33 ± 0,40 a
28	A 4,29 ± 0,02 c	C 6,10 ± 0,10 b	B 6,82 ± 0,24 b	B 10,83 ± 0,76 a
36	A 4,29 ± 0,02 c	A 7,94 ± 0,19 b	A 8,47 ± 0,20 b	A 14,16 ± 1,04 a
Umidade inicial 16,7%				
12	A 4,47 ± 0,13 c	E 4,93 ± 0,09 b	D 5,20 ± 0,19 b	DE 6,73 ± 0,25 a
20	A 4,47 ± 0,13 c	D 5,57 ± 0,11 b	C 5,82 ± 0,06 b	CD 7,60 ± 0,36 a
28	A 4,47 ± 0,13 d	C 6,16 ± 0,04 c	B 6,59 ± 0,08 b	C 8,83 ± 0,20 a
36	A 4,47 ± 0,13 c	B 6,73 ± 0,07 b	B 6,87 ± 0,18 b	B 12,26 ± 0,68 a

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

O valor b* também é um parâmetro importante para verificar as alterações de cor em grãos e quanto maior o valor b*, mais amarelo estão os grãos e quanto menor o valor b*, mais azul estão os grãos. Na Tabela 18 estão apresentados os resultados do valor b* dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias. Observa-se um aumento ($p \leq 0,05$) do valor b* de acordo com o aumento do tempo e da temperatura de armazenamento, o que indica que os grãos ficaram mais amarelados ao longo do período de armazenamento, principalmente nas temperaturas mais elevadas (28 e 36°C), enquanto que as menores alterações ocorrem nos grãos armazenados em condições de refrigeração. Resultados que demonstram a importância do resfriamento para a manutenção do valor b* ao longo do período de armazenamento também foram verificados por Santos (2016).

Tabela 18. Valor b* dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)			
	Inicial	80	160	240
Umidade inicial 13,8%				
12	A 10,99 ± 0,87 b	CD 10,87 ± 0,24 b	CD 10,88 ± 0,36 b	DE 14,94 ± 0,27 a
20	A 10,99 ± 0,87 b	CD 10,98 ± 0,11 b	D 10,77 ± 0,17 b	D 15,78 ± 0,70 a
28	A 10,99 ± 0,87 b	BCD 11,37 ± 0,15 b	CD 15,40 ± 0,14 b	B 20,50 ± 0,50 a
36	A 10,99 ± 0,87 b	AB 11,83 ± 0,38 b	BC 17,66 ± 0,60 b	A 24,16 ± 0,76 a
Umidade inicial 16,7%				
12	A 10,89 ± 0,07 b	D 10,60 ± 0,33 b	D 10,56 ± 0,25 b	E 13,16 ± 0,76 a
20	A 10,89 ± 0,07 b	BCD 11,07 ± 0,22 b	CD 11,09 ± 0,33 b	D 15,50 ± 0,50 a
28	A 10,89 ± 0,07 c	BC 11,61 ± 0,33 bc	AB 15,35 ± 0,10 b	C 18,03 ± 0,89 a
36	A 10,89 ± 0,07 c	A 12,64 ± 0,39 b	A 17,20 ± 0,12 b	A 24,53 ± 0,65 a

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

As alterações de cor dos grãos de feijão carioca, verificados pelo método instrumental, demonstram com boa precisão as alterações de cor em função das condições de armazenamento dos grãos, como pode ser verificado pela aparência visual dos grãos, apresentados na Figura 10. A efetividade do resfriamento para inibir o escurecimento dos grãos se deve ao fato do resfriamento reduzir a atividade enzimática da enzima polifenoloxidase, que oxida os compostos fenólicos presentes no tegumento dos grãos, produzindo compostos escuros, denominados de melanina (SIQUEIRA et al., 2014).

4.14 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta dos grãos de feijão carioca moídos foi determinada para auxiliar na identificação das alterações que ocorrem na sua estrutura e composição química ao longo do período de armazenamento. Na Tabela 19 estão apresentados os resultados das propriedades de pasta dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura, inicial e após 240 dias.

No início do armazenamento, a temperatura de pasta foi de 92,28 e 92,18°C, respectivamente, nas umidades de 13,8 e 16,7%, com redução ($p \leq 0,05$) após 240 dias de armazenamento em todas as temperaturas estudadas, sendo que as menores temperaturas de pasta são observadas no armazenamento a 36°C, que apresentaram valores de 79,97 e 79,11°C, respectivamente, nas umidades de 13,8 e 16,7%. A temperatura de pasta é o momento em a amostra começa a gelatinizar, ou seja, formar uma pasta. Essa temperatura foi menor após 240 dias de armazenamento, provavelmente porque as estruturas de proteínas e amido sofrem ação enzimática durante o armazenamento, reduzindo o tamanho das suas cadeias, o que facilita sua interação com a água, formando a pasta em temperatura menor, quando comparado ao início do armazenamento.

Em relação ao pico de viscosidade (Tabela 19), observa-se um aumento ($p \leq 0,05$) após 240 dias de armazenamento, principalmente para os grãos armazenados com 16,7% de umidade na temperatura de 36°C. O maior pico de viscosidade observado nas condições mais drásticas de armazenamento (16,7% de umidade a 36°C), provavelmente se deva a uma maior desestruturação da fração proteica dos grãos, através de reações de desnaturação e modificações estruturais,

que levam a uma maior capacidade de absorção de água das proteínas, conforme comprovado nos estudos de Ferreira et al. (2018) ao avaliar o isolado proteico obtido de grãos de feijão preto armazenado em diferentes condições. Esses fatos levam ao aumento da viscosidade final, de acordo com o aumento do tempo e da temperatura de armazenamento, conforme verificados na Tabela 19.

O breakdown (viscosidade de quebra) (Tabela 19) apresentou aumento ($p \leq 0,05$) após 240 dias de armazenamento, no armazenamento dos grãos a 36°C. Aumento do breakdown durante o armazenamento (12 meses) de grãos de feijão preto, com 14 e 17% de umidade, na temperatura de 32°C, também foi verificado por Ferreira et al. (2018). Sugere-se que a desestruturação de proteínas e amido, causadas pelo armazenamento dos grãos em alta temperatura, facilita a formação de um gel mais viscoso, conforme verificado pelo pico de viscosidade, no entanto, é um gel com baixa estabilidade, devido a redução do tamanho das cadeias de proteínas e amido, o que causa um aumento do breakdown.

Para a retrogradação (setback) (Tabela 19) observa-se comportamentos distintos entre as umidades de grãos, com redução da retrogradação para grãos armazenados com 13,8% de umidade na temperatura de 36°C e aumento para os grãos armazenados com 16,7% de umidade nessa mesma temperatura. No caso da redução da retrogradação, a desorganização das cadeias de amilose e amilopectina, ocorridas durante o período de armazenamento podem dificultar seu rearranjo, por outro lado, quando os grãos foram armazenados em condições mais drásticas de armazenamento (16,7% de umidade a 36°C) as alterações (quebras) nas cadeias de amido e na conformação das proteínas é mais severa, dificultando a retenção de água no momento do resfriamento da pasta.

As alterações discutidas em relação ao amido e a proteína nesse estudo, foram estudadas com maior aprofundamento, em estudos separados realizados por Ferreira et al. (2016) e Ferreira et al. (2018) durante o armazenamento por 12 meses de grãos de feijão preto em diferentes condições de umidade e temperatura.

Tabela 19. Propriedades de pasta (RVA) dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	Temperatura de pasta (°C)	Pico de viscosidade (RVU)	Breakdown (RVU)	Viscosidade final (RVU)	Setback (RVU)
Umidade inicial 13,8%					
Inicial	92,28 ± 3,35 a*	44,53 ± 1,63 b	4,64 ± 0,37 b	82,75 ± 2,11 c	42,86 ± 1,98 a
12	80,73 ± 0,02 b	82,75 ± 1,84 a	3,30 ± 0,53 bc	120,05 ± 1,68 a	40,61 ± 1,32 ab
20	81,25 ± 0,34 b	81,03 ± 3,08 a	2,44 ± 0,71 c	115,80 ± 2,12 a	37,22 ± 1,51 bc
28	80,70 ± 0,85 b	78,78 ± 4,59 a	1,61 ± 0,62 c	111,80 ± 3,59 ab	34,64 ± 1,40 c
36	79,98 ± 2,89 b	86,94 ± 5,21 a	7,13 ± 1,38 a	107,05 ± 6,28 b	27,25 ± 2,76 d
Umidade inicial 16,7%					
Inicial	92,18 ± 2,89 a	44,49 ± 1,67 d	4,60 ± 0,37 b	83,08 ± 1,54 d	42,52 ± 1,46 b
12	80,21 ± 0,46 b	78,61 ± 5,49 c	2,30 ± 0,55 bc	119,72 ± 7,18 c	43,41 ± 1,28 b
20	80,21 ± 0,51 b	87,41 ± 3,31 c	1,24 ± 0,28 c	131,91 ± 3,66 b	45,75 ± 1,08 b
28	79,28 ± 0,45 b	105,41 ± 3,91 b	3,80 ± 0,33 bc	138,08 ± 4,08 b	36,47 ± 1,38 c
36	79,11 ± 0,05 b	163,5 ± 1,67 a	32,14 ± 1,99 a	185,72 ± 0,57 a	54,36 ± 3,87 a

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

4.15 Digestibilidade

Na Figura 11 estão apresentados os resultados da digestibilidade do amido presente em grãos de feijão carioca, no início e após 240 dias de armazenamento em diferentes condições de umidade e temperatura. Observa-se que não houve digestão gástrica nos primeiro 30 min, independente das condições de armazenamento estudadas, devido a ausência de enzimas capazes de hidrolisar o amido na fase gástrica. Na fase intestinal, observa-se que o amido presente nos grãos no início do armazenamento apresentaram uma alta digestibilidade, atingindo 57,35% (13,8% de umidade) e 58,04% (16,7 % de umidade) de digestibilidade aos 180 minutos. Após 240 dias de armazenamento observa-se redução da digestibilidade em 180 minutos, a qual foi respectivamente de 43,84 (13,8% de umidade) e 43,04% (16,7 % de umidade), na temperatura de 12°C e de 8,37 (13,8% de umidade) e 10,22% (16,7 % de umidade), na temperatura de 36°C.

Conforme abordado anteriormente, vários são os fatores que levam ao aumento do tempo de cocção e da dureza dos grãos de feijão durante o armazenamento. Todos esses fatores, associados a interações entre as frações de pectinas com o amido, tornam restrita a ação das enzimas amilolíticas capazes de hidrolisar o amido (NJOROGÉ et al., 2015). Dessa forma, a liberação energética desses grãos estará limitada, o que acaba influenciando vários povos em que o feijão carioca é considerado alimento básico da sua dieta. Nesse contexto, fica evidente a importância da utilização da tecnologia do resfriamento artificial de grãos de feijão carioca, para que a digestibilidade do amido se mantenha com menores alterações ao longo do armazenamento.

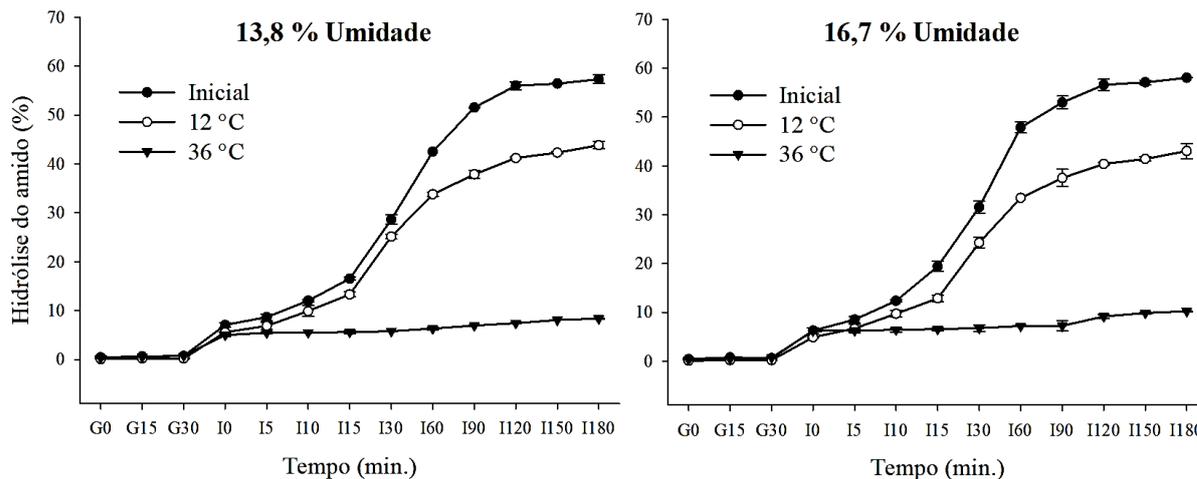


Figura 11. Digestibilidade do amido presente em grãos de feijão carioca, no início e após 240 dias de armazenamento em diferentes condições de umidade e temperatura.

4.16 Atividade antioxidante

Na Tabela 20 estão apresentados os resultados da atividade antioxidante pelo radical ABTS*, dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura, inicial e após 240 dias. No início do armazenamento, a atividade antioxidante foi de 23,85 e 23,51 mg TE.g⁻¹, respectivamente, nas umidades de 13,8 e 16,7%. Após 240 dias de armazenamento observa-se expressiva redução da atividade antioxidante, principalmente com o aumento da temperatura de armazenamento, chegando a níveis de 13,58 e 11,21 mg TE.g⁻¹, respectivamente, nas umidade de 13,8 e 16,7%, quando armazenados na temperatura de 36°C.

As alterações verificadas no perfil colorimétrico dos grãos (Tabelas 16, 17 e 18) estão diretamente relacionadas com o conteúdo de compostos fenólicos presentes nesses grãos, dessa forma, quanto maior foi o escurecimento dos grãos durante o período de armazenamento, maior deve ser a redução do conteúdo de compostos fenólicos e, conseqüentemente da atividade antioxidante, conforme verificado pelos resultados da Tabela 20. Redução da atividade antioxidante em grãos de feijão preto também foi verificada por Ferreira (2014), durante o armazenamento por 12 meses, em diferentes condições de umidade (14 e 17%) e temperatura (11, 18, 25 e 32°C). Esses resultados demonstram que quanto maior a temperatura de armazenamento, maiores são as alterações de cor, causadas pela alta atividade enzimática, principalmente da polifenoloxidade, que degrada os polifenóis e reduz o valor bioativo desses grãos.

Tabela 20. Atividade antioxidante pelo radical ABTS dos grãos de feijão carioca armazenados em diferentes condições de umidade e temperatura durante 240 dias.

Temperatura (°C)	ABTS (mg ET.g ⁻¹)
13,8%	
Inicial	23,85 ± 1,50 a*
12	16,39 ± 1,85 b
20	13,56 ± 0,84 b
28	12,50 ± 0,60 b
36	13,58 ± 1,34 b
16,7%	
Inicial	23,51 ± 0,59 a
12	16,49 ± 1,82 b
20	12,91 ± 0,55 bc
28	12,58 ± 0,25 bc
36	11,21 ± 1,21 c

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

5. Conclusões

5.1. O armazenamento de grãos de feijão carioca na faixa de temperatura de 28 a 36°C acelera o metabolismo dos grãos, consumindo as reservas energéticas e aumentando a quebra técnica, enquanto que as menores perdas por quebra técnica podem ser observadas na faixa de temperatura de 12 a 20°C.

5.2. O armazenamento de grãos de feijão carioca na faixa de temperatura de 12 a 20°C proporciona os menores aumentos no tempo de cocção, enquanto que o armazenamento em temperaturas elevadas (28 a 36°C) proporciona o aparecimento do defeito HTC.

5.3. O armazenamento de grãos de feijão carioca na faixa de temperatura de 28 a 36°C proporciona o escurecimento dos grãos, o que acarreta em redução da aceitabilidade perante o consumidor, expressiva redução do valor econômico e redução da atividade antioxidante

5.4. O armazenamento de grãos de feijão carioca na faixa de temperatura de 28 a 36°C proporciona expressiva redução da digestibilidade dos grãos, o que reduz a sua eficiência energética ao ser consumido.

6 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.
- ANGEL, S. S. DEL; MARTÍNEZ, E. M.; LÓPEZ, M. A. V. Study of denaturation of corn proteins during storage using differential scanning calorimetry. **Food Chemistry**, v. 83, n. 4, p. 531–540, 2003.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of Analysis**. 18 ed. Washington DC US, 2006.
- ASAE - American Society of Agricultural Engineers. Moisture measurement unground grain and seeds. In: Standards, 2000.St. **Joseph: ASAE**, p. 563, 2000.
- BATISTA, K. A; PRUDÊNCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Changes in the functional properties and antinutritional factors of extruded hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of food science**, v. 75, n. 3, p. C286–90, 2010.
- BEMILLER & WHISTLER. **Starch: Chemistry and technology**. Third edition. Food Science and Technology, International series. ISBN: 978-0-12-746275-2, Elsevier, 2009.
- BIAGI, J. D.; BERTOL, R.; CARNEIRO, M. C. Secagem de grãos para unidades centrais de armazenamento. IN: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL. V.M. (Org.). **Armazenagem de Grãos**. 1 ed. Campinas - SP: Instituto Bio Geneziz (IBG). v.1, p.289-308, 2002.
- BILLIADERIS, C. G. The structure and interactions of starch with food constituents. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**. v.69, n.1, p.60-78, 1991.
- BOURNE, M.C. Texture profile analysis. **Food Technology**. v. 32, p. 62–66, 1978.
- BOYE, J.; ZARE, F.; PLETCH, A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 414–431, 2010.
- BRASIL - **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Brasília, p.346, 2009.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and Storage of Grains and Oilseeds**. New York. p.450, 1992.
- BURATTO, J. S. **Teores de minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos**. 148f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas. Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2012.
- BURR, K.H.; KON, S.; MORRIS, H.J. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content, temperature and time of storage. **Food Technology**. v. 22, p. 336-

338, 1968.

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.

CAMPOS-VEGA, R.; LOARCA-PIÑA, G.; OOMAH, B. D. Minor components of pulses and their potential impact on human health. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 461–482, 2010.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2017. Acompanhamento da safra de grãos Brasileira – 12°C levantamento, Setembro de 2017.

CORRÊA, P. C.; SILVA, J. S. **Estrutura e composição dos grãos**. In: SILVA, J. S. Secagem e armazenamento de produtos agrícolas. Editora Aprenda Fácil, v.1. p. 19-36, 2008.

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 Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 200-207, 2010.

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

CHIDANANDA, K.P.; CHELLADURAI, V.; JAYAS, D.S.; ALAGUSUNDARAM, K.; WHITE, N.D.G.; FIELDS, P.G. Respiration of pulses stored under different storage conditions. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 42–47, 2014.

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of guar gum on the in vitro starch digestibility-Rheological and microstructural characteristics. **Food Biophysics**, v.5, p.149-160, 2010.

DEMIANTE, I. M.; FIGUEROA, A. M.; GUIDOLIN, M. E. B. Z.; SANTOS, T. P. R.; YANGCHENG, H.; CHANG, F.; JANE, J. Physicochemical characterization of starches from dry beans cultivated in Brazil. **Food Hydrocolloids**. v. 61, p.812-820, 2016.

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

DENARDIN, C.C.; SILVA, L.P.; Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p.945-954, 2009.

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

DÍAZ, A. M.; CALDAS, G. V.; BLAIR, M. W. Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 595–601, 2010.

DILIS, V.; TRICHOPOULOU, A. Nutritional and health properties of pulses. **Mediterr J Nutr Metab**, v. 1, p. 149-157, 2009.

DURANTI, M. Grain legume proteins and nutraceutical properties. **Fitoterapia**, v. 77, p. 67–82, 2006.

ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N.L.; PARAGINSKI, R.T. Classificação oficial, qualidade e conservação de grãos de arroz, feijão, milho, soja e trigo. 1. ed. Pelotas: Editora Santa Cruz, 2015. v. 1. 397p.

FERREIRA, C. D.; ZIEGLER, V.; PARAGINSKI, R. T.; VANIER, N. L.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. Physicochemical, antioxidant and cooking quality properties of long-term stored black beans: effects of moisture content and storage temperature. **International Food Research Journal**, v.24, n.6, p. 2490-2499, 2017.

FERREIRA, C. D.; ZIEGLER, V.; LINDEMANN, I. S.; HOFFMANN, J. F.; VANIER, N. L.; OLIVEIRA, M. Quality of black beans as a function of long-term storage and moldy development: chemical and functional properties of flour and isolated protein. **Food Chemistry**, v.25, p.473-480, 2018.

FERREIRA, C. D.; ZIEGLER.; EL HALAL, S. L. M.; VANIER, N. L.; ZAVAREZE, E. R.; OLIVEIRA, M. Characteristics of starch isolated from black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) stored for 12 months at different moisture contents and temperatures. **Starch/starke**, v.68, p.1-10, 2016.

FERREIRA, C. D. **Efeitos do teor de água e temperatura sobre parâmetros tecnológicos, perfil de metabólitos e propriedades do amido de feijão preto armazenado**. 2014. Dissertação de mestrado. 72f. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Crops primary equivalent: dry beans supply rank in the world, by quantity, 2018. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/609/default.aspx#ancor>>. Acesso em 02 de janeiro de 2018.

GRAHAM, P.H.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, v. 53, p. 131-146, 1997.

HAN, L.; DONG, B.; YANG, X.; HUANG, C.; WANG, X.; WU, X. Study on Flavonoids in the Caryopsis of Indica Rice Rdh. **Agricultural Sciences in China**. v.8, n.2, p.249–256, 2009.

HAYAT, I.; AHMAD, A.; MASUD, T.; AHMED, A.; BASHIR, S. Nutritional and health perspectives of beans (*Phaseolus vulgaris* L.): an overview. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, v. 54, n. 5, p. 580–92, 2014.

HOU, Z.; QUIN, P.; ZHANG, Y.; CUI, S.; REN, G. Identification of anthocyanins isolated from black rice (*Oryza sativa* L.) and their degradation kinetics. **Food**

Research International. v. 50, n. 2, p. 691-697, 2011

HOOVER, R.; HUGHES, T.; CHUNG, H.J.; LIU, Q. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. **Food Research International**. v.43, n.2, p.399–413, 2010.

HOOVER, R.; SOSULSKI, F. W. Composition, structure, functionality and chemical modification of legume starches: A review. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 69, n. 1, p. 79–92, 1991.

HUGHES, T.; HOOVER, R.; LIU, Q.; DONNER, E.; CHIBBAR, R.; JAISWAL, S. Composition, morphology, molecular structure, and physicochemical properties of starches from newly released chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Canada. **Food Research International**. v.42, n.5-6, p.627–635, 2009.

ISTA. INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION.; Determination of other seeds by number. In: **International rules for seed testing**. ed. 2008. Bassersdorf, c.4, p.4.1-4.3, 2008.

KAPLAN, L. AND KAPLAN, L.N. **Phaseolus in archeology**. In: ed. P. Gepts, Genetic Resources of *Phaseolus* Beans: Their Maintenance, Domestication, Evolution and Utilization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, p. 125-142, 1988.

LIN, L.; HARNLY, J.; PASTOR-CORRALES, M. S.; LUTHRIA, D. L. The polyphenolic profiles of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 107, p. 399–410, 2008.

LIU, K.; MCWATTERS, K. H.; PHILLIPS, R. D. Protein insolubilization and thermal destabilization during storage as related to hard-to-cook defect in cowpeast. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. v.40, p.2403–2407, 1992.

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

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

MARIA, C.; COELHO, M.; BELLATO, M.; CESAR, J.; SANTOS, P.; MOISES, E.; ORTEGA, M.; TSAI, S. M. Effect of phytate and storage conditions on the development of the “hard-to-cook”. **Journal of science of food and agriculture**, v. 1243, p. 1237–1243, 2007.

MARLETT, A. J.; MCBURNEY, M. I.; SLAVIN, J. L. Position of the American dietetic association: health implications of dietary fiber. **Journal of American Dietetic Research**, v. 102, p. 993-1000, 2002.

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

MATTSON, S. The cookability of yellow peas: a colloid-chemical and biochemical study. **Acta agriculturae Suecana**, v. 2, p. 185-231, 1946.

MAURER, G. A.; OZEN, B. F.; MAUER, L. J.; NIELSEN, S. S. Analysis of hard-to-cook red and black common beans using Fourier transform infrared spectroscopy. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 52, n. 6, p. 1470–1477, 2004.

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

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

NASAR-ABBAS, S. M.; PLUMMER, J. A.; SIDDIQUE, K. H. M.; WHITE, P.; HARRIS, D.; DODS, K. Nitrogen retards and oxygen accelerates colour darkening in faba bean (*Vicia faba* L.) during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 1, p. 113–118, 2008.

NAYAK, B.; BERRIOS, J. J. DE; POWERS, J. R.; TANG, J. Thermal degradation of anthocyanins from purple potato (cv. Purple Majesty) and impact on antioxidant capacity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.59, n.20, p.11040-11049, 2011.

NGUYEN, Q. D.; JENSEN, C. T. B.; KRISTENSEN, P. G. Experimental and modelling studies of the flow properties of maize and waxy maize starch pastes. **Chemical Engineering Journal**. v.70, n.2, p.165–171, 1998.

NJOROGE, D. M.; KINYANJUI, P. K.; MAKOKHA, A. O.; CHRISTIAENS, S.; SHPIGELMAN, A.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. E. Extraction and characterization of pectic polysaccharides from easy- and hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Research International**, v. 64, p. 314–322, 2014.

NJOROGE, D. M.; KINYANJUI, P. K.; SHPIGELMAN, A.; MAKOKHA, A. O.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. E. Effect of storage conditions on pectic polysaccharides in common beans (*Phaseolus vulgaris*) in relation to the hard-to-cook defect. *Food Research International*, v. 76, 105-113, 2015.

OOMAH, B. D.; PATRAS, A.; RAWSON, A.; SINGH, N.; COMPOS-VEGA, R. **Chemistry of pulses**. In: Pulse foods: processing, quality and technological applications. Academic press, 2011, p. 9-56.

ORDONEZ, R. P. **Tecnologia dos alimentos: Componentes dos alimentos e processos**. 254p. Volume 1. Editora Artmed, 2006.

OVANDO-MARTÍNEZ, M.; BELLO-PÉREZ, L. A.; WHITNEY, K.; OSORIO-DÍAZ, P.; SIMSEK, S. Starch characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in different localities. **Carbohydrate Polymers**. v.85, n.1, p.54–64, 2011.

PARAGINSK, R. T.; ROCKENBACH, B. A.; 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. 58-363, 2015.

PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**. v.34, n.1, p.1-17, 2001.

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.

PROLLA, I. R. D.; BARBOSA, R. G.; VEECK, A. P. L.; AUGUSTI, P. R.; SILVA, L. P.; RIBEIRO, N. D.; EMANUELLI, T. Cultivar, harvest year, and storage conditions affecting nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.30, p.96-102, 2010.

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

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

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

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

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

RIOS, A.O.; ABREU, C.M.P.; CORREA, A.D. Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 3, p. 550-558, 2002.

ROSS, K. A.; BETA, T.; ARNTFIELD, S. D. A comparative study on the phenolic acids identified and quantified in dry beans using HPLC as affected by different extraction and hydrolysis methods. **Food Chemistry**. v. 113, n. 1, p.336–344, 2009.

SALES, J. M.; RESURRECCION, A. V. A. Phenolic profile, antioxidants, and sensory acceptance of bioactive-enhanced peanuts using ultrasound and UV. **Food Chemistry**, v. 122, n. 3, p. 795–803, 2010.

SANCHO, A. I.; BARTOLOME, B.; GOMEZ-CORDOVES, C.; WILLIAMSON, G.; FAULDS, C. B. Release of ferulic acid from cereal residues by barley enzymatic

extracts. **Journal of Cereal Science**. v.34, n.2, p.173–179, 2001.

SANTOS, M. **Efeitos das condições de armazenamento sobre parâmetros de avaliação tecnológicos e nutricionais de feijão caupi de tegumento branco**. 78f Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Agronomia - Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS. 2016.

SHIGA, T. Changes in the cell wall polysaccharides during storage and hardening of beans. **Food Chemistry**, v. 84, n. 1, p. 53–64, 2004.

SILOCHI, R. M. H. Q. **Caracterização tecnológica nutricional e metabólitos secundários em cultivares de feijão carioca armazenados**. Tese de Doutorado. 146f. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE. Cascavel/PR, 2015.

SILVA, C. A.; ABREU, Â. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; MAIA, L.J.S.. Chemical composition as related to seed color of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, n. 2, p. 132-137, 2012.

SILVA, M. O.; BRIGIDE, P.; CANNIATI-BRAZACA, S. G. Caracterização da composição centesimal e mineral de diferentes cultivares de feijão comum crus e cozidos. **Brazil Journal Food Nutrional**. v.24, n.3, p.339-346, 2013.

SINGH, N.; SANDHU, K. S.; KAUR, M. Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. **Journal of Food Engineering**. v.63, n.4, p.441-449, 2004.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**. v.81, p.219–231, 2003.

SIQUEIRA, B. S.; PEREIRA, W. J.; BATISTA, K. A.; OOMAH, D. B.; FERNANDES, K. F.; BASSINELLO, P. Z. Influence of storage on darkening and hardening of slow – and regular – carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Journal of Agriculture Studies**. Cambridge. v. 2, n. 2, p. 2166-0369, 2014.

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

VANDEPUTTE, G.; DELCOUR, J. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**. v.58, n.3, p.245–266, 2004.

VANIER, N. L. **Armazenamento de cultivares de feijão e seus efeitos na qualidade tecnológica dos grãos e nas propriedades do amido**. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Agronomia - Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS. 2012.

WEAVER, C. M.; KANNAN, S., 2002. Phytate and mineral bioavailability. In: Reddy,

N.R., SATHE, S.K. **Food Phytates**. CRC Press LLC. v.1, p.211-223, 2002.

ZAMBIASI, C. A. **Qualidade de grãos de feijão armazenados em diferentes condições de temperatura**. Tese de Doutorado. 91f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG, 2015.

ZIEGLER, V. **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**. Tese de doutorado. 138f. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, 2016.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C. D.; VANIER, N. L.; DOS SANTOS, M, A. Z.; OLIVEIRA, M. ELIAS, M. C. Physicochemical and technological properties of soybean as a function of storage conditions. **Brazilian Journal of Food Research**. v. 7, n. 3, p. 117-132, 2016a.

ZIEGLER, V.; MARINI, L. J.; FERREIRA, C. D.; BERTINETTI, I. A.; SILVA, W. S. V.; GOEBEL, J. T. S. OLIVEIRA, M. ELIAS, M. C. **Effects of temperature and moisture during semi-hermetic storage on the quality evaluation parameters of soybean grain and oil**. Semina: Ciências Agrárias. v. 37, n. 1, p 131-144, 2016b.

WINHAM, D. M.; HUTCHINS, A. M.; MELDE, C. L. Pinto bean, navy bean, and black-eyed pea consumption do not significantly lower the glycemic treatment in normoglycemic adults. **Nutrition Research**, v. 27, p. 535-541, 2007.

WONG, D. W. S. Feruloyl esterase: A key enzyme in biomass degradation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. v.133, n.2, p.87-112, 2006.

YOUSIF, A. M.; BATEY, I. L.; LARROQUE, O. R.; CURTIN, B.; BEKES, F.; DEETH, H. C. Effect of storage of adzuki bean (*Vigna angularis*) on starch and protein properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 36, n. 6, p. 601–607, 2003.