

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



Dissertação

**Armazenamento de cultivares de feijão e seus efeitos
na qualidade tecnológica dos grãos e nas propriedades
do amido**

Nathan Levien Vanier
Engenheiro Agrônomo

Pelotas, 2012

Nathan Levien Vanier

**Armazenamento de cultivares de feijão e seus efeitos
na qualidade tecnológica dos grãos e nas propriedades
do amido**

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

Comitê de orientação: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias
Prof. Dr. Maurício de Oliveira
Dra. Priscila Zaczuk Bassinello

Pelotas, 2012

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

V258a Vanier, Nathan Levien

Armazenamento de cultivares de feijão e seus efeitos na qualidade tecnológica dos grãos e nas propriedades do amido / Nathan Levien Vanier ; orientador Moacir Cardoso Elias - Pelotas, 2012.- 90f. ; il..- Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

1.Feijão 2.Qualidade de cocção 3.Amido
4.Armazenamento 5.Cor do tegumento I. Elias, Moacir Cardoso(orientador) II Título.

CDD 635.652

Banca examinadora:

Prof. Dr. Maurício de Oliveira

Prof. Dr. Alvaro Renato Guerra Dias

Prof. Dr. Cesar Valmor Rombaldi

Prof. Dr. Marcelo Zafalon Peter

Aos meus pais, João Luiz e Mônica.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela família e pelos amigos que o Senhor me deu. Agradeço, também, por colocar em meu caminho as oportunidades e me dar força para alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, João Luiz e Mônica, que sempre se preocuparam com a minha formação pessoal e profissional, por todo o apoio e carinho.

Ao orientador acadêmico, Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias, exemplo de dedicação ao trabalho e ao ser humano. Muito obrigado pela amizade, pelo convívio e pelos ensinamentos profissionais e pessoais que levarei para toda a vida.

À co-orientadora, Dra. Priscila Zaczuk Bassinello, pelo apoio e pela atenção prestada no decorrer do trabalho.

Ao co-orientador Prof. Dr. Maurício de Oliveira e ao colega Eng. Agr. Ricardo Tadeu Paraginski. Não tenho palavras para expressar a satisfação de trabalhar junto a vocês, profissionais competentes e extremamente comprometidos com o trabalho. Obrigado pela amizade e pelo auxílio na pesquisa.

Ao Eng. Agr. Dr. Galileu Rupollo, pela amizade e por ter oportunizado ensinamentos durante os estágios de graduação que foram de grande valia durante a caminhada do mestrado.

Aos professores Alvaro Renato Guerra Dias, Cesar Valmor Rombaldi, Fábio Clasen Chaves, Leonardo Nora e Manoel Artigas Schirmer, pela contribuição no meu desenvolvimento profissional.

Às colegas doutorandas do Laboratório de Grãos, Bruna Klein e Vânia Zanella Pinto, que não mediram esforços para auxiliar na realização das análises. Obrigado pela amizade e pelo apoio.

Aos bolsistas de iniciação científica – Cristiano Dietrich Ferreira, Franciene de Almeida Villanova, Ismael Aldrighi Bertinetti e Jarine Amaral – que, sempre dispostos e comprometidos, auxiliaram (e muito!) nas tarefas de pesquisa e extensão do Laboratório. Obrigado pela amizade e pela dedicação de vocês.

À professora Elessandra da Rosa Zavareze, da UniPampa, por ter me auxiliado sempre que a solicitei, transmitindo ensinamentos preciosos. Agradeço pela amizade e pela oportunidade de trabalhar em conjunto.

À Eng. Agr. Dra. Roberta Manica-Berto, por ajudar no planejamento estatístico e na aferição de métodos. Obrigado por compartilhar informações e pelo auxílio.

À amiga Cleonice Gonçalves da Rosa, do Laboratório de Cromatografia, pela amizade e pela convivência.

Ao amigo, colega de turma, Eng. Agr. Ronei Dorneles Machado, por compartilhar os momentos de alegria e de dificuldade da caminhada pessoal e profissional.

Aos demais estagiários e bolsistas de graduação do Laboratório de Grãos – Ícaro Pedroso, Igor Lindemann, Joaquim Franck, Jorge Sampaio Aguiar, Jorge Göebel, Lázaro Carvalho de Oliveira, Mariana Girão, Renan Kaufmann, Renan Souza Silva e Vinícius Peroba Rosinha – pela amizade, pelo convívio e pelo auxílio prestado nas atividades de rotina do Laboratório.

Aos colegas pós-graduandos do Laboratório de Grãos – Bruna Arns, Daniel Rutz, Diego Batista Zeni, Fabiana Torma Botelho, Flávia Fernandes Paiva, Jardel Casaril, Joana Maria Leite de Souza, Josiane Bartz, Leonor João Marini, Lúcia Rotta Borges, Rafael de Almeida Schiavon e Ricardo Scherer Pohndorf – pela amizade e pela convivência.

RESUMO

VANIER, Nathan Levien. **Armazenamento de cultivares de feijão e seus efeitos na qualidade tecnológica dos grãos e nas propriedades do amido**. 2012. 90f. Dissertação (Mestrado)–Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Durante o armazenamento os grãos de feijão tornam-se endurecidos como resultado de alterações químicas e enzimáticas. O fenômeno de endurecimento também é conhecido como defeito *hard-to-cook* (HTC). O desenvolvimento de cultivares menos suscetíveis ao endurecimento pode ser uma alternativa para reduzir a perda de qualidade no armazenamento. Estudos anteriores apontam alterações no amido como uma das responsáveis pelo aparecimento do defeito HTC. No entanto, isto não está devidamente elucidado na literatura. Considerando estes aspectos, objetivou-se, com este trabalho, avaliar efeitos do tempo de armazenamento sobre parâmetros tecnológicos de qualidade dos grãos e sobre propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido isolado de feijão. Foram utilizados grãos de feijão do grupo carioca, cultivares BRS Estilo, BRS Horizonte, Pérola, BRS Pontal e BRS Requite, e do grupo preto, cultivares BRS Campeiro, BRS Esplendor, BRS Grafite, BRS Supremo e BRS Valente, todos produzidos na Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão, município de Santo Antônio de Goiás, Goiás. Após a colheita e a limpeza dos grãos, quatro repetições de 1 kg de grãos foram armazenados em sacos de algodão e mantidos a $25\pm1^{\circ}\text{C}$ durante 12 meses. No primeiro estudo foram avaliadas propriedades tecnológicas de qualidade dos grãos e no segundo estudo foram avaliadas propriedades do amido isolado dos grãos. As cultivares BRS Horizonte, Pérola e BRS Pontal, do grupo carioca, e a cultivar BRS Valente, do grupo preto, apresentaram menor acréscimo no tempo de cocção após 12 meses de armazenamento. Os grãos da cultivar BRS Requite apresentam retardamento do escurecimento. As propriedades do amido diferem entre as cultivares. O poder de inchamento, a entalpia de gelatinização, as viscosidades mínima e final, o pico de viscosidade, a quebra de viscosidade e a retrogradação aumentam com o tempo de armazenamento dos grãos, com algumas exceções dentre as cultivares. Nenhuma das propriedades do amido estudadas apresenta correlação com o tempo de cocção dos grãos e com o coeficiente de hidratação.

Palavras-Chave: qualidade de cocção, amido, armazenamento, cor do tegumento.

ABSTRACT

VANIER, Nathan Levien. **Storage of different bean cultivars and its effect on grains and starch properties.** 2012. 90f. Dissertação (Mestrado)– Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Bean grains develops the hardening defect during storage, which is a result of chemical and enzymatic changes in the grain. This phenomenon is also known as hard-to-cook defect (HTC). The development of bean cultivars which presents lesser susceptibility to the hardening defect can be an alternative to reduce the decrease in technological quality of stored bean grains. Some studies have showed that changes in starch fraction are one of the factors responsible for HTC development. However, it is not well elucidated in literature. Concerning these aspects, this study aims to evaluate effects of storage period on technological properties of grains and on physicochemical, thermal and pasting properties of starch isolated from stored bean grains. It were used common beans from carioca group, cultivars BRS Estilo, BRS Horizonte, Pérola, BRS Pontal and BRS Requite, and common beans from black group, cultivars BRS Campeiro, BRS Esplendor, BRS Grafite, BRS Supremo and BRS Valente, all produced in Capivara Farm of Embrapa Arroz e Feijão, countryside of Santo Antônio de Goiás, State of Goiás. After harvested and cleaned, four repetitions of 1 kg of grains were stored in cotton bags and maintained at $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ during 12 months. The first study evaluated technological properties of grains and the second one evaluated the properties of starch isolated from the beans. The cultivars BRS Horizonte, Pérola and BRS Pontal, from carioca group, and the cultivar BRS Valente, from black beans group, showed the lower increase in cooking time after 12 months storage. The grains of the cultivar BRS Requite (carioca bean) presented lower susceptibility to darkening. The starch properties varied between the cultivars. The swelling power, the gelatinization enthalpy, the final and holding viscosities, the peak viscosity, the breakdown viscosity and the setback viscosity increased in stored beans as compared to non-stored beans, with some exceptions. The properties of starch isolated from beans does not presents correlation with increasing cooking time and/or decreasing hydration coefficient.

Keywords: cooking quality, starch, storage, coat color.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura molecular do fitato.....	20
Figura 2 – A) Estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em α -(1-4)]. B) Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em α -(1-4) e α -(1-6)].....	24
Figura 3 – Visão geral da estrutura granular do amido em diferentes níveis de ampliação.....	26
Figura 4 – Representação de uma curva típica obtida na análise das propriedades viscoamilográficas do amido em um <i>Rapid Visco Analyzer</i> (RVA).....	28
Figura 5 – Grãos de feijão utilizados no experimento.....	30
Figura 6 – Feijões armazenados em sacos de algodão com capacidade para 1 kg de grãos.....	33
Figura 7 – Grau de umidade dos grãos das diferentes cultivares de feijão estudadas durante o armazenamento. Barras de erros representam o intervalo de confiança ($\alpha = 0,05$).....	44
Figura 8 – Cor do tegumento dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca armazenadas por 12 meses a 25°C sem a presença de luz.....	45
Figura 9 – Tempo de cocção dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca armazenados por 12 meses.....	47
Figura 10 – Tempo de cocção dos grãos de diferentes cultivares de feijão preto armazenados por 12 meses.....	49
Figura 11 – Correlação de Pearson ($p < 0,01$) entre o tempo de cocção e a variável L^* (luminosidade) da avaliação colorimétrica dos grãos de feijão carioca armazenados ($n = 15$).....	54
Figura 12 – Correlação de Pearson ($p < 0,01$) entre o tempo de cocção e a variável a^* da avaliação colorimétrica dos grãos de feijão carioca armazenados ($n = 15$).....	54
Figura 13 – Correlação de Pearson ($p < 0,01$) entre o coeficiente de hidratação e comprimento dos grãos ($n=10$).....	57
Figura 14 – Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre o coeficiente de hidratação e teor de proteína bruta dos grãos ($n=10$).....	57

Figura 15 – Padrões de difração de raios-X dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares dos feijões carioca e preto antes de serem armazenados.....	60
Figura 16 – Correlação de Pearson ($p<0,01$) entre a temperatura inicial de gelatinização (T_0) e o poder de inchamento do amido ($n=20$).....	65
Figura 17 – Correlação de Pearson ($p<0,0001$) entre a temperatura de pasta da análise de RVA e a temperatura inicial de gelatinização da análise de calorimetria diferencial de varredura (T_0) ($n=20$).....	67
Figura 18 – Correlação de Pearson ($p<0,05$) entre a temperatura de pasta da análise de RVA e o poder de inchamento do amido ($n=20$).....	68
Figura 19 – Correlação de Pearson ($p<0,01$) entre a quebra de viscosidade e a temperatura de pasta ($n=20$).....	73
Figura 20 – Correlação de Pearson entre a retrogradação do amido e o poder de inchamento ($p<0,05$, $n = 20$).....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Delineamento experimental para avaliar as alterações nos parâmetros tecnológicos e nas propriedades físico-químicas, térmicas e de pasta do amido isolado de 10 cultivares diferentes de feijão durante o armazenamento a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$	31
Tabela 2 – Massa de mil grãos, dimensões e teor de tegumento dos grãos de diferentes cultivares dos feijões carioca e preto.....	39
Tabela 3 – Composição centesimal (% em base seca) dos grãos de diferentes cultivares dos feijões carioca e preto.....	41
Tabela 4 – Coeficientes de correlação de Pearson para os atributos físicos e químicos dos grãos de feijão (n=10).....	43
Tabela 5 – Coordenada L^* da avaliação colorimétrica do tegumento dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca armazenados durante 12 meses.....	45
Tabela 6 – Coordenada a^* da avaliação colorimétrica do tegumento dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca armazenados durante 12 meses.....	46
Tabela 7 – Equações de regressão para o tempo de cocção durante o armazenamento a 25°C	50
Tabela 8 – Coeficientes da correlação de Pearson ($p<0,05$) entre os parâmetros do tempo inicial de armazenamento e o acréscimo no tempo de cocção de cada cultivar aos 12 meses de armazenamento (n=10).....	52
Tabela 9 – Coeficientes da correlação de Pearson entre o tempo de cocção dos grãos antes do armazenamento e os parâmetros físicos, químicos e tecnológicos dos grãos (n=10).....	53
Tabela 10 – Coeficiente de hidratação dos grãos e condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) da água de hidratação dos grãos de feijão armazenados.....	55
Tabela 11 – Poder de inchamento a 90°C (g.g^{-1}) e solubilidade em água a 90°C (g.g^{-1}) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão antes de serem armazenados e após 12 meses de armazenamento..	59

Tabela 12 – Cristalinidade relativa (%) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão antes de serem armazenados e após 12 meses de armazenamento.....	61
Tabela 13 – Temperaturas de transição (°C) e entalpia (J.g ⁻¹) da análise térmica dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto antes de serem armazenados e após 12 meses de armazenamento.....	63
Tabela 14 – Temperatura de pasta (°C) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.....	66
Tabela 15 – Viscosidade mínima (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.....	69
Tabela 16 – Pico de viscosidade (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.....	70
Tabela 17 – Viscosidade final (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.....	71
Tabela 18 – Quebra de viscosidade (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.....	72
Tabela 19 – Retrogradação (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.....	74
Tabela 20 – Coeficientes da correlação de Pearson entre os parâmetros tecnológicos tempo de cocção e coeficiente de hidratação dos grãos com os parâmetros físico-químicos, térmicos e viscoamilográficos do amido isolado dos grãos de feijão (n=20).....	76

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Consumo de feijão e aspectos nutricionais.....	17
2.2. Endurecimento dos grãos de feijão durante o armazenamento.....	18
2.3. Alterações na cor do tegumento do feijão durante o armazenamento....	21
2.4. O amido de feijão e a sua relação com o fenômeno de endurecimento.	22
2.5. Propriedades físico-químicas, térmicas e viscomilográficas do amido...	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1. Material.....	30
3.2. Métodos.....	30
3.2.1. Delineamento experimental.....	30
3.2.2. Preparo da Amostra.....	32
3.2.3. Armazenamento.....	32
3.2.4. Avaliações.....	33
3.2.4.1. Caracterização dos atributos físicos e químicos dos grãos.....	33
3.2.4.1.1. Massa de mil grãos.....	33
3.2.4.1.2. Dimensões.....	33
3.2.4.1.3. Percentual de casca.....	33
3.2.4.1.4. Composição centesimal.....	33
3.2.4.2. Parâmetros de qualidade tecnológica de feijão.....	34
3.2.4.2.1. Grau de umidade.....	34
3.2.4.2.2. Cor do tegumento.....	34
3.2.4.2.3. Tempo de cocção.....	34
3.2.4.2.4. Coeficiente de hidratação.....	35
3.2.4.2.5. Condutividade elétrica.....	35
3.2.4.3. Propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido isolado de feijão.....	35

3.2.4.3.1. Extração do amido.....	35
3.2.4.3.2. Poder de inchamento e solubilidade.....	36
3.2.4.3.3. Difração de raio X.....	36
3.2.4.3.4. Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	37
3.2.4.3.5. Viscoamilografia (RVA).....	37
3.2.6. Estatística.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1. Caracterização dos atributos físicos e químicos dos grãos.....	39
4.2. Parâmetros de qualidade tecnológica dos grãos armazenados.....	43
4.3. Propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido isolado de feijão.....	58
5. CONCLUSÕES.....	77
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) compõe juntamente com o arroz (*Oryza sativa* L.) a base da dieta alimentar dos brasileiros. Não só no Brasil, mas nos países em desenvolvimento de forma geral, este grão é uma fonte importante e barata de proteínas, fibras, carboidratos e minerais. Além disso, estudos recentes relatam da importância de compostos bioativos presentes nos grãos para a saúde do consumidor.

O feijão de maior consumo no país é o carioca, correspondendo por cerca de 70% da produção nacional. O feijão preto recebe preferência em alguns estados, como o Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Maranhão e Rio de Janeiro. Grãos de ambos os grupos perdem o valor comercial durante o armazenamento devido ao aparecimento de um defeito conhecido como “hard-to-cook” (HTC), onde a genética e o armazenamento desempenham papel importante. Grãos HTC, de forma geral, apresentam baixa capacidade de absorção de água, elevado tempo de cocção e não são macios após a cocção. Essas características reduzem a aceitabilidade do consumidor e o valor comercial do produto. Nos grãos de feijão carioca também há mudança na coloração do tegumento.

O mercado pratica o preço pago ao produtor de feijão de acordo com a qualidade tecnológica do produto ofertado. No caso de feijão preto, o tempo de cocção é o teste mais empregado. Quanto menor o tempo de cocção, melhor a qualidade dos grãos e maior o seu valor. Já se tratando de feijão carioca, a cor do tegumento dos grãos é a principal balizadora dos preços, pois o consumidor associa o produto de coloração clara ao produto novo, recém colhido.

Novas cultivares de feijão são continuamente desenvolvidas e lançadas pelos centros de pesquisa. O seu valor econômico depende do rendimento, da uniformidade de maturação, da resistência a doenças, e do tamanho, da cor, da qualidade nutricional, do tempo de cocção, do sabor e da textura dos grãos

após a cocção (SHIMELIS; RAKSHIT, 2005). No entanto, o critério de seleção dos programas de melhoramento tem sido resistência a doenças, rendimento e uniformidade de maturação, mas dificilmente o comportamento das características físicas, químicas e tecnológicas dos grãos durante o armazenamento. Estudos indicam que cultivares de feijão comum que apresentam estrias no tegumento, como o feijão “pinto” e o feijão carioca, que podem conservar a coloração clara durante o armazenamento atraem os consumidores por um longo período e têm alto valor de mercado (MARLES; VANDENBERG; BETT, 2008).

Uma forma de minimizar as perdas é o desenvolvimento de cultivares menos suscetíveis ao endurecimento e ao escurecimento durante o armazenamento. Variações observadas na conservabilidade dos grãos continuam desafiando a pesquisa e poucos estudos vinculam estas alterações à genética.

O amido é o principal constituinte do feijão. Estudos relatam as diferenças na composição, estrutura e propriedades do amido de diferentes cultivares de batata, trigo, milho e aveia, mas estudos similares com feijão são limitados. Estudos sugerem que as propriedades do amido sejam responsáveis pelo aparecimento do defeito “hard-to-cook” (GARCIA; LAJOLO, 1994).

1.1. Hipóteses

1.1.1. A suscetibilidade dos grãos de feijão ao endurecimento e ao escurecimento durante o armazenamento varia de acordo com o genótipo;

1.1.2. As propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido isolado dos grãos de feijão variam de acordo com o genótipo, havendo correlação entre a suscetibilidade ao endurecimento e as propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido.

1.2. Objetivos gerais

Objetiva-se, com este trabalho, avaliar efeitos do tempo de armazenamento sobre parâmetros de qualidade tecnológica de feijão e sobre

propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido isolado de feijão.

1.3. Objetivos específicos

1.3.1. Avaliar a suscetibilidade ao endurecimento dos grãos durante o armazenamento de 10 genótipos de feijão preto e carioca;

1.3.2. Estudar propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido isolado de feijão, verificando suas correlações com o endurecimento dos grãos durante o armazenamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Consumo de feijão e aspectos nutricionais

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma importante fonte de proteínas, fibras, ferro, carboidratos, minerais e vitaminas para milhões de pessoas, tanto nos países em desenvolvimento como nos países desenvolvidos (LIN et al., 2008), estando presente diariamente, principalmente, na dieta das populações mais pobres da América do Sul e da África. De acordo com dados apresentados pela Food and Agriculture Organization (2007), os países que apresentam maior consumo per capita de feijão são: Burundi (28,70 kg/hab/ano), Ruanda (27,03 kg/hab/ano), Cuba (19,98 kg/hab/ano) e Nicarágua (18,64 kg/hab/ano). O Brasil aparece em sexto lugar, com consumo médio de feijão de 16,18 kg/hab/ano.

O gênero *Phaseolus* compreende todas as espécies conhecidas como feijão, sendo a *Phaseolus vulgaris* L. a mais conhecida e a que possui inúmeras variedades tais como, Carioca, Roxo, Mulatinho, Preto, entre outras (PIRES et al., 2005). No Brasil, o feijão preto é mais popular no Rio Grande do Sul, em Santa Catarina, no sul e no leste do Paraná, no Rio de Janeiro, no sudeste de Minas Gerais e no sul do Espírito Santo. No restante do país este tipo de grão tem pouco ou quase nenhum valor comercial ou aceitação. Os feijões de grão tipo carioca são aceitos em praticamente todo o Brasil, por isso que 53% da área cultivada é semeada com este tipo grão (EMBRAPA, 2003).

O amido e a proteína são os principais componentes do feijão, que é considerado uma boa fonte protéica, contribuindo com aproximadamente 28% de proteína e 12% de energia na dieta da população brasileira (DURIGAN; SGARBIERI; BULISANI, 1987; PIRES et al., 2005). 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 das sementes e da presença de outros compostos com potencial para reduzir a

biodisponibilidade de proteínas (DURANTE, 2006). No entanto, os feijões são consumidos, de forma geral, juntamente com cereais, os quais são ricos em aminoácidos sulfurados e deficientes em lisina. Já os feijões são ricos em lisina e, portanto, quando combinados com cereais, obtêm-se pratos com boa qualidade protéica (DILIS; TRICHOPOULOU, 2009).

A maior parte das proteínas presentes nos grãos de feijão é classificada como globulinas (solúveis em soluções salinas), são desprovidas de atividade catalítica e não apresentam papel estrutural no tecido do cotilédone (OOMAH et al., 2011).

Os carboidratos são os principais constituintes dos feijões e o amido é o carboidrato mais abundante nas sementes de leguminosas (22-45%) (HOOVER; SOSULSKI, 1991). Muitos benefícios nutricionais são atribuídos aos carboidratos do feijão. O amido de feijão apresenta baixo índice glicêmico por ser lentamente digerido (WINHAM; HUTCHINS; MELDE, 2007), enquanto a fibra alimentar está associada à saúde gastrointestinal (MARLETT; McBURNEY; SLAVIN, 2002).

Além de apresentar teor protéico relativamente alto, fibra alimentar, que apresenta efeito hipoglicêmico e hipocolesterolêmico, e carboidratos complexos, o feijão também contém polifenóis, principalmente taninos que apresentam capacidade antioxidante, e vitaminas do complexo B (SILVA; ROCHA; CANNIATI-BRAZZACA, 2009). Díaz, Caldas e Blair (2010) relataram que, por apresentar altos níveis de minerais essenciais, como ferro, zinco, fósforo e cálcio, o feijão tem potencial para suprir a anemia causada por deficiência de ferro e outras doenças associadas com micronutrientes que atingem pessoas em todo o mundo.

2.2. Endurecimento dos grãos de feijão durante o armazenamento

A qualidade de cocção dos grãos de feijão está associada ao manejo pós-colheita e às condições de armazenamento (MOHAN et al., 2011). O armazenamento de feijão em condições desfavoráveis reduz a capacidade de absorção de água dos grãos durante a cocção, o que dificulta a separação celular, a gelatinização do amido e promove desnaturação protéica (YOUSIF et al., 2007). Elevadas temperaturas e umidades relativas, comuns a muitas

regiões do México, das Américas do Sul e Central, e dos países Africanos, aceleram o aparecimento do defeito conhecido como *hard-to-cook* (HTC) nos feijões armazenados, o qual resulta no aumento da energia necessária para o cozimento do cotilédone, na redução da qualidade nutricional e na baixa aceitação dos consumidores (BERRIOS; SWANG; CHEONG, 1999; STANLEY; AGUILERA, 1985).

A umidade dos grãos, a temperatura de armazenamento e a umidade relativa do ar são os fatores mais críticos à preservação da qualidade pós-colheita de feijão (AGUILERA; STANLEY, 1985; BERRIOS; SWANSON; CHEONG, 1999).

O defeito HTC em feijões está associado às alterações que ocorrem nos cotilédones, enquanto que as alterações físicas que ocorrem na estrutura celular do tegumento são conhecidas por defeito *hard-to-shell* (HTS), que está relacionado a capacidade dos grãos absorverem água (HINCKS; STANLEY, 1987).

Grãos HTC, de forma geral, apresentam baixa capacidade de absorção de água, elevado tempo de cocção, não são macios após a cocção e, tratando-se de grãos de feijão carioca, apresentam escurecimento na coloração do tegumento. Muitas hipóteses foram propostas para explicar a causa do endurecimento dos feijões, como: oxidação e/ou polimerização lipídica, formação de pectatos insolúveis, lignificação da lamela média, reação de β -eliminação da pectina, desnaturação protéica, ligações cruzadas de proteínas desnaturadas e/ou de polifenólicos e mecanismos múltiplos (GARCIA; LAJOLO, 1994; GARCIA et al., 1998; LIU, 1995; REYES-MORENO; PAREDES-LÓPEZ, 1993).

Os processos que causam o aparecimento do defeito HTC não estão completamente elucidados (COELHO et al., 2007). O fenômeno HTC leva ao endurecimento dos grãos, que pode ser atribuído a compostos como o tanino e o fitato. Os taninos são um grupo de polifenóis presentes nas plantas formados por compostos de alto peso molecular com grupamentos hidroxila, que são capazes de formar ligações estáveis com proteínas (REDDY et al., 1985). O teor de taninos presente no tegumento de feijão varia entre 0 e 2%, dependendo da espécie e da cor do tegumento (COELHO et al., 2007). Além disso, os taninos podem migrar do tegumento para o cotilédone, formando

ligações cruzadas com macromoléculas da parede celular ou da lamela média durante o período de armazenamento sob elevada temperatura (REYES-MORENO; PAREDES-LOPES, 1993).

Em contrapartida, o fitato (Fig. 1) pode se associar com minerais, como cálcio, zinco e magnésio, assim como proteínas, e não é degradado pela cocção ou pelo processo digestivo (CHERYAN, 1980). Durante o período de armazenamento o teor de fitato diminui devido à ação gradual da enzima fitase, a qual hidrolisa uma porção dos ésteres de fosfato. Consequentemente, estes ésteres fosfóricos não se ligam mais aos íons de magnésio e de cálcio. Uma vez livres e difundidos pela lamela média, estes íons podem causar a insolubilização de ácidos pécnicos, o que impossibilita o amolecimento dos feijões durante o processo de cocção porque a lamela média das células do cotilédone não se separa (REYES-MORENO; PAREDE-LOPEZ, 1993).

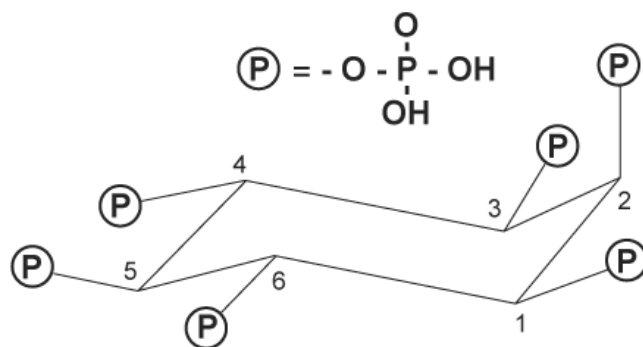


Figura 1 – Estrutura molecular do fitato.

Para Del Valle e Stanley (1995) o endurecimento de feijões durante o armazenamento em elevada temperatura e umidade relativa é causado pela hidrólise de fitato e fortalecimento da parede celular, e dificulta a separação celular durante a cocção. Hincks e Stanley (1986) reportaram que os mecanismos de complexação entre pectina e fitato e a lignificação de compostos de parede celular são possivelmente os responsáveis pelo defeito HTC.

2.3. Alterações na cor do tegumento do feijão durante o armazenamento

A cor do tegumento do feijão carioca é um atributo importante na comercialização dos grãos. Isto porque o consumidor associa o grão de coloração clara ao produto recém-colhido, com baixo tempo de cocção e macio após o preparo. Já os grãos escuros, mais avermelhados, são considerados velhos e com características tecnológicas indesejáveis. Hughes e Sandstead (1975) reportaram que os consumidores e os processadores de feijão evitam comprar o produto escuro, pois a cor é considerada como um índice de qualidade.

Estudos realizados por Beninger e Hosfield (2003) indicam que a alteração de cor na casca de feijões está associada à oxidação de compostos fenólicos, especialmente taninos condensados, que são o grupo predominante de flavonóides e mais amplamente distribuídos nos grãos de leguminosas. Os compostos fenólicos podem variar em complexidade, mas a sua característica mais comum é a facilidade com que podem ser oxidados (BORS et al., 1996). Díaz, Caldas e Blair (2010) relataram que a oxidação de compostos fenólicos pela enzima polifenoloxidase é responsável pelo escurecimento do tegumento dos grãos de feijão durante o armazenamento. De acordo com Black e Brouwer (1998), cultivares de fava (*Vicia faba* L.) com maior teor de taninos apresentam maior alteração de cor na presença de oxigênio do que cultivares com baixo teor de taninos.

A oxidação pelo O₂ ambiental foi apontada por Stanley (1992) e Black e Brouwer (1998) como o principal fator responsável pelo escurecimento em vários feijões. Estudos realizados por Nasar-Abbas et al. (2008b) sugerem que a oxidação de compostos fenólicos é responsável pelo escurecimento do tegumento de fava (*Vicia faba* L.) e está entre os principais fatores responsáveis pela mudança de cor dos grãos durante o armazenamento. Diversos autores (BRACKMANN et al., 2002; BURR et al., 1968; IADEROZA et al., 1989; NASAR-ABBAS et al., 2008b; NASAR-ABBAS et al., 2009; RUPOLLO, 2011; SARTORI, 1982) atribuem o escurecimento do feijão a fatores como umidade, temperatura, atmosfera e tempo de armazenamento. Burr et al. (1968) afirmou que o escurecimento do feijão, no armazenamento, está, também, relacionado com a suscetibilidade da cultivar.

Cultivares de feijão comum que apresentam estrias no tegumento, como o feijão pinto e o feijão carioca, que podem conservar a coloração clara durante o armazenamento atraem os consumidores por um longo período e têm alto valor de mercado (MARLES; VANDENBERG; BETT, 2008).

2.4. O amido de feijão e a sua relação com o fenômeno de endurecimento

Os carboidratos são os principais constituintes dos feijões e o amido é o carboidrato mais abundante nas sementes de leguminosas (22-45%) (HOOVER; SOSULSKI, 1991). Os amidos de leguminosas são digeridos lentamente, têm um baixo índice glicêmico e são fermentados no intestino grosso para produzir ácidos graxos de cadeia curta (SANDHU; LIM, 2008), que são benéficos para a saúde do cólon. Assim, devido ao importante papel desempenhado pelos amidos de leguminosas na nutrição humana, a investigação sobre amidos de leguminosas estão se intensificando, sobretudo os processadores de alimentos e nutricionistas têm dado importância diferenciada para os amidos de leguminosas com funcionalidades únicas para atender às demandas do consumidor (HUGHES et al., 2009). Amidos com propriedades funcionais desejáveis poderiam desempenhar um papel significativo na melhoria da qualidade dos produtos alimentares e poderiam substituir amidos quimicamente modificados que estão sendo usados em uma série de produtos (SILVA et al., 2003).

A gelatinização do amido, a desnaturação de proteínas e a perda de frações da parede celular são consideradas como alguns dos mecanismos responsáveis pelo endurecimento (LIU, 1995; SHIGA; LAJOLO; FILISETTI, 2004). Kaur e Singh (2007) relataram que as propriedades do amido isolado de feijões HTC diferem das propriedades do amido isolado de feijões novos, relacionando as alterações no amido com o fenômeno de endurecimento. Yousif et al. (2003) encontraram aumento da temperatura de gelatinização do amido de feijão azuki (*Vigna angularis*) com o aumento da temperatura de armazenamento. Rupollo et al. (2011) relataram que poucos são os estudos que avaliam o amido isolado de feijões armazenados em diferentes condições e que estudos que avaliem efeitos das condições de armazenamento são

importantes para a compreensão das alterações que ocorrem no amido dos grãos armazenados.

2.1. Propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido

O amido de feijões, assim como cereais e tubérculos, é composto de dois polímeros: a amilose e a amilopectina (Fig. 2). A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4, originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6, formando uma estrutura ramificada. As proporções, em que essas estruturas aparecem, diferem em relação às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta (ELIASSON, 2004; TESTER; KARKALAS, 2004). O amido de feijões é caracterizado por apresentar alto teor de amilose (24-65%) (SINGH, 2011).

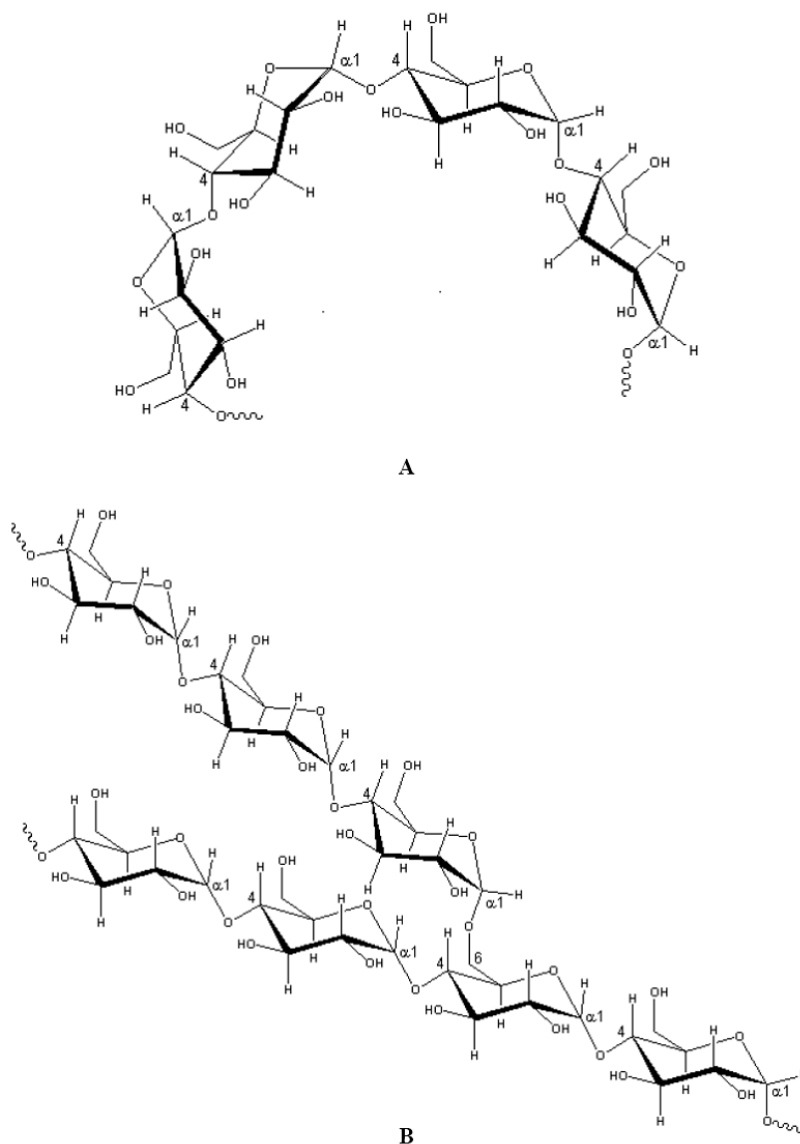


Figura 2 – A) Estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em α -(1-4)]. B) Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em α -(1-4) e α -(1-6)].

Atualmente, pesquisas distintas sobre a avaliação da relação existente entre a estrutura molecular do amido e o seu comportamento em algumas propriedades físico-químicas sugerem que diversas características estruturais, como teor de amilose, distribuição de comprimento das cadeias de amilopectina e grau de cristalinidade no grânulo, poderiam estar intimamente relacionadas aos eventos associados com a gelatinização e a retrogradação, tais como inchamento do grânulo, lixiviação de amilose e/ ou amilopectina,

perda da estrutura radial (birrefringência), supra-molecular (cristalinidade) e molecular e recristalização (RUPOLLO, 2011).

A disposição entre a amilose e a amilopectina no interior dos grânulos de amido varia entre os amidos das diferentes espécies. A difratometria de raios-X é utilizada para revelar a presença e a característica da estrutura cristalina de um amido (SINGH, 2011). Os padrões “A”, “B” e “C” são as diferentes formas poliméricas encontradas nos amidos que diferem no empacotamento das duplas hélices da amilopectina.

A cristalinidade tipo A ocorre na maioria dos cereais (milho, arroz, trigo, aveia) e é descrita como uma unidade celular monocíclica altamente condensada e cristalina, em que 12 resíduos de glicose de duas cadeias no sentido anti-horário abrigam quatro moléculas de água entre as hélices. A estrutura de padrão tipo B (tubérculos, raízes, amido retrogradado, cereais com alto teor de amilose) é mais claramente definida, sendo composta por uma unidade básica de cadeias que são empacotadas em um arranjo hexagonal, onde a unidade celular tem duas duplas hélices no sentido anti-horário, alinhadas e arranjadas em paralelo. Essa estrutura contém 36 moléculas de água (27%) para cada 12 resíduos de glicose, sendo que a metade dessa água é fortemente ligada às duplas hélices, e a outra metade é concentrada em um eixo em parafuso (OATES, 1997; ELIASSON, 2004). O amido de feijão apresenta cristalinidade tipo C, que é uma mistura entre os tipos A e B (HOOVER et al., 2010).

De acordo com Hoover et al. (2010), diferenças na cristalinidade do amido são influenciadas por: (1) tamanho de cristalito; (2) número de cristalitos que estão arranjados em uma matriz cristalina, (3) teor de umidade, e (4) conteúdo polimórfico.

Na Fig. 3 está apresentada a estrutura granular do amido em diferentes níveis de ampliação.

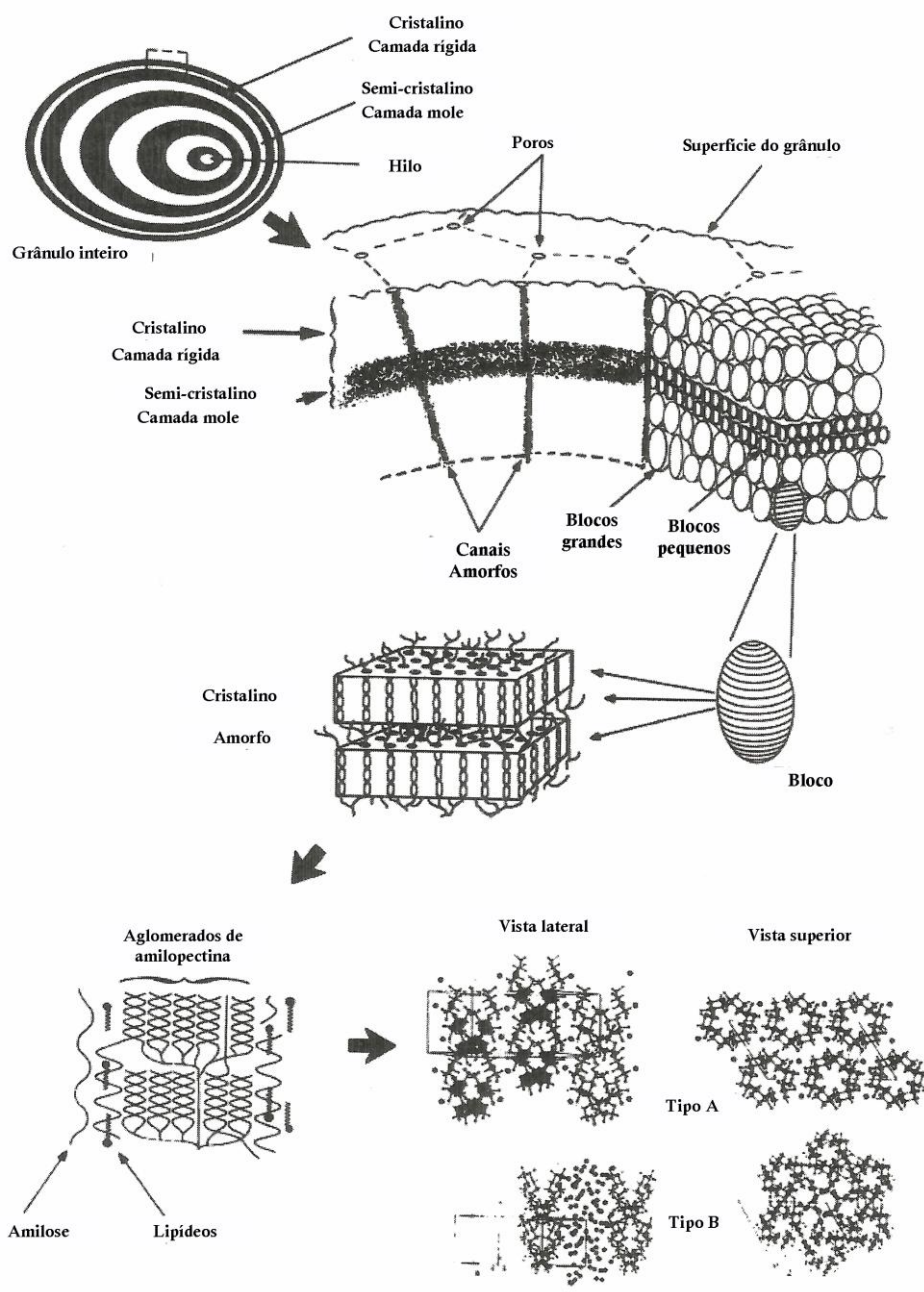


Figura 3 – Visão geral da estrutura granular do amido em diferentes níveis de ampliação.

Fonte: SINGH, 2011.

Quando as moléculas do amido são aquecidas em excesso de água, a estrutura cristalina é rompida e as moléculas de água formam pontes de hidrogênio com os grupos hidroxila da amilose e da amilopectina, o que causa um aumento no inchamento do grânulo e na sua solubilidade (SINGH, 2011).

O poder de inchamento e a solubilidade fornecem uma evidência da magnitude de interação entre as cadeias do amido no interior das zonas

amorfos e cristalinos. Segundo Hoover (2001), o grau desta interação é influenciado pela relação entre os níveis de amilose e amilopectina, e pelas características da amilose e da amilopectina em termos de peso/distribuição molecular, grau e comprimento de ramificação e conformação.

O amido de feijão apresenta baixo poder de inchamento comparado a outras fontes. Por apresentar elevado teor de amilose, as cadeias de amilose podem estar estreitamente empacotadas no interior do domínio amorfo do grânulo, resultando em fortes interações (por pontes de hidrogênio) entre cadeias de amilose adjacentes (HOOVER et al., 2010).

Quando aquecido em excesso de água o amido passa pela transição de uma fase ordenada para uma fase desordenada chamada gelatinização. Sabe-se que a gelatinização tem início no hilo e se expande rapidamente para a periferia, dando-se, inicialmente, nas regiões amorfas devido à fragilidade das ligações de hidrogênio nessas áreas, ao contrário do que ocorre nas regiões cristalinas (SINGH, 2003). À medida que os grânulos continuam se expandindo, acontece a lixiviação da amilose da fase intergranular para a fase aquosa. O conjunto de mudanças que envolvem a ruptura da estrutura granular, o inchamento, a hidratação e a solubilização das moléculas de amido é definido como o fim da gelatinização (THARANATHAN, 2002).

A calorimetria diferencial de varredura é a técnica mais usada para medir as temperaturas de transição do processo de gelatinização (temperatura inicial, temperatura de pico e temperatura final) e a entalpia de gelatinização dos amidos. As temperaturas e a entalpia de gelatinização são influenciadas pela arquitetura molecular da região cristalina, que corresponde a distribuição das cadeias curtas de amilopectina (grau de polimerização entre 6 e 11) e não pela proporção de região cristalina, que corresponde aos níveis de amilose e amilopectina (NODA et al., 1996). Segundo Cooke e Gidley (1992), a entalpia de gelatinização está associada à perda da ordenação em dupla hélice. Já Tester e Morrison (1990) relataram que a entalpia de gelatinização fornece uma visão geral da cristalinidade (qualidade e tipo de cristalitos do amido) da amilopectina.

Um gel (ou pasta) é formado durante o aquecimento do amido em excesso de água, constituído por uma fase contínua de amilose e/ou amilopectina solubilizada e uma fase descontínua, composta por fragmentos

(HOOVER et al., 2010). As propriedades do gel de amido são determinadas, principalmente, através do *Rapid Visco Analyzer* (RVA). De acordo com Hoover e Sosulski (1985), as propriedades de pasta do amido de feijões refletem, provavelmente, o seu elevado teor de amilose, a presença de pequenos traços de lipídeos complexados com amilose, as fortes interações entre as cadeias do amido (amilose-amilose e/ou amilose-amilopectina) no interior do grânulo e a orientação das cadeias de amilose.

Na Fig. 4 é apresentada uma curva típica obtida na análise viscoamilográfica de um amido no *Rapid Visco Analyzer* (RVA).

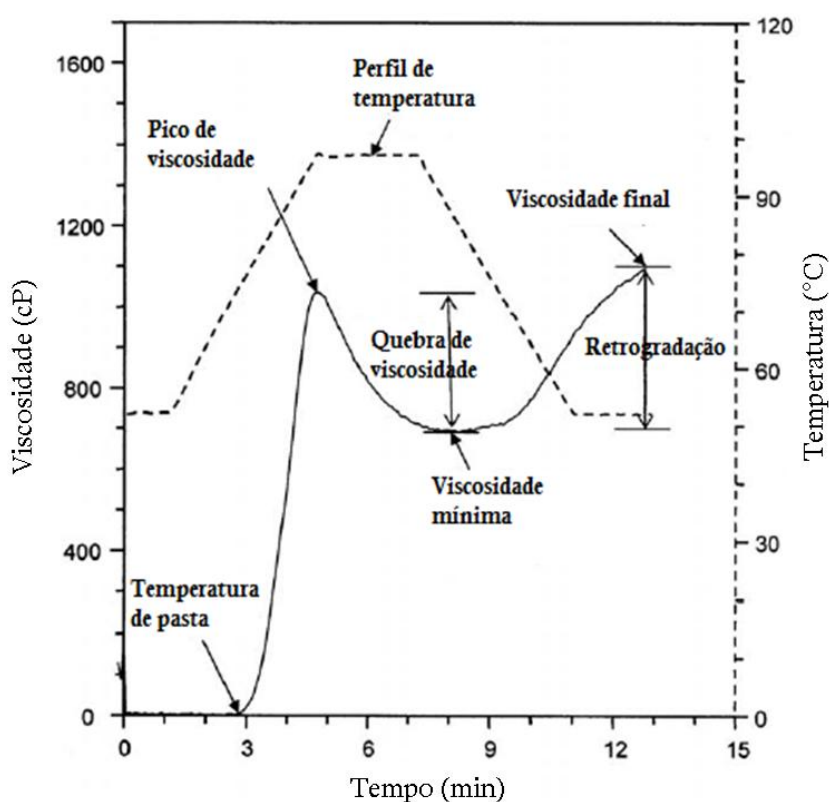


Figura 4 – Representação de uma curva típica obtida na análise das propriedades viscoamilográficas do amido em um *Rapid Visco Analyzer* (RVA).
Fonte: KAUR et al., 2009.

No período inicial da análise de RVA o grânulo absorve água, seguido por um rápido aumento na viscosidade com o aumento da temperatura. Após atingir o máximo, a viscosidade começa a diminuir como resultado do rompimento e da fragmentação dos grânulos durante a agitação contínua durante a análise. Este comportamento é conhecido como quebra de

viscosidade, que é a medida da facilidade com que os grânulos intumescidos se desintegram com a agitação do gel. De acordo com Singh et al. (2008), baixo valor de quebra de viscosidade pode ser atribuído a baixa desintegração dos grânulos de amido que apresentam alto teor de amilose. A maioria dos amidos de feijões apresenta elevada temperatura de pasta, inexistência de pico de viscosidade e elevada retrogradação (HOOVER et al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Materiais

Foram utilizados grãos de feijão das cultivares do grupo comercial carioca – BRS Estilo, BRS Horizonte, Pérola, BRS Requinte e BRS Pontal – e do grupo comercial preto – BRS Campeiro, BRS Esplendor, BRS Grafite, BRS Supremo e BRS Valente – (Fig. 5) produzidos em sistema de irrigação na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, Goiás, dentro do ensaio de multiplicação de sementes, com espaçamento entrelinhas de 50 cm e 450 kg de adubação NPK da fórmula 5:30:16.



Figura 5 – Grãos de feijão utilizados no experimento.

3.2. Métodos

3.2.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o completamente casualizado bifatorial (10x2), em três repetições, conforme apresentado na tab. 1. Para a

apresentação dos resultados o trabalho foi dividido em três partes, de acordo com o Quadro 1.

Tabela 1 – Delineamento experimental para avaliar as alterações nos parâmetros tecnológicos e nas propriedades físico-químicas, térmicas e de pasta do amido isolado de 10 cultivares diferentes de feijão durante o armazenamento a $25\pm1^{\circ}\text{C}$.

Tratamento	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes
	Cultivar	Tempo de armazenamento	
1	Estilo (carioca)	Inicial	Parte 1) Caracterização dos atributos físicos e químicos grãos.
2	Horizonte (carioca)		
3	Pérola (carioca)		
4	Pontal (carioca)		
5	Requinte (carioca)		
...		12 meses	Parte 2) Parâmetros tecnológicos de qualidade de feijão;
...	Campeiro (preto)		
...	Esplendor (preto)		
...	Grafite (preto)		
...	Supremo (preto)		
...	Valente (preto)		Parte 3) Propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido isolado de feijão.
20			

Quadro 1 – Forma de divisão do trabalho e de abordagem para a apresentação dos resultados.

Parte	Título	Abordagem	Variáveis dependentes*
1	Caracterização dos atributos físicos e químicos dos grãos		- massa de mil grãos;
			- dimensões;
			- percentual de casca;
			- composição centesimal.
2	Parâmetros tecnológicos de qualidade de feijão	Comparação entre cultivares durante o armazenamento	- grau de umidade;
			- cor do tegumento;
			- tempo de cocção;
			- coeficiente de hidratação;
			- condutividade elétrica.
3	Propriedades físico-químicas, térmicas e de pasta do amido isolado de feijão	Comparação entre cultivares durante o armazenamento	- poder de inchamento;
			- solubilidade;
			- difração de raios-x;
			- calorimetria diferencial de varredura (DSC);
			- viscoamilografia (RVA);

* Análises listadas conforme a ordem de apresentação dos resultados.

3.2.2. Preparo da amostra

Após a colheita, as amostras foram limpas e apenas os grãos inteiros e sem defeitos selecionados. Posteriormente, os grãos foram transportados para o Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, do DCTA-FAEM-UFPel, onde foram conduzidas as etapas de armazenamento e análise.

3.2.3. Armazenamento

As amostras foram armazenadas em sacos de algodão de 1 kg de grãos em sala climatizada a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Fig. 6), aonde ficaram armazenadas por 12 meses.



Figura 6 – Feijões armazenados em sacos de algodão com capacidade para 1 kg de grãos.

3.2.4. Avaliações

3.2.4.1. Caracterização física e química dos grãos

3.2.4.1.1. Massa de mil grãos

Foram contados mil grãos de cada amostra, em 4 repetições, e pesados em balança de precisão.

3.2.4.1.2. Dimensões

As dimensões dos grãos de cada cultivar foram determinadas com o uso de um paquímetro digital, através da determinação do comprimento, da largura e da espessura de 60 grãos.

3.2.4.1.3. Percentual de casca

O percentual de casca dos grãos de feijão foi determinado através da remoção manual da casca de 100 g de grãos e posterior pesagem da mesma.

3.2.4.1.4. Composição centesimal

O teor de água dos grãos de feijão, usado para expressar os demais resultados da composição centesimal em base seca, foi determinado de acordo com as recomendações da ASAE (2000). As análises do teor de cinzas, proteína bruta e lipídios foram executadas de acordo com a metodologia indicada pela AOAC (2006). A avaliação do teor de fibra alimentar foi realizada pela combinação do método enzimático e gravimétrico descrito por Asp et al.

(1983). O teor de amido foi determinado por diferença dos demais componentes.

3.2.4.2. Parâmetros de qualidade tecnológica de feijão

3.2.4.2.1. Grau de umidade

O grau de umidade dos grãos durante o armazenamento foi determinado de acordo com as recomendações da ASAE (2000). Uma vez que os grãos foram armazenados em ambiente sem umidade relativa controlada, apenas temperatura, era esperada a alteração do grau de umidade dos mesmos.

3.2.4.2.2. Cor do tegumento

A cor do tegumento de grãos inteiros e uniformes foi determinada com o uso de um colorímetro Minolta modelo CR-300, o qual indica as cores em um sistema tridimensional. O eixo vertical L^* aponta a cor da amostra do preto ao branco, o eixo a^* da cor verde ao vermelho e o eixo b^* da cor azul ao amarelo. Foram feitas 10 determinações para cada amostra, as quais foram realizadas, colocando-as em um recipiente de 22 cm de diâmetro e três cm de altura, em que o feijão cobria completamente o fundo do recipiente. A amostra foi medida em uma área de $19,6 \text{ cm}^2$. Ao término do período de armazenamento, as amostras do tempo inicial e as amostras armazenadas por 6 e 12 meses foram fotografadas por um fotógrafo profissional utilizando câmera digital (Nikon, D100, 6Mp, Japão).

3.2.4.2.3. 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. O tempo de cocção foi avaliado com 25 grãos uniformes e inteiros previamente embebidos em 80 mL de água destilada, por 14 horas, a 25°C , e colocados no equipamento de Mattson modificado, com 25 hastes. Cada haste apresenta comprimento de 210 mm e massa de 89 g, 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 copo de *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 em minutos após a água atingir a temperatura de 90°C. O tempo de cocção era finalizado pela queda da 13ª vareta, perfurando, deste modo, mais de 50% dos grãos.

3.2.4.2.4. Coeficiente de hidratação

O coeficiente de hidratação foi estabelecido de acordo com o método descrito por El-Refai et al. (1988) e Nasar-abbas et al. (2008a), com modificações. Os grãos (100 g) foram embebidos em 350 mL de água destilada (proporção de 1:3,5) à temperatura ambiente (25° C). Após 16 horas, os grãos foram removidos da água de maceração e procedeu-se a remoção de água livre, usando-se um papel absorvente antes da pesagem. O ganho de peso foi considerado como a quantidade de água absorvida e expressa como coeficiente de hidratação (*Cf.H.*), calculado pela equação 1:

$$Cf.H. = \frac{PU}{PS} \times 100 \quad (1)$$

Onde: *Cf.H.*: Coeficiente de hidratação; *PU*: peso dos grãos após hidratação; *PS*: peso dos grãos antes da hidratação.

3.2.4.2.5. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água de hidratação dos grãos foi determinada a partir de quatro repetições de 25 grãos, pesados e imersos em 75 mL de água deionizada (no interior de *beckers* de 250 mL), colocados em germinador regulado para a temperatura constante de 20° C, posteriormente, incubados durante 24 horas (ISTA, 2008). As soluções foram agitadas suavemente e a condutividade elétrica foi determinada em condutímetro sem filtragem da solução. Os resultados foram expressos em $\mu S \cdot cm^{-1}$.

3.2.4.3. Propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido isolado de feijão

3.2.4.3.1. Extração do amido

A extração de amido foi realizada conforme método descrito por Rupollo et al. (2011). As amostras (300 g) de cada tratamento foram moídas em moinho

de laboratório (Perten, 3100). Em seguida, a farinha de feijão foi embebida em água destilada contendo 0,16% de sulfito de hidrogênio de sódio por 24 horas a 4°C, sendo, posteriormente, drenado o bissulfito. Cabe ressaltar, neste ponto, que a adição de bissulfito de sódio com a água aumenta a taxa de difusão de água e ajuda a quebrar a matriz de amido-proteína (SINGH et al., 2004). A amostra foi suspensa em 400 mL de água destilada e homogeneizada em um liquidificador de laboratório. O material homogeneizado, no liquidificador, foi selecionado através de uma peneira de 200 mesh e deixado em repouso por três horas. O sobrenadante foi removido e a camada de amido decantada foi ressuspensa em água destilada e centrifugada a 1200 giros por 20 min. A camada superior não-branca foi removida com uma espátula e a camada branca foi ressuspensa em água destilada e centrifugada a 1200 giros por 15 min. A camada superior não-branca foi removida. O amido foi coletado e seco em estufa a 40°C por 12 h.

3.2.4.3.2. Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento e a solubilidade dos amidos foram determinados conforme descrito por Leach, McCowen e Schoch (1959). Amostras de 1,0 g foram misturadas com 50 mL de água destilada em tubos de centrífuga. As suspensões foram aquecidas a 90°C por 30 min. As amostras aquecidas foram resfriadas à temperatura ambiente e centrifugadas a 1000 giros por 20 min. O sobrenadante foi secado a 110°C até peso constante para quantificar a fração solúvel. Assim sendo, a solubilidade foi expressa em percentagem de massa seca de sólidos com base no peso seco da amostra. O poder de inchamento foi representado como a razão entre o peso do sedimento úmido com o peso da amostra inicial seca (dedução do montante de amido solúvel).

3.2.4.3.3. Difração de raios-X

Difratogramas de raios-X dos amidos foram obtidos com um difratômetro de raios-X (XRD-6000, Shimadzu, Brasil) em que a região de varredura da difração variou de 3 a 45°, com uma tensão alvo de 30 kV, uma corrente de 30 mA e velocidade de varredura de 1°.min⁻¹. A cristalinidade relativa (CR) dos grânulos de amido foi calculada como descrito por Rabek (1980), seguindo a

equação $RC (\%) = (Ac / (Ac + Aa)) * 100$, onde Ac é a área cristalina e Aa é a área amorfa no difratograma de raio-X.

3.2.4.3.4. Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

As características de gelatinização do amido de feijão foram determinadas através de Calorimetria Diferencial de Varredura (TA-60WS, Shimadzu, Kyoto, Japão). Amostras de amido (cerca de 2,5 mg, em base seca) foram pesadas diretamente em panela de alumínio (Mettler, ME-27.331) e água destilada foi adicionada para obter uma suspensão com 75% de água. A panela estava hermeticamente selada e deixou-se estabilizar durante uma hora antes da análise. Uma panela vazia foi utilizada como referência. As panelas da amostra foram aquecidas 10-120° C, à taxa de 10° C.min⁻¹. A temperatura inicial de gelatinização (To), a temperatura de pico (Tp), a temperatura final ou de conclusão (Tc) e a entalpia de gelatinização (ΔH) foram determinadas.

3.2.4.3.5. Viscoamilografia (RVA)

A viscosidade das amostras foi determinada através do analisador rápido de viscosidade (*Rapid Visco Analyser*), modelo RVA-3D+ da Newport Scientific Pty. Ltd., Sidney, Austrália, provido do *software Termocline*.

O analisador rápido de viscosidade foi projetado para determinações de viscosidade de produtos amiláceos a partir de pequenas quantidades de amostra (3-4 g) e em curto espaço de tempo (13-20 min). As etapas de aquecimento, temperatura constante e resfriamento são monitoradas automaticamente por computador (WALKER et al., 1988). Foram tomados 25 mL de água destilada e 3,5 g de amostra, previamente corrigida para 14% de umidade e colocada em copo especial de folha de alumínio, em duplicata. Após a inserção da paleta e da colocação do copo no aparelho, o ciclo do teste foi iniciado, sendo os resultados das análises interpretados a partir dos gráficos fornecidos pelo *software* do aparelho. Os parâmetros usados na interpretação dos resultados (unidades viscoamilográficas-UVA) foram:

- viscosidade inicial - valor da viscosidade no ponto onde se inicia o amilograma à temperatura de 50°C;

- viscosidade à temperatura constante - valor da viscosidade máxima obtida durante o aquecimento à temperatura constante de 95°C;
- viscosidade final - valor da viscosidade máxima, obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C;
- temperatura de pasta (ou temperatura inicial de gelatinização) - temperatura em °C que corresponde ao ponto onde inicia a formação de curva no gráfico.

3.2.6. Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Os efeitos da cultivar e do tempo de armazenamento foram avaliados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). O tempo de cocção foi avaliado, também, por regressão estatística. O teste de correlação entre as variáveis dependentes foi realizado através do coeficiente de correlação de Pearson (SAS INSTITUTE, 2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização dos atributos físicos e químicos dos grãos

A massa de mil grãos, as dimensões e o teor de tegumento das diferentes cultivares de feijão comum estudadas são apresentados na tab. 2.

Tabela 2 – Massa de mil grãos, dimensões e teor de tegumento dos grãos de diferentes cultivares dos feijões carioca e preto.

Cultivares	Massa de mil grãos (g)	Dimensões ^a			Teor de tegumento (%)
		C (mm)	L (mm)	E (mm)	
<i>Feijão Carioca</i>					
BRS Estilo	241,3±0,08 d*	10,12±0,48 ef	6,78±0,57 bcd	4,94±0,43 ab 4,77±0,32	9,14
BRS Horizonte	245,6±0,06 c	11,65±0,67 a	6,84±0,37 abcd	bcd	9,95
Pérola	262,4±0,02 a	11,35±1,00 ab	7,08±0,61 a	4,96±0,46 a	9,62
BRS Pontal	210,0±0,02 f	9,86±0,79 fg	6,53±0,37 e	4,46±0,23 de	10,63
BRS Requinte	198,1±0,07 g	8,97±0,47 h	6,63±0,37 de	4,66±0,34 c	9,47
<i>Feijão Preto</i>					
BRS Campeiro	256,2±0,05 b	10,93±0,78 bc	7,05±0,43 a	4,73±0,37 c	9,32
BRS Esplendor	175,9±0,05 i	9,64±0,58 g	6,21±0,29 f	4,22±0,25 f	10,46
BRS Grafite	246,1±0,01 c	10,60±0,81 cd	6,94±0,54 ab	5,02±0,33 a	9,13
BRS Supremo	196,3±0,02 h	9,39±0,67 gh	6,63±0,45 cde	4,64±0,31 cd	10,07
BRS Valente	224,4±0,03 e	10,37±1,04 de	6,97±0,44 ab	4,41±0,27 e	10,03

* Médias aritméticas simples, de três determinações ± desvio padrão, seguidas por letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância (p < 0,05).

^a C = comprimento, L = Largura e E = espessura;

A massa de mil grãos variou entre 175,9 e 262,4 g, seguindo a ordem: Pérola > BRS Campeiro > BRS Horizonte = BRS Grafite > BRS Estilo > BRS Valente > BRS Pontal > BRS Requinte > BRS Supremo > BRS Esplendor (tab. 2). Os grãos das cultivares BRS Horizonte e Pérola, ambos do grupo carioca, apresentaram o maior comprimento e os grãos das cultivares BRS Requinte e

BRS Supremo apresentaram o menor comprimento. A maior largura foi verificada nos grãos das cultivares BRS Horizonte, Pérola, BRS Campeiro, BRS Grafite e BRS Valente (6,84 – 7,08 mm). Por outro lado, a menor largura foi verificada nos grãos da cultivar BRS Esplendor (6,21 mm). Os grãos das cultivares BRS Estilo, Pérola e BRS Grafite apresentaram a maior espessura, variando entre 4,94 e 5,02 mm (tab. 2). Assim como no parâmetro largura, os grãos da cultivar BRS Esplendor apresentaram a menor espessura dentre todas as cultivares estudadas (4,22 mm).

O teor de tegumento variou entre 9,13 e 10,63% (tab. 2). De acordo com Oomah, Corbé e Balasubramanian (2010), o tegumento de feijão é uma porção relativamente pequena (entre 7 e 13 g.100 g⁻¹), rica em fibras, minerais, especialmente cálcio, e compostos fenólicos com elevada atividade antioxidante. Logo, o teor de tegumento dos grãos é importante para o desenvolvimento de produtos que busquem tais propriedades funcionais e nutraceuticas dos grãos.

Oomah, Corbé e Balasubramanian (2010) compararam as dimensões, a cor do tegumento, o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante dos grãos de 13 cultivares diferentes de fava (*Vicia faba* L.) cultivadas no mesmo período em dois locais distintos do município de Alberta, no Canadá, e verificaram que as dimensões dos grãos, a capacidade de hidratação, a cor do tegumento, o teor de compostos fenólicos totais, o teor de taninos e o teor de antocianinas variam de acordo com a localidade de cultivo. Wang et al. (2010) observaram que as propriedades físicas (massa de 100 grãos, dimensões, tempo de cocção e dureza) e a composição centesimal de grãos de ervilha (*Pisum sativum*) é dependente da cultivar, da localidade de cultivo e, inclusive, do ano de cultivo, em função dos fatores climáticos.

A composição centesimal dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto está apresentada na tab. 3.

Tabela 3 – Composição centesimal (% em base seca) dos grãos de diferentes cultivares dos feijões carioca e preto.

Cultivares	Proteína Bruta (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Fibra Alimentar (%)	Amido (%)
<i>Feijão Carioca</i>					
	21,07±0,13				
BRS Estilo	f*	1,52±0,02 b	3,93±0,00 e	18,54±0,78 ef	54,05
		1,20±0,01			
BRS Horizonte	26,06±0,24 b	de	4,19±0,10 bc	18,70±1,09 def	49,82
Pérola	27,40±0,01 a	1,10±0,08 f	4,21±0,06 bc	21,66±0,66 abc	45,11
		1,20±0,03			
BRS Pontal	23,99±0,11 d	de	4,01±0,07 de	23,36±0,96 a	47,43
		1,16±0,00	4,11±0,01	20,79±1,16	
BRS Requite	23,74±0,26 d	de	bcd	abcde	49,40
<i>Feijão Preto</i>					
BRS Campeiro	23,08±0,10 e	1,23±0,04 d	4,25±0,06 ab	22,83±0,85 ab	48,59
BRS Esplendor	25,36±0,25 c	1,37±0,00 c	3,94±0,02 e	17,63±1,33 f	51,67
			4,06±0,03	20,32±0,32	
BRS Grafite	23,81±0,01 d	1,22±0,01 d	cde	bcde	50,56
				21,15±0,73	
BRS Supremo	26,00±0,00 b	1,68±0,04 a	4,39±0,06 a	abcd	46,76
BRS Valente	23,89±0,15 d	1,22±0,06 d	4,20±0,01 bc	19,93±0,53 cdef	50,74

* Médias aritméticas simples, de três determinações ± desvio padrão, seguidas por letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância (p < 0,05).

O teor de proteína bruta variou entre 21,07 e 27,40%. O maior teor protéico foi observado nos grãos da cultivar Pérola e o menor nos grãos da cultivar BRS Estilo, ambas do grupo carioca, indicando que o teor de proteína bruta dos grãos independe do grupo comercial (carioca ou preto). Siddiq et al. (2010) estudaram as características físicas e funcionais de quatro variedades distintas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) dos Estados Unidos: red kidney, small red kidney, cranberry e feijão preto. Os autores verificaram teor de proteína entre 20,93 e 23,62%. Shimelis e Rakshit (2005) estudaram a composição centesimal de 8 cultivares melhoradas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas na Etiópia e reportaram teores de proteína bruta entre 17,956 g.100 g⁻¹ e 22,073 g.100 g⁻¹.

Os teores de lipídeos e de cinzas variaram de 1,10 a 1,68% e de 3,93 a 4,35%, respectivamente (tab. 3). O teor de cinzas encontrado nas cultivares estudadas é similar ao encontrado por Barampama e Simard (1993), os quais encontraram teores de cinzas entre 3,8 a 4,5% ao estudarem quatro variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas em diferentes regiões de Burundi. Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008) observaram teor de cinzas de 3,36 a 4,22% ao avaliarem os efeitos do processamento doméstico sobre a composição nutricional de cinco diferentes cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Já os teores de lipídeos observados na tab. 3 são inferiores ao verificado por Silva, Rocha e Canniatti-Brazaca (2009), que reportaram teor de lipídeos de 1,93, 2,28 e 2,56% para as cultivares WAF 15, BRS Pontal e BRS Supremo, respectivamente. No entanto, Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008) observaram teores de lipídeos semelhantes, entre 1,27 e 1,94%, em outras cultivares de feijão.

O teor de fibra alimentar, importante constituinte dos grãos de feijão, oscilou entre 17,63 e 23,36% (tab. 3). Resultados similares foram encontrados por Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008) e Silva, Rocha e Canniatti-Brazaca (2009). De acordo com Tiwari e Cummins (2011), a fração pectina responde por 55% da fibra presente no cotilédono dos grãos de feijão. Por outro lado, a celulose é o principal constituinte da fibra presente na casca (35-57%), a qual apresenta pouca hemicelulose e pectina.

A maior fração presente nos grãos de feijão é a de carboidratos disponíveis (amido), variando de 46,76 a 54,05% (tab. 3). Os resultados são condizentes com as observações de Pujóla, Farreras e Casañas (2007), os quais quantificaram, através de cromatografia líquida de alta precisão, o teor de amido presente em 9 cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), variando de 41,4 a 52,3%. Silva, Rocha e Canniatti-Brazaca (2009) também encontraram valores similares do teor de carboidratos disponíveis em três cultivares de feijão, variando entre 43,84 e 55,95%. Pires et al. (2005) avaliaram a composição centesimal dos grãos cozidos e secos de 11 diferentes cultivares de feijão. Segundo os autores, a variação dos teores de carboidratos, lipídeos e cinzas pode ocorrer devido às diferenças entre as cultivares, bem como a origem, a localização, o clima, as condições ambientais e o tipo de solo onde são cultivados.

Na tab. 4 são apresentados os coeficientes de correlação de Pearson dos atributos da caracterização física e química dos grãos.

A massa dos grãos apresentou correlação positiva com o comprimento, a largura e a espessura dos grãos ($p<0,01$), ou seja, quanto maior a massa dos grãos maiores, também, as dimensões. Wang et al. (2010) também verificaram correlação positiva entre estes dois parâmetros em cultivares de ervilha. O comprimento e a largura dos grãos apresentaram, também, correlação positiva ($p<0,05$). Observa-se na tab. 4 que o teor de tegumento apresentou correlação negativa com a massa dos grãos ($p<0,05$) e correlação negativa com a espessura ($p<0,01$). Resultado similar foi encontrado por Wang, Daun e Malcolmson (2003), os quais reportaram que as sementes pequenas de ervilha, tendo uma maior proporção área superficial:volume do que as sementes grandes, têm maior relação tegumento:cotilédone, resultando em maior dureza.

Tabela 4 – Coeficientes de correlação de Pearson para os atributos físicos e químicos dos grãos de feijão ($n=10$).

	Massa de 1000 grãos	C	L	E	Teor de tegumento	Proteína bruta	Lipídeos	Cinzas	Fibra alimentar
C	0,843**								
L	0,904**	0,690*							
E	0,776**	0,470	0,683*						
Teor de tegumento	-0,626*	-0,235	-0,632*	-0,817**					
Proteína bruta	-0,064	0,280	-0,029	-0,096	0,438				
Lipídeos	-0,395	-0,443	-0,375	-0,093	0,063	-0,172			
Cinzas	0,192	0,201	0,461	0,125	-0,023	0,483	0,108		
Fibra alimentar	0,235	0,012	0,332	0,121	0,026	0,042	-0,285	0,404	
Amido	-0,123	-0,153	-0,229	-0,077	-0,256	-0,696*	0,249	0,651*	-0,730*

C = comprimento; L = largura; E = espessura. * $p<0,05$. ** $p<0,01$.

Houve correlação negativa entre o teor de amido e os teores de proteína bruta e fibra alimentar ($p<0,05$), e correlação positiva entre o teor de amido e o teor de cinzas ($p<0,05$). Resultados semelhantes foram apresentados por Wang et al. (2010), que verificaram correlação negativa entre o teor de amido com os teores de proteína bruta ($p<0,001$) e fibra bruta ($p<0,05$) ao avaliar cultivares de ervilha produzidas em diferentes anos e localidades. No entanto, os autores não verificaram correlação entre o teor de amido e o teor de cinzas.

4.2. Parâmetros de qualidade tecnológica dos grãos armazenados

Na Fig. 7 é apresentado o grau de umidade dos grãos de feijão durante o período de armazenamento. Os grãos foram armazenados com temperatura controlada de 25°C, porém sem controle de umidade relativa do ar. Percebe-se comportamento semelhante na variação do grau de umidade entre os grãos das diferentes cultivares (Fig. 7). Nos 6 meses iniciais de estocagem os grãos absorveram água do ambiente. Após este período houve redução do teor de água dos grãos de todas as cultivares até 8 meses de armazenamento, quando houve, novamente, acréscimo no grau de umidade. Variações no grau de umidade entre os grãos das diferentes cultivares ocorrem, provavelmente, em função dos atributos físicos e químicos de cada uma, como, por exemplo, o teor de proteína bruta e o teor de lipídeos, pois o primeiro constituinte é altamente higroscópico e o segundo, por outro lado, é hidrofóbico.

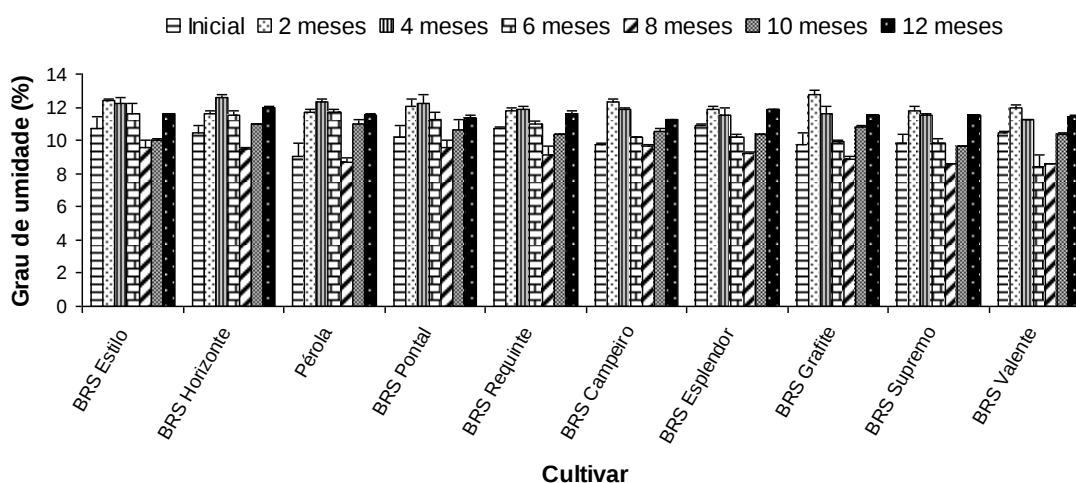


Figura 7 – Grau de umidade dos grãos das diferentes cultivares de feijão estudadas durante o armazenamento. Barras de erros representam o intervalo de confiança ($\alpha = 0,05$).

Na Fig. 8 é apresentada a fotografia dos grãos de feijão carioca antes do armazenamento (inicial) e após 6 e 12 meses de estocagem.

Os valores dos eixos L^* e a^* da análise do perfil colorimétrico de feijão carioca estão apresentados na tab. 5 e na tab. 6, respectivamente. Os valores

de L* indicam a luminosidade. Os valores de a* representam a faixa de cor que varia do verde ao vermelho. Os valores de b*, conforme verificado na literatura (BRACKMANN et al., 2002; RUPOLLO, 2011) não são significantes para amostras de feijão e, portanto, não foram apresentados.

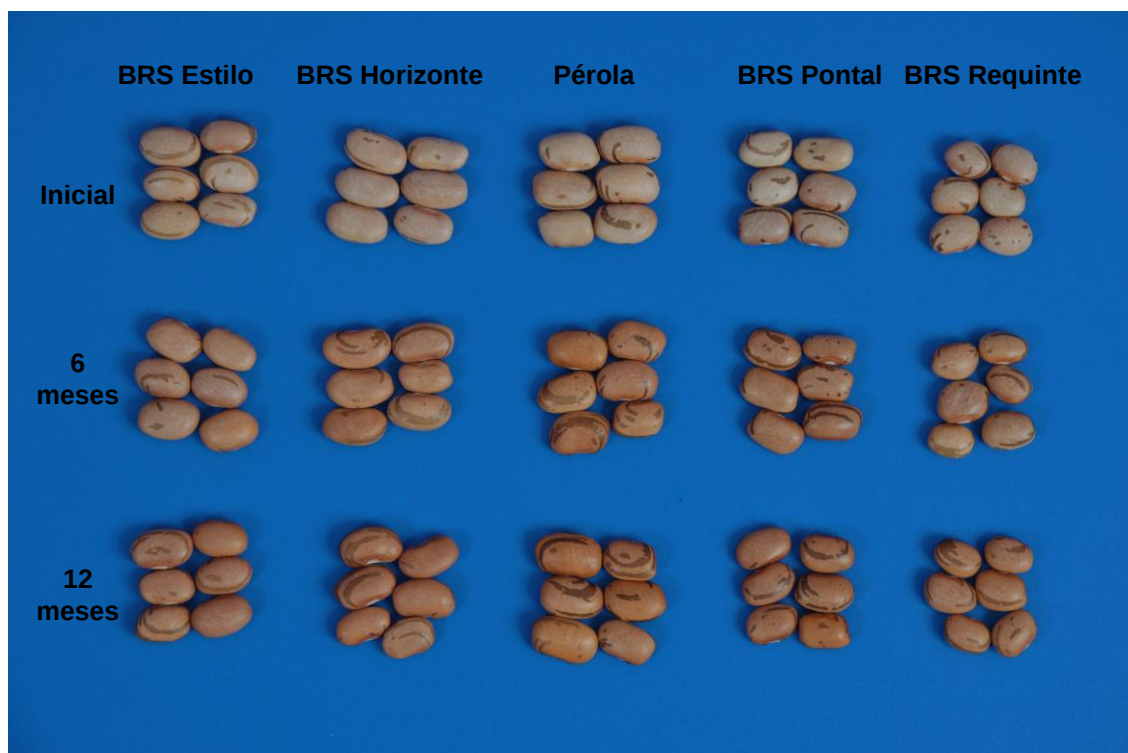


Figura 8 – Cor do tegumento dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca armazenadas por 12 meses a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ sem a presença de luz.

Tabela 5 – Coordenada L* da avaliação colorimétrica do tegumento dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca armazenados durante 12 meses.

Cultivar	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
BRS Estilo	63,58 $\pm$ 1,08 cA*	58,41 $\pm$ 2,37 aB	55,30 $\pm$ 0,59 bC
BRS Horizonte	68,35 $\pm$ 0,34 aA	57,66 $\pm$ 0,56 aB	57,82 $\pm$ 1,18 aB
Pérola	65,09 $\pm$ 0,03 bcA	57,90 $\pm$ 0,96 aB	56,27 $\pm$ 1,02 abB
BRS Pontal	65,70 $\pm$ 0,28 bA	57,50 $\pm$ 0,42 aB	53,00 $\pm$ 0,40 cC
BRS Requite	61,47 $\pm$ 0,69 dA	58,86 $\pm$ 0,85 aB	57,93 $\pm$ 0,96 aB

* Médias aritméticas simples, de três determinações $\pm$ desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$).

Tabela 6 – Coordenada a* da avaliação colorimétrica do tegumento dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca armazenados durante 12 meses.

Cultivar	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
BRS Estilo	5,11±0,14 abC	7,09±0,19 cB	9,29±0,26 bA
BRS Horizonte	4,34±0,19 cdC	9,50±0,16 aB	10,05±0,29 aA
Pérola	4,16±0,22 dB	9,16±0,17 aA	9,38±0,27 bA
BRS Pontal	4,76±0,03 bcC	8,57±0,10 bB	9,88±0,09 aA
BRS Requite	5,29±0,23 aB	7,19±0,49 cA	7,64±0,10 cA

* Médias aritméticas simples, de três determinações $\pm$ desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$).

Os grãos da cultivar BRS Horizonte apresentaram maior valor de L*, e menor valor de a* no tempo inicial, indicando serem estes os mais claros. Os grãos da cultivar BRS Requite apresentaram, por sua vez, menor valor de L* e, juntamente com os grãos da cultivar BRS Estilo, maior valor de a* no tempo inicial. Dessa forma, pode-se inferir que os grãos da cultivar BRS Requite foram os mais escuros no tempo inicial.

Houve redução no valor de L* e aumento no valor de a* para os grãos de todas as cultivares nos primeiros 6 meses de armazenamento (tab. 5 e 6). O mesmo comportamento não foi verificado aos 12 meses. Os grãos das cultivares BRS Horizonte, Pérola e BRS Requite não apresentaram redução do valor de L* aos 12 meses de armazenamento quando comparados aos seus respectivos valores dos 6 meses de armazenamento. Em relação ao valor de a*, somente os grãos das cultivares Pérola e BRS Requite não apresentaram alteração aos 12 meses comparados aos 6 meses de armazenamento. Isto indica que estes grãos mantiveram a coloração mais próxima à inicial ao final do período de armazenamento. Vale ressaltar que os grãos da cultivar BRS Requite apresentaram valor de a* 17,76% inferior ao segundo menor valor (9,29) ao término do período de armazenamento. Segundo Farias et al. (2003) a cultivar BRS Requite apresenta retardamento do escurecimento do grão. De

acordo com os resultados observados na tab. 5 e na tab. 6, é possível inferir que, comparada as demais cultivares estudadas, os grãos da cultivar BRS Requite apresentam, de fato, retardamento do escurecimento dos grãos.

A determinação do tempo de cocção dos grãos foi realizada a cada dois meses durante 12 meses de armazenamento. Os resultados do tempo de cocção dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 9 e 10.

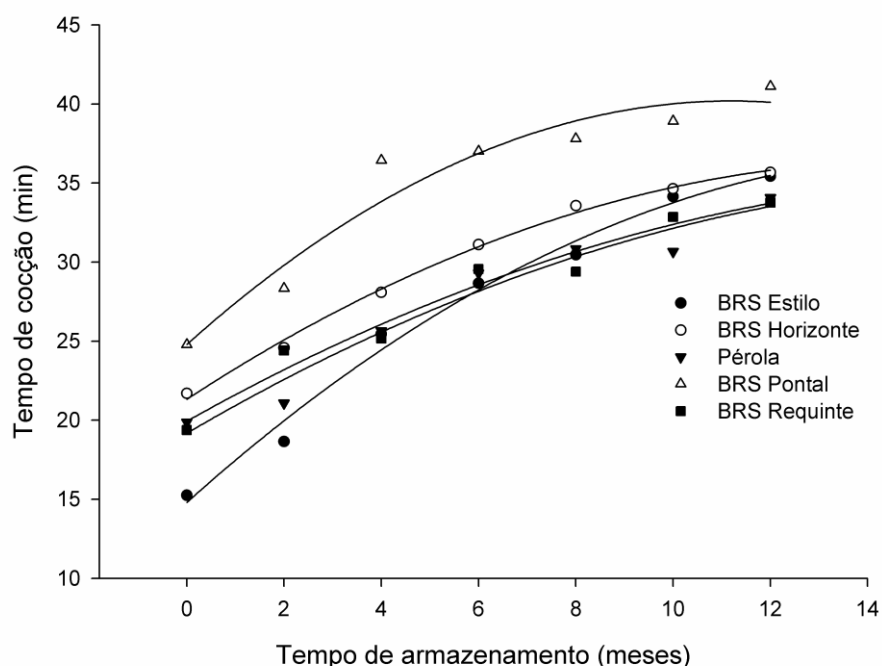


Figura 9 – Tempo de cocção dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca armazenados por 12 meses.

O tempo de cocção inicial dos grãos de feijão carioca oscilou entre 15,25 e 25,11 minutos, seguindo a ordem: BRS Pontal > BRS Horizonte > BRS Requite = Pérola > BRS Estilo. Os grãos da cultivar BRS Pontal apresentaram o maior tempo de cocção durante todo o período de armazenamento. Aos 2 meses de armazenamento, apenas o tempo de cocção dos grãos das cultivares Pérola e BRS Horizonte não diferiram significativamente do tempo inicial (dados não apresentados). Aos 4 meses de armazenamento os grãos das cultivares Pérola, BRS Requite e BRS Estilo não apresentaram diferença significativa no tempo de cocção.

Embora os grãos da cultivar BRS Estilo tenham apresentado tempo de cocção inicial muito inferior aos demais, houve acréscimo de 87,97% e 132,49% no tempo de cocção dos grãos desta cultivar aos 6 e 12 meses de armazenamento, respectivamente, permitindo inferir que esta cultivar é a mais suscetível ao endurecimento durante o armazenamento nas condições estudadas. O baixo tempo de cocção inicial provavelmente expresse a maior resistência apresentada pela planta aos estresses ambientais (luminosidade, irradiação, seca, patógenos, etc.) causados durante o cultivo.

Os grãos das cultivares BRS Horizonte, Pérola e BRS Pontal mostraram comportamento muito semelhante em relação ao aumento percentual no tempo de cocção, que pode traduzir a suscetibilidade do grão ao aparecimento do defeito HTC. Nos primeiros 6 meses de estocagem registraram aumento no tempo de cocção entre 43,41 e 47,35%. Aos 12 meses houve acréscimo de 63,87 a 71,46% no tempo de cocção dos grãos destas cultivares. Embora os grãos da cultivar BRS Requite tenham apresentado retardamento do escurecimento do tegumento, o seu acréscimo no tempo de cocção em relação ao tempo inicial foi maior do que para as cultivares BRS Horizonte, Pérola e BRS Pontal, representando 52,57% e 74,34% aos 6 e 12 meses, respectivamente.

O tempo de cocção dos grãos de feijão preto armazenados por 12 meses está apresentado na Fig. 10. O tempo de cocção inicial dos grãos de feijão preto variou entre 16,53 e 20,95 minutos. O menor tempo de cocção aos 2 meses de armazenamento foi verificado nos grãos das cultivares BRS Grafite e BRS Supremo. A partir do quarto mês de estocagem os grãos da cultivar BRS grafite apresentaram sempre o menor tempo comparado aos demais. Percebe-se comportamento semelhante entre os grãos das cultivares BRS Campeiro, BRS Grafite e BRS Valente dos 6 aos 12 meses de armazenamento, onde não houve acréscimo significativo no tempo de cocção dos grãos destas cultivares (Fig. 10).

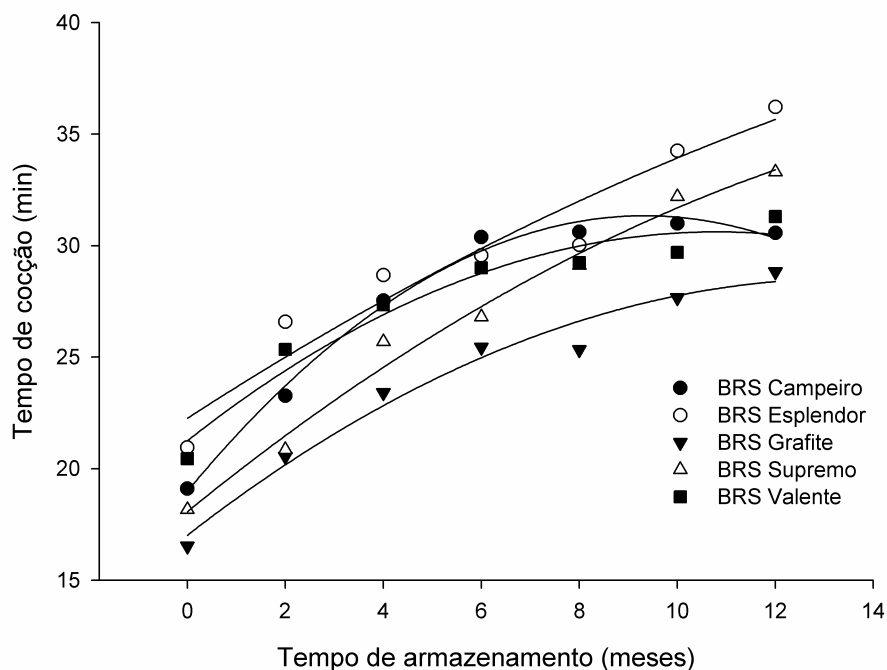


Figura 10 – Tempo de cocção dos grãos de diferentes cultivares de feijão preto armazenados por 12 meses.

O tempo de cocção ao final do período de armazenamento para os grãos de feijão preto variou de 28,83 a 36,22 minutos. Os grãos da cultivar BRS Supremo apresentaram 84,40% de acréscimo no tempo de cocção dos grãos em relação ao tempo inicial após 12 meses de armazenamento, sendo este o maior aumento comparado as demais cultivares de feijão preto. Os grãos da cultivar BRS Valente, por sua vez, apresentaram o menor acréscimo (51,10%) aos 12 meses, apontando ser a cultivar menos suscetível ao endurecimento dos grãos dentre as cultivares de feijão preto estudadas.

As equações de regressão e os respectivos valores de R^2 para o tempo de cocção das cultivares de feijão carioca e preto são apresentados na tab. 7.

Tabela 7 – Equações de regressão para o tempo de cocção durante o armazenamento a 25±1°C.

Cultivar	Equação de Regressão ^a	R ²
<i>Feijão Carioca</i>		
BRS Estilo	$y = - 0,0862x^2 + 2,7580x + 14,7973$	0,9883
BRS Horizonte	$y = - 0,0670x^2 + 2,0112x + 21,3283$	0,9960
Pérola	$y = - 0,0502x^2 + 1,7979x + 19,1804$	0,9606
BRS Pontal	$y = - 0,1230x^2 + 2,7521x + 24,7889$	0,9421
BRS Requinte	$y = - 0,0481x^2 + 1,7265x + 19,9365$	0,9652
<i>Feijão Preto</i>		
BRS Campeiro	$y = - 0,1418x^2 + 2,6462x + 18,9918$	0,9933
BRS Esplendor	$y = - 0,0254x^2 + 1,4205x + 22,2629$	0,9341
BRS Grafite	$y = - 0,0631x^2 + 1,7054x + 17,0180$	0,9743
BRS Supremo	$y = - 0,0426x^2 + 1,7879x + 18,0757$	0,9867
BRS Valente	$y = - 0,0802x^2 + 1,7336x + 21,2535$	0,9525

^a y = tempo de cocção (min), x = tempo de armazenamento (dias).

O endurecimento dos grãos durante o armazenamento tem sido atribuído a alterações causadas no tegumento e no cotilédone. Quando armazenado em condições inadequadas ocorrem alterações químicas e enzimáticas no tegumento, tornando-o rígido e menos permeável à água (LIU; MCWATTERS; PHILLIPS, 1992). Essas alterações estão associadas aos taninos presentes no tegumento. No entanto, a grande maioria dos pesquisadores concorda que o defeito HTC ocorre, principalmente, em virtude das alterações no cotilédone, o qual responde por cerca de 90% dos constituintes do grão.

Berrios, Swanson e Cheong (1998) observaram menor tamanho do espaço intercelular da seção transversal do cotilédone de feijão preto armazenado em temperatura ambiente (23-25°C) por 2 anos comparado ao feijão armazenado a 4,5°C. Shiga, Lajolo e Filisetti (2004) relataram que as alterações na estrutura e na organização dos polissacarídeos de parede celular devem ser consideradas como o principal fator que influencia o defeito HTC. Coelho et al. (2007) avaliaram os teores de fitatos, proteína bruta, taninos e fósforo, o tempo de hidratação e o tempo de cocção de dois genótipos diferentes de feijão comum, Paraíso e Peruano, armazenados durante 135 dias em duas temperaturas diferentes, 29°C e 5°C, e verificaram menor aumento no

tempo de cocção dos grãos da cultivar Paraíso em relação aos grãos da cultivar Peruano, justificando esse comportamento em função do baixo teor de fitatos.

O acréscimo no tempo de cocção dos grãos de cada cultivar aos 12 meses de armazenamento não apresentou correlação significativa com os parâmetros físicos, químicos e tecnológicos estudados, conforme apresentado na tab. 8. Nasar-Abbas et al. (2008a), estudando os efeitos da temperatura de armazenamento sobre a qualidade de cocção e os teores de ligninas e compostos fenólicos de fava (*Vicia faba* L.), observaram correlação positiva entre o conteúdo de fibra detergente ácida e a dureza dos grãos ($R^2 = 0,97$), bem como correlação positiva entre o teor de ligninas e a dureza dos grãos ($R^2 = 0,98$). De acordo com Stanley e Aguilera (1985), o ácido fítico se liga aos cátions bivalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+}), evitando a formação de pectatos insolúveis de cálcio e magnésio na parede celular, o que acaba por facilitar a dissolução da parede celular durante o processo de cozimento. A liberação dos cátions e dos ésteres de fostato é realizada pela enzima fitase (COELHO et al., 2007). A ação da enzima fitase faz com que os íons de magnésio e de cálcio difundam-se pela lamela média formando ligações cruzadas de pectina. Esses íons dificultam a separação da lamela média das células dos cotilédones durante o processo de cozimento, aumentando, assim, o tempo de cocção dos grãos. Wang et al. (2010) verificaram correlação negativa ($p < 0,001$) entre o tempo de cocção e o teor de fitato ($r = -0,61$). Isto indica que quanto maior o teor de fitato disponível, que não foi hidrolisado pela ação da enzima fitase, menor será o tempo de cocção, fato que corrobora com o verificado por Stanley e Aguilera (1985).

Considerando os relatos da literatura e os resultados observados na tab. 8, supõe-se que a suscetibilidade ao aparecimento do defeito HTC seja dependente da presença e da atividade de enzimas-chave do processo de lignificação da parede celular, como a fitase, bem como da estrutura e composição química dos polissacarídeos de parede celular presentes nos grãos, conforme apontado por Shiga e Lajolo (2006).

Tabela 8 – Coeficientes da correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os parâmetros do tempo inicial de armazenamento e o acréscimo no tempo de cocção de cada cultivar aos 12 meses de armazenamento ($n=10$).

Parâmetros do tempo inicial de armazenamento	Acréscimo no tempo de cocção após 12 meses de armazenamento
Massa de mil grãos	0,00
C ^a	-0,25
L ^b	-0,17
E ^c	0,36
Teor de tegumento	-0,41
Proteína bruta	-0,52
Lipídeos	0,64
Cinzas	-0,40
Fibra alimentar	-0,37
Amido	0,52
Coeficiente de hidratação	-0,49
Condutividade elétrica	0,50
Tempo de cocção	-0,65

^a C = comprimento. ^b L = Largura. ^c E = espessura.

O teor de tegumento apresentou correlação positiva ($p < 0,01$) com o tempo de cocção inicial dos grãos, logo após a colheita ($r = 0,82$), indicando que antes da ocorrência do endurecimento o tempo de cocção é dependente, principalmente, desta variável (tab. 9). Conforme já abordado anteriormente, os grãos menos espessos apresentam maior relação entre a área superficial e o volume do que os grãos mais espessos e, por isso, têm maior proporção de tegumento e são mais duros. Nesse sentido, também foi observada correlação negativa entre o tempo de cocção e a espessura dos grãos ($p < 0,05$) (tab. 9).

Tabela 9 – Coeficientes da correlação de Pearson entre o tempo de cocção dos grãos antes do armazenamento e os parâmetros físicos, químicos e tecnológicos dos grãos (n=10).

Parâmetros físicos, químicos e tecnológicos	Tempo de cocção antes do armazenamento
Massa de mil grãos	-0,28
C ^a	0,05
L ^b	-0,32
E ^c	-0,61**
Teor de tegumento	0,82*
Proteína bruta	0,40
Lipídeos	-0,44
Cinzas	-0,01
Fibra alimentar	0,32
Amido	-0,42
Coeficiente de hidratação	0,51
Condutividade elétrica	0,16

^a C = comprimento. ^b L = Largura. ^c E = espessura. *p<0,01. **p<0,05.

Na Fig. 11 é apresentada a correlação de Pearson entre o tempo de cocção dos grãos de feijão carioca e a variável L* da avaliação colorimétrica. Na Fig. 12 é apresentada a correlação de Pearson entre o tempo de cocção do feijão carioca e a respectiva variável a* da análise colorimétrica.

Ambas as variáveis da avaliação colorimétrica, L* e a*, correlacionaram significativamente (p<0,01) com o tempo de cocção dos grãos durante o armazenamento a 25±1°C. Quanto maior o valor da luminosidade (L*) ou claridade, menor o valor do tempo de cocção (r = -0,8374). Quanto maior o valor de a* (mais avermelhado), maior o tempo de cocção (r = 0,8680). Sendo assim, a coloração do tegumento é, de fato, um indicativo do endurecimento dos grãos de feijão carioca armazenados na ausência de luz a 25±1°C.

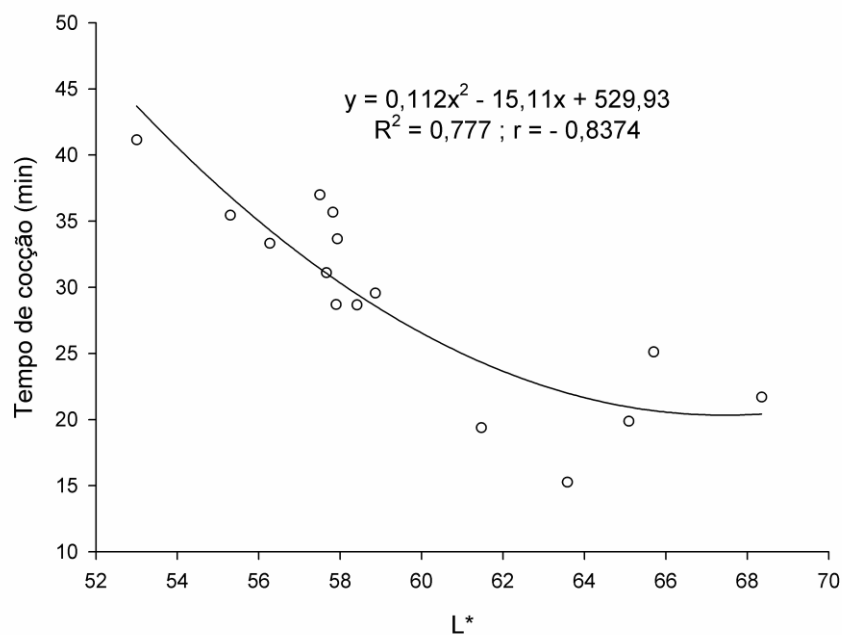


Figura 11 – Correlação de Pearson ($p < 0,01$) entre o tempo de cocção e a variável L* (luminosidade) da avaliação colorimétrica dos grãos de feijão carioca armazenados ($n = 15$).

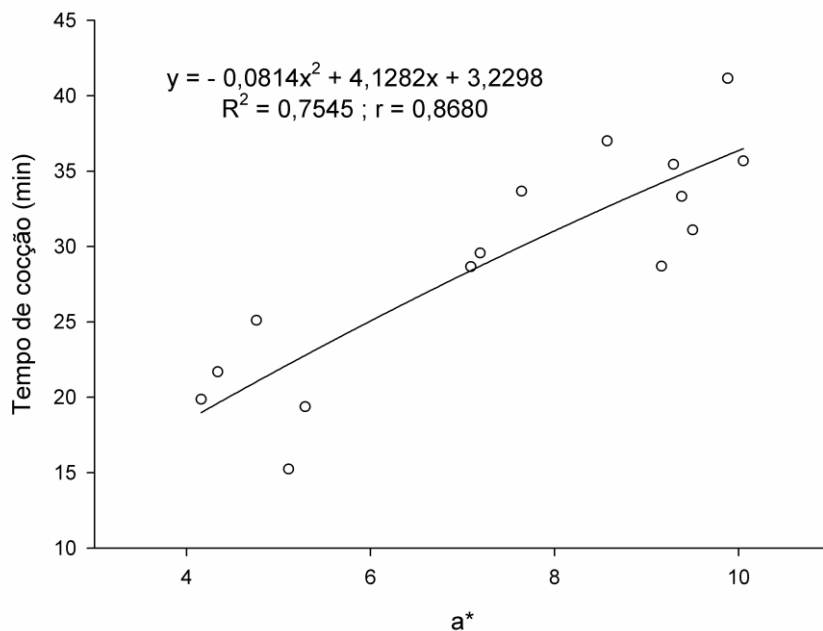


Figura 12 – Correlação de Pearson ($p < 0,01$) entre o tempo de cocção e a variável a* da avaliação colorimétrica dos grãos de feijão carioca armazenados ($n = 15$).

Na tab. 10 estão apresentados o coeficiente de hidratação e a condutividade elétrica dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.

Tabela 10 – Coeficiente de hidratação dos grãos e condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) da água de hidratação dos grãos de feijão armazenados.

Cultivares	Coeficiente de hidratação		Condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$)	
	Inicial	12 meses	Inicial	12 meses
<i>Feijão Carioca</i>				
BRS Estilo	2,006 $\pm$ 0,004 fA*	1,972 $\pm$ 0,009 deB	101,5 $\pm$ 1,5 aB	124,8 $\pm$ 3,7 aA
BRS Horizonte	2,100 $\pm$ 0,007 aA	2,044 $\pm$ 0,001 aB	78,6 $\pm$ 3,3 deB	86,5 $\pm$ 0,1 efA
Pérola	2,093 $\pm$ 0,003 aA	2,042 $\pm$ 0,000 aB	71,8 $\pm$ 1,2 eB	77,0 $\pm$ 2,7 gA
BRS Pontal	2,056 $\pm$ 0,001 bA	2,004 $\pm$ 0,003 bcB	104,1 $\pm$ 6,6 aB	117,2 $\pm$ 1,2 bA
BRS Requinte	1,989 $\pm$ 0,001 gA	1,958 $\pm$ 0,005 B	91,0 $\pm$ 1,8 bcB	102,6 $\pm$ 2,6 cA
<i>Feijão Preto</i>				
BRS Campeiro	2,055 $\pm$ 0,004 bcA	2,011 $\pm$ 0,001 bcB	75,9 $\pm$ 1,3 deB	88,7 $\pm$ 0,8 eA
BRS Esplendor	2,046 $\pm$ 0,005 cdA	2,014 $\pm$ 0,002 bB	91,6 $\pm$ 3,5 bB	114,0 $\pm$ 1,8 bA
BRS Grafite	2,025 $\pm$ 0,001 eA	1,998 $\pm$ 0,001 cB	80,5 $\pm$ 0,9 deB	97,0 $\pm$ 1,2 cdA
BRS Supremo	2,040 $\pm$ 0,002 dA	1,981 $\pm$ 0,002 dB	82,2 $\pm$ 4,4 cdA	90,8 $\pm$ 3,5 deA
BRS Valente	2,046 $\pm$ 0,002 bcdA	1,875 $\pm$ 0,010 fB	80,9 $\pm$ 2,9 dA	80,6 $\pm$ 3,0 fgA

* Médias aritméticas simples, de três determinações $\pm$ desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$).

O coeficiente de hidratação dos grãos variou entre 1,989 e 2,100 no tempo inicial. Após 12 meses de armazenamento houve redução no coeficiente de hidratação dos grãos de todas as cultivares comparado ao tempo inicial. De acordo com Liu et al. (2005), a redução da capacidade de hidratação dos grãos implica no aumento do tempo de cocção. A impermeabilização do tegumento e a redução do espaço intercelular (BERRIOS; SWANSON; CHEONG, 1998) são apontadas como responsáveis pela redução da capacidade de absorção de água dos grãos que apresentam o defeito HTC. Shimelis e Rakshit (2005) estudaram as propriedades físico-químicas de 8 cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas na Etiópia e observaram que a dureza dos grãos após a cocção aumenta à medida que a capacidade de hidratação diminui dentre as cultivares estudadas. Rodrigues et al. (2005) verificaram correlação negativa entre o tempo de cocção e a capacidade de absorção de

água dos grãos das cultivares TPS Nobre e Pérola, porém os autores determinaram o tempo de cocção dos grãos de cada cultivar em função do tempo de embebição em água (entre 2 e 18 horas). Essa relação direta reportada pelos autores não foi verificada no presente estudo (tab. 9). Carbonell, Carvalho e Pereira (2003) e Wang et al. (2010), que avaliaram, respectivamente, os efeitos do genótipo e do ambiente de cultivo sobre parâmetros tecnológicos de qualidade dos grãos de feijão e de ervilha, não verificaram, também, correlação entre o tempo de cocção e a capacidade de absorção de água. Carbonell, Carvalho e Pereira (2003) também concluíram que não se deve selecionar genótipos com base simplesmente nos dados do teste de porcentagem de embebição de água devido à sua baixa magnitude.

Foi observada correlação positiva do coeficiente de hidratação com o comprimento e o teor de proteína bruta dos grãos (Fig. 13 e 14, respectivamente).

Resultados semelhantes foram encontrados por Williams, Nakoul e Singh (1983) e Singh, Williams e Nakoul (1990), os quais reportaram correlação positiva entre o tamanho dos grãos e a capacidade de hidratação de grão-de-bico (*Cicer arietinum*). Por outro lado, Wang et al. (2010) não observaram correlação entre essas duas variáveis em seu estudo com ervilhas (*Pisum sativum*). A proteína, por ser um constituinte altamente higroscópico, naturalmente apresentou correlação positiva com o coeficiente de hidratação.

A condutividade elétrica oscilou de 71,8 a 104,1 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ no tempo inicial de armazenamento (tab. 10). Houve aumento na condutividade elétrica dos grãos aos 12 meses de armazenamento comparados ao período inicial, com exceção dos grãos das cultivares BRS Supremo e BRS Valente, os quais não apresentaram alteração com o armazenamento.

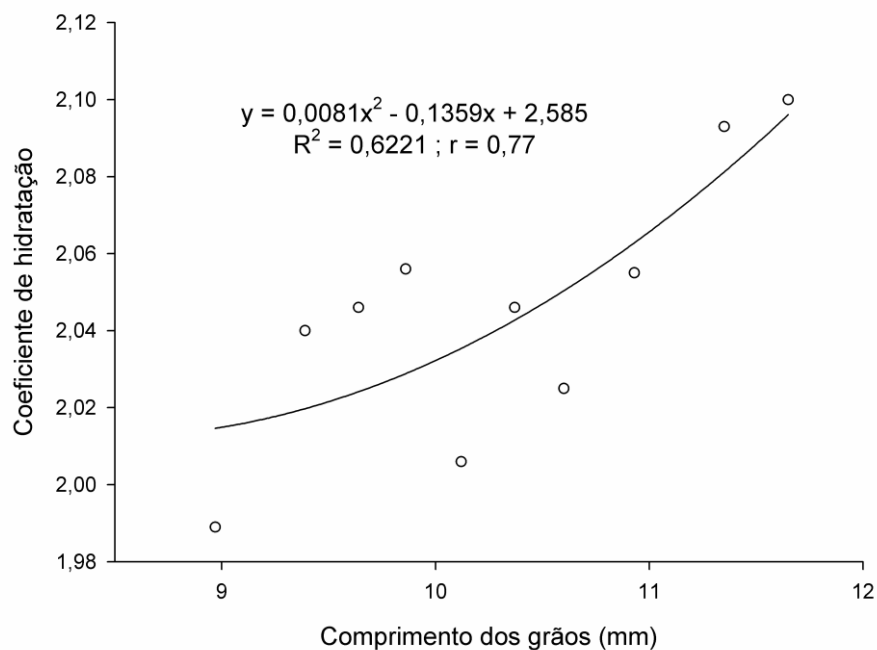


Figura 13 – Correlação de Pearson ($p < 0,01$) entre o coeficiente de hidratação e comprimento dos grãos ($n=10$).

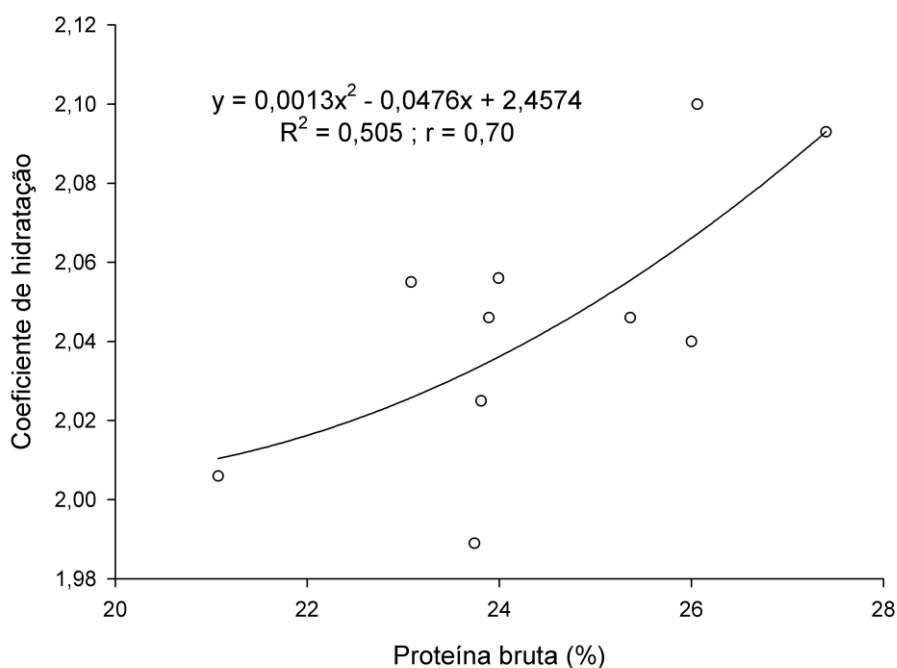


Figura 14 – Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre o coeficiente de hidratação e teor de proteína bruta dos grãos ($n=10$).

Os resultados da condutividade elétrica da água de hidratação dos grãos corroboram com os relatos da literatura. Berrios, Swanson e Cheong (1999),

Hentges, Weaver e Nielsen (1991), Jackson e Varriano-Marston (1981) e Plhak, Caldwell e Stanley (1989) observaram maior condutividade elétrica na água de hidratação de feijões HTC comparados a condutividade de feijões frescos. Os autores associaram esse comportamento com o aumento no conteúdo de eletrólitos lixiviados para a água de hidratação nos feijões HTC comparados ao feijão fresco, recém-colhido. Nasar-Abbas et al. (2008b) verificaram que quanto maior a temperatura de armazenamento de grãos de fava (*Vicia faba* L.), maior a condutividade elétrica da água de hidratação dos grãos. Os autores verificaram, também, correlação positiva entre a condutividade elétrica e o vazamento de solutos ($R^2 = 0,93$), e correlação negativa entre o coeficiente de hidratação e o vazamento de solutos para a água de hidratação ($R^2 = 0,99$).

4.3. Propriedades físico-químicas, térmicas e viscoamilográficas do amido isolado de feijão

O poder de inchamento e a solubilidade dos amidos isolados das diferentes cultivares de feijão estão apresentados na tab. 11. Estes parâmetros fornecem uma evidência da magnitude de interação entre as cadeias do amido no interior das regiões amorfa e cristalina (KAUR; SANDHU; LIM, 2010).

Tabela 11 – Poder de inchamento a 90°C (g.g⁻¹) e solubilidade em água a 90°C (g.g⁻¹) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão antes de serem armazenados e após 12 meses de armazenamento.

Cultivar	Poder de inchamento (g.g ⁻¹)		Solubilidade (g.g ⁻¹)	
	Inicial	12 meses	Inicial	12 meses
<i>Feijão carioca</i>				
BRS Estilo	10,72±0,14 aB*	11,29±0,15 aA	4,84±0,16 abA	4,77±0,16 abcA
BRS Horizonte	8,71±0,15 fgB	9,13±0,10 efA	4,74±0,05 abA	4,54±0,15 bcA
Pérola	9,07±0,12 defgB	9,50±0,12 defA	5,07±0,25 abA	4,75±0,11 abcA
BRS Pontal	9,62±0,19 bcdB	10,09±0,13 bcdA	4,49±0,26 bA	4,24±0,01 cA
BRS Requinte	9,36±0,18 bcdeA	10,00±0,50 bcdeA	4,66±0,01 abA	4,68±0,14 abcA
<i>Feijão Preto</i>				
BRS Campeiro	9,29±0,29 cdefA	9,66±0,25 cdeA	4,54±0,41 bA	5,25±0,24 aA
BRS Esplendor	8,58±0,29 gA	8,63±0,17 fA	4,36±0,17 bA	4,39±0,34 bcA
BRS Grafite	9,88±0,12 bA	10,74±0,98 abA	5,25±0,49 abA	4,73±0,30 abcA
BRS Supremo	9,78±0,27 bcB	10,52±0,14 abcA	5,40±0,07 aA	5,10±0,12 abA
BRS Valente	9,03±0,15 efgA	9,22±0,35 defA	4,52±0,43 bA	4,64±0,31 abcA

* Médias aritméticas simples, de três determinações ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância (p <0,05).

O poder de inchamento inicial variou entre 8,58 a 10,72 g.g⁻¹ (tab. 11). O maior poder de inchamento antes do armazenamento foi observado no amido isolado dos grãos da cultivar BRS Estilo, do grupo carioca, e o menor foi observado no amido isolado dos grãos das cultivares BRS Horizonte, Pérola, BRS Esplendor e BRS Valente, as quais não diferiram entre si.

Houve aumento no poder de inchamento do amido isolado dos grãos das cultivares BRS Estilo, BRS Horizonte, Pérola, BRS Pontal, do grupo carioca, e da cultivar BRS Supremo, do grupo preto, aos 12 meses de estocagem comparados ao período inicial (tab. 11). Resultado similar foi encontrado por Rupollo et al. (2011), que reportaram maior poder de inchamento em amido isolado de grãos de feijão carioca após 12 meses de armazenamento a 25°C quando comparado ao amido isolado dos grãos armazenados em ambiente hermético a 5°C e em atmosfera com nitrogênio a 15°C. No entanto, os amidos isolados das cultivares BRS Requinte, do grupo carioca, e BRS Campeiro, BRS Esplendor, BRS Grafite e BRS Valente, do

grupo preto, não apresentaram diferença significativa no poder de inchamento aos 12 meses de armazenamento comparados ao tempo inicial.

A solubilidade do amido a 90°C é o resultado da dissociação de amilose do grânulo e difusão para fora do mesmo durante o intumescimento do grânulo. Esta lixiviação resulta na transição da estrutura organizacional do interior do grânulo, passando de uma fase organizada para uma fase não organizada (TESTER e MORRISON, 1990). Houve diferença na solubilidade do amido entre as cultivares, tanto no tempo inicial como após 12 meses de armazenamento. No entanto, não houve diferença significativa na solubilidade do amido isolado dos grãos armazenados por 12 meses a 25°C comparada ao período inicial (tab. 11), estando de acordo com os resultados observados por Rupollo et al. (2011).

O amido apresentou o padrão de difração de raios-X tipo C, que é uma mistura dos padrões A e B, característicos de cereais e tubérculos, respectivamente. No amido de feijão, o padrão “C” é caracterizado pelo pequeno pico no ângulo de difração 2θ de 5,6° (característico para amido tipo B) e por picos mais intensos nos ângulos 2θ de 17°, 23° e 26° (Fig. 15).

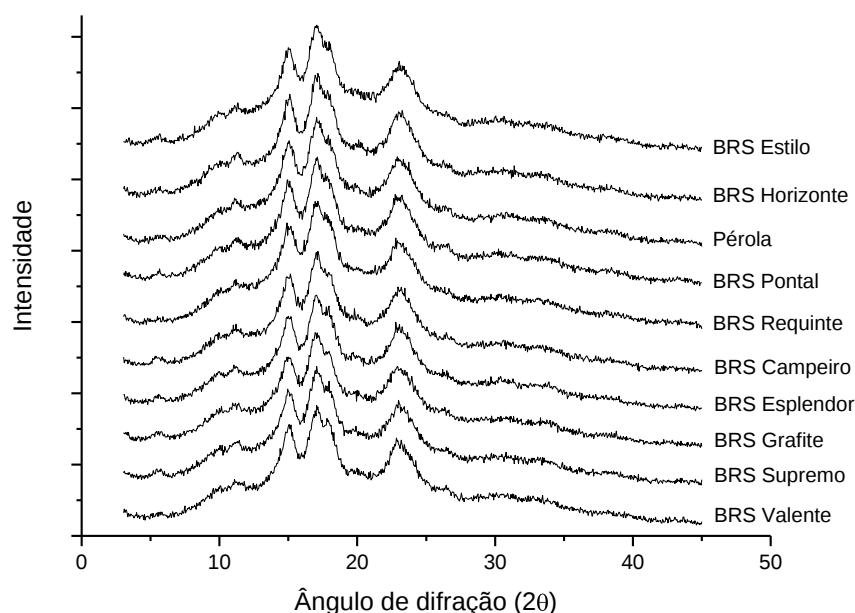


Figura 15 – Padrões de difração de raios-X dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares dos feijões carioca e preto antes de serem armazenados.

O padrão de difração de raios-X dos amidos isolados das diferentes cultivares de feijão apresentou picos principais nos ângulos de difração 2θ de $5,6^\circ$, 15° , 17° , 20° , 23° e 26° (Fig. 15). Resultados similares foram encontrados por Ovando-Martínez et al. (2011), os quais reportaram picos nos ângulos de difração 2θ de $5,4^\circ$, 15° , 17° , 20° , $23,2^\circ$ e $26,6^\circ$ ao avaliar amido isolado de grãos de feijão pinto e de feijão preto cultivados em diferentes condições no México. Não houve diferença na posição dos picos entre os amidos das cultivares estudadas, nem alteração na posição dos picos e na intensidade dos mesmos após 12 meses de armazenamento dos grãos (dados não apresentados).

Na tab. 12 é apresentada a cristalinidade relativa dos amidos isolados dos grãos de feijão.

Tabela 12 – Cristalinidade relativa (%) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão antes de serem armazenados e após 12 meses de armazenamento.

Cultivar	Tempo de armazenamento	
	Inicial	12 meses
<i>Feijão Carioca</i>		
BRS Estilo	28,71	28,94
BRS Horizonte	30,39	32,78
Pérola	30,08	32,60
BRS Pontal	27,90	33,74
BRS Requinte	27,17	29,96
<i>Feijão Preto</i>		
BRS Campeiro	31,92	30,22
BRS Esplendor	30,77	29,41
BRS Grafite	29,02	28,51
BRS Supremo	31,51	30,54
BRS Valente	30,94	29,24

A cristalinidade relativa do amido variou em função da cultivar, oscilando entre 27,17 e 31,92% antes do armazenamento e entre 28,51 e 33,74% aos 12 meses de armazenamento dos grãos. De acordo com Hoover et al. (2010), diferenças na cristalinidade relativa do amido de leguminosas podem ser influenciadas pelo: (1) tamanho do cristalito, (2) número de cristalitos que estão

dispostos em uma matriz cristalina, (3) grau de umidade, e (4) conteúdo polimórfico. Kaur, Sandhu e Lim (2010) encontraram correlação negativa ($p < 0,01$) entre a cristalinidade relativa e o conteúdo de amilose do amido em seu estudo de caracterização do amido de quatro cultivares indianas de lentilha (*Lens culinaris*). Hoover e Ratnayake (2002) caracterizaram o amido de três cultivares canadenses de feijão preto e de duas cultivares canadenses de feijão pinto (também conhecido como feijão rajado) e encontraram valores de cristalinidade relativa entre 17 e 21,7% para as cultivares de feijão preto e de 25 e 25,5% para as cultivares de feijão pinto. Segundo os autores, a diferença na cristalinidade dos amidos de feijão pinto comparada aos demais não pode ser atribuída a diferenças no tamanho de cristalito (uma vez que o padrão de difração de raios-x é idêntico entre todas as cultivares) ou ao conteúdo de amilopectina (uma vez que o feijão pinto foi o que apresentou menor conteúdo de amilopectina e maior cristalinidade relativa), mas pode ser devido a um conjunto de fatores: (1) maior amplitude de interação entre as duplas-hélices, (2) melhor orientação de cristalitos e (3) maior comprimento da cadeia de amilopectina.

A diferença na cristalinidade relativa verificada na tab. 12 em comparação a outros estudos com amido de leguminosas pode ocorrer em virtude do teor de água do amido analisado e do ângulo de varredura na análise.

Conforme observado na tab. 12, houve acréscimo na cristalinidade relativa dos amidos isolados dos grãos de feijão carioca aos 12 meses comparada a sua respectiva cristalinidade relativa no tempo inicial de armazenamento. O maior acréscimo ocorreu no amido isolado dos grãos da cultivar BRS Pontal. Entretanto, os amidos isolados dos grãos de feijão do grupo preto apresentaram pequeno decréscimo na cristalinidade relativa aos 12 meses. Rupollo et al. (2011) observaram aumento na cristalinidade relativa do amido isolado de grãos de feijão carioca armazenados por 12 meses a 25°C e mudança na intensidade dos picos de difração comparado ao amido isolado de grãos armazenados pelo mesmo período a 5°C, justificando esse comportamento pela redução do teor de amilose e por alterações nas regiões amorfa e cristalina do grânulo. Porém, há de se ressaltar que o tratamento controle utilizado por Rupollo et al. (2011) foi mantido a 5°C por 12 meses,

apresentando propriedades diferentes do tratamento controle utilizado neste trabalho (amido isolado dos grãos antes do armazenamento).

Na tab. 13 são apresentadas as temperaturas de transição e a entalpia de gelatinização da análise térmica dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão antes e após o armazenamento.

Na maioria dos estudos que avaliaram os parâmetros da calorimetria diferencial de varredura do amido de leguminosas apenas uma única cultivar foi utilizada, sendo difícil afirmar se estes parâmetros representam fielmente a espécie ou o grupo (HOOVER et al., 2010). Dessa forma, de acordo com os resultados da tab. 12, é possível perceber que não há uma faixa de temperatura de gelatinização (T_o , T_p e T_c) diferente para cada grupo, mas sim temperaturas que variam em função da cultivar.

Tabela 13 – Temperaturas de transição ($^{\circ}\text{C}$) e entalpia (J.g^{-1}) da análise térmica dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto antes de serem armazenados e após 12 meses de armazenamento.

Cultivar	Inicial				12 meses			
	Temperaturas de transição (°C)*			ΔH (J.g ⁻¹)	Temperaturas de transição (°C)*			ΔH (J.g ⁻¹)
	To	Tp	Tc		To	Tp	Tc	
Feijão Carioca								
BRS Estilo	66,36	74,95	84,25	3,415	66,79	74,78	79,45	3,435
BRS Horizonte	72,57	76,23	81,40	4,003	72,78	78,38	83,60	5,383
Pérola	70,67	72,72	81,28	3,562	69,85	77,41	82,11	4,319
BRS Pontal	70,04	77,19	84,44	4,507	70,26	77,02	81,77	4,613
BRS Requite	66,13	72,64	78,28	2,940	66,79	74,39	79,60	4,083
Feijão Preto								
BRS Campeiro	64,42	69,72	78,40	4,143	65,90	73,84	79,84	4,518
BRS Esplendor	70,86	76,53	81,33	4,770	71,22	76,84	81,78	5,062
BRS Grafite	69,64	72,72	81,28	6,245	66,82	74,66	80,38	4,084
BRS Supremo	67,00	73,45	78,47	2,958	67,04	74,84	79,99	4,292
BRS Valente	72,10	76,44	80,92	4,592	72,21	77,04	82,52	6,098

* T_o = temperatura inicial de gelatinização, T_p = temperatura do pico de gelatinização, T_c = temperatura final de gelatinização.

A temperatura inicial de gelatinização (T_0) oscilou entre 64,42 e 72,57°C. O maior valor de T_0 foi observado no amido da cultivar BRS Campeiro e o menor valor no amido da cultivar BRS Horizonte. A temperatura de pico de gelatinização (T_p) variou entre 69,72 e 77,19°C. O amido isolado dos grãos da cultivar BRS Campeiro e BRS Pontal foram os que apresentaram a menor e a maior T_p , respectivamente. A temperatura final de gelatinização (T_c) oscilou entre 78,28 e 84,44°C, sendo o menor e o maior valor observados nos amidos isolados dos grãos das cultivares BRS Requite e BRS Pontal, respectivamente.

Yousif et al. (2003) estudaram os efeitos de três diferentes temperaturas (10, 20 e 30°C) e duas umidades relativas (40 e 65%) de armazenamento nas propriedades do amido de feijão azuki (*Vigna angularis*) armazenados por 6 meses e relataram que quanto maior a temperatura de armazenamento, maior a temperatura inicial e de pico de gelatinização. Por outro lado, Paredes-López, Maza-Calvino e González-Castañeda (1989) e Rupollo et al. (2011) não encontraram acréscimo na temperatura de gelatinização do amido com o desenvolvimento do defeito HTC.

De acordo com os resultados da tab. 13, é possível verificar pequeno acréscimo na temperatura inicial de gelatinização dos amidos aos 12 meses de armazenamento comparados ao tempo inicial, com exceção do amido isolado dos grãos das cultivares Pérola e Grafite. Não foi observado comportamento similar entre os amidos isolados dos grãos armazenados por 12 meses para os parâmetros T_p e T_c (tab. 13), os quais aumentaram para algumas cultivares e diminuíram para outras. Enquanto a temperatura de pico de gelatinização (T_p) fornece uma medida da qualidade ou perfeição de cristalito (possivelmente incluindo o comprimento das ligações duplas-hélices), a entalpia de gelatinização (ΔH) é considerada como um indicativo da perda da organização molecular ou do rompimento das pontes de hidrogênio no interior do grânulo (ALVANI et al., 2011). A entalpia de gelatinização (ΔH) dos amidos aumentou com o armazenamento, com exceção do amido isolado dos grãos da cultivar BRS Grafite (tab. 13). Resultado similar foi observado por Rupollo et al. (2011), os quais verificaram aumento na entalpia de gelatinização do amido isolado de grãos de feijão carioca, cv. Pérola, com o armazenamento.

De acordo com Hoover et al. (2010) e Noda et al. (1996) as temperaturas de transição da gelatinização do amido (T_o , T_p , e T_c) e a entalpia de gelatinização (ΔH) são influenciadas pela arquitetura molecular da região cristalina, que corresponde a distribuição das cadeias curtas de amilopectina (grau de polimerização de 6 a 11) e não pela proporção da região cristalina, a qual corresponde a proporção de amilose e amilopectina.

A temperatura inicial de gelatinização (T_o) apresentou correlação negativa com o poder de inchamento do amido ($p < 0,01$, $r = -0,60$), conforme apresentado na Fig. 16. Logo, é possível inferir que o início do processo de gelatinização está associado com a facilidade de absorção de água do grânulo de amido.

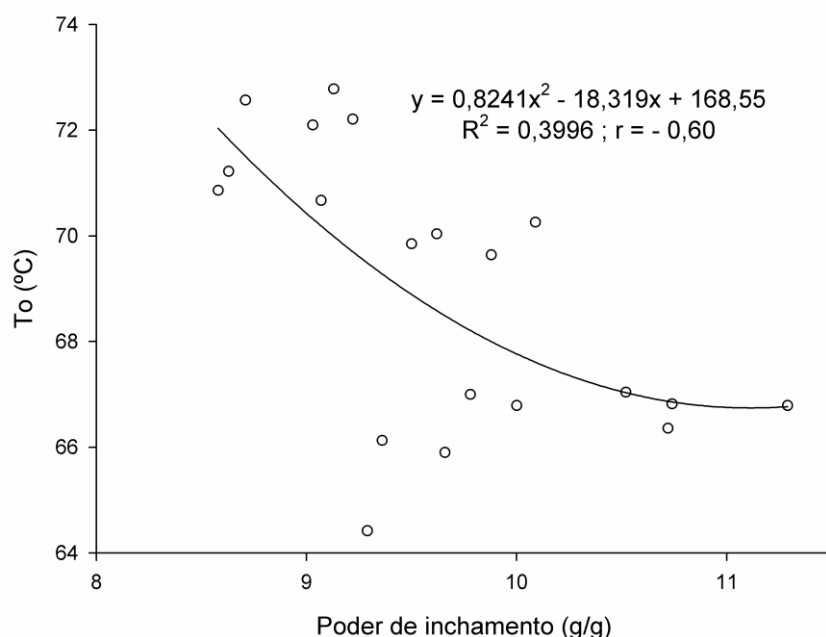


Figura 16 – Correlação de Pearson ($p < 0,01$) entre a temperatura inicial de gelatinização (T_o) e o poder de inchamento do amido ($n=20$).

Na tab. 14 é apresentada a temperatura de pasta da análise realizada em analisador rápido de viscosidade (RVA) dos amidos isolados dos grãos de cultivares de feijão carioca e de feijão preto, antes e após o armazenamento por 12 meses. O analisador rápido de viscosidade é um instrumento preciso para a mensuração das propriedades de pasta do amido durante o processo de

gelatinização e para relacionar a funcionalidade do amido às propriedades estruturais (BLAZEK; COPELAND, 2008).

Tabela 14 – Temperatura de pasta (°C) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.

Cultivares	Temperatura de pasta (°C)	
	Inicial	12 meses
<i>Feijão Carioca</i>		
BRS Estilo	73,40±0,05 dA*	74,18±0,82 defA
BRS Horizonte	78,15±0,05 aA	78,00±0,48 aA
Pérola	77,47±0,07 abA	76,67±0,78 abcA
BRS Pontal	76,62±0,07 bA	77,45±0,93 abA
BRS Requinte	73,85±0,35 dA	73,42±0,08 efA
<i>Feijão Preto</i>		
BRS Campeiro	72,22±0,37 eA	72,62±0,82 fA
BRS Esplendor	77,40±0,80 abA	77,72±0,50 aA
BRS Grafite	75,10±0,00 cA	75,10±0,00 cdeA
BRS Supremo	75,07±0,02 cA	75,62±0,50 bcdA
BRS Valente	76,60±0,10 bA	76,93±0,85 abcA

* Médias aritméticas simples, de três determinações $\pm$ desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$).

A temperatura de pasta diferiu entre os amidos das diferentes cultivares (tab. 14). De acordo com Sandhu e Singh (2007), a temperatura de pasta é aquela em que inicia o aumento na viscosidade do amido. A maior temperatura de pasta inicial foi observada nos amidos isolados dos grãos das cultivares BRS Horizonte, Pérola e BRS Esplendor. A menor temperatura para a formação de pasta foi observada no amido isolado dos grãos da cultivar BRS Campeiro. De acordo com Zavareze e Dias (2011), a maior temperatura de pasta indica que mais forças e ligações cruzadas estão atuando no grânulo de amido, fazendo com que seja necessário maior calor para que ocorra o rompimento destas ligações e, logo, a formação de pasta. Singh, Sandhu e Kaur (2004) caracterizaram o amido de diferentes cultivares indianas de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) e relataram que a maior temperatura de pasta de uma das cultivares (GL-769) indica que o amido apresenta maior resistência ao

inchamento e ruptura. Não houve diferença significativa na temperatura de pasta dos amidos após o armazenamento dos grãos por 12 meses (tab. 14).

A temperatura de pasta apresentou correlação positiva com a temperatura inicial de gelatinização obtida através da calorimetria diferencial de varredura ($p < 0,0001$, $r = 0,92$), conforme apresentado na Fig. 17. Resultado semelhante foi observado por Kaur et al. (2007). Por outro lado, a temperatura de pasta apresentou correlação negativa ($p < 0,05$, $r = -0,51$) com o poder de inchamento do amido (Fig. 18), estando de acordo com as observações de Kaur, Sandhu e Lim (2010) e Sandhu e Singh (2007).

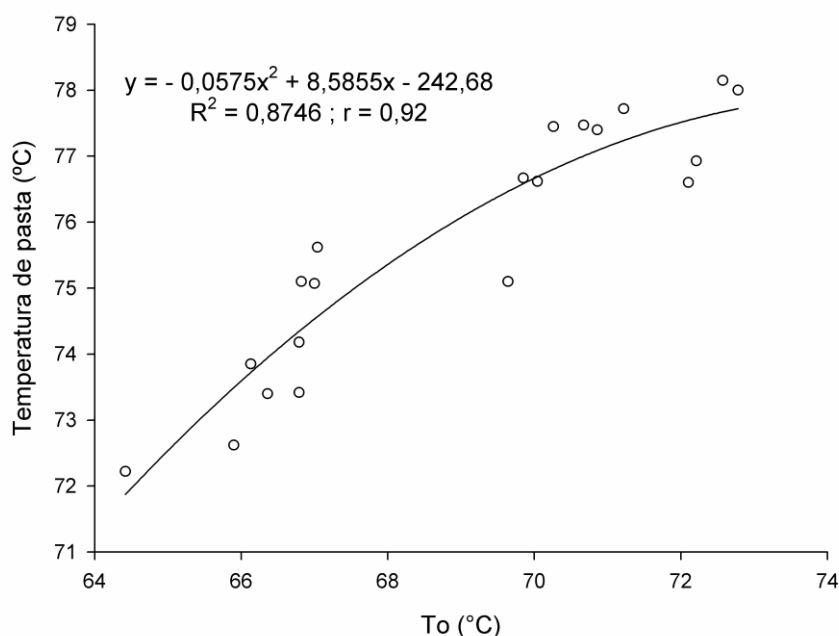


Figura 17 – Correlação de Pearson ($p < 0,0001$) entre a temperatura de pasta da análise de RVA e a temperatura inicial de gelatinização da análise de calorimetria diferencial de varredura (T_0) ($n=20$).

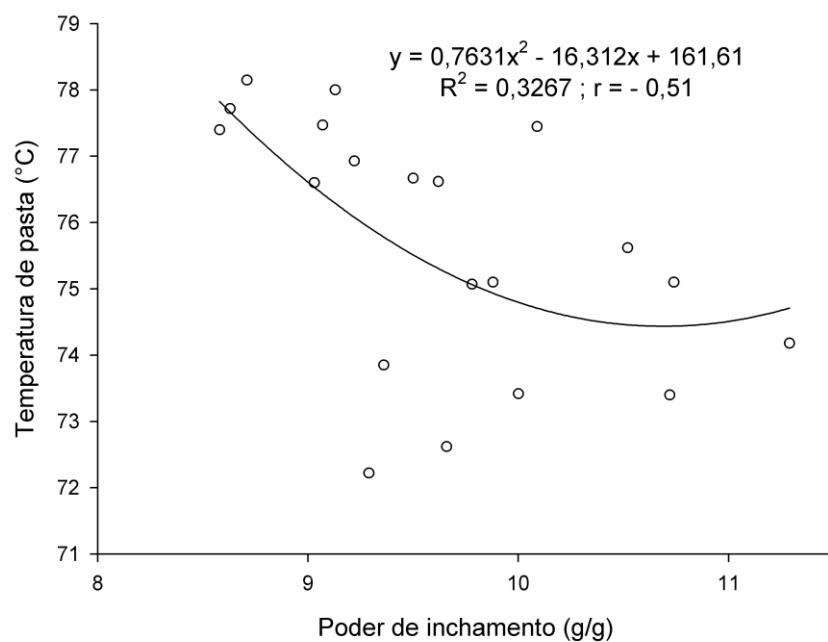


Figura 18 – Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre a temperatura de pasta da análise de RVA e o poder de inchamento do amido ($n=20$).

A viscosidade mínima, o pico de viscosidade e a viscosidade final dos amidos isolados dos grãos de feijão carioca e de feijão preto estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 15 – Viscosidade mínima (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.

Cultivares	Viscosidade mínima (RVU)	
	Inicial	12 meses
<i>Feijão Carioca</i>		
BRS Estilo	160,58±3,08 cB*	187,25±5,53 cA
BRS Horizonte	204,54±2,12 aB	210,06±2,56 abA
Pérola	179,21±2,54 bB	211,56±7,49 aA
BRS Pontal	151,91±0,16 dB	174,66±7,94 cA
BRS Requite	159,62±2,95 cB	190,58±5,45 bcA
<i>Feijão Preto</i>		
BRS Campeiro	179,62±5,29 bA	187,28±6,07 cA
BRS Esplendor	197,83±1,33 aB	215,78±6,92 aA
BRS Grafite	178,50±2,50 bA	185,16±14,71 cA
BRS Supremo	166,71±0,96 cB	179,56±1,13 cA
BRS Valente	176,00±0,67 bB	189,25±2,84 cA

* Médias aritméticas simples, de três determinações $\pm$ desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$).

Os amidos isolados dos grãos das cultivares BRS Horizonte e BRS Esplendor apresentaram a maior viscosidade mínima, enquanto o amido isolado dos grãos da cultivar BRS Pontal apresentou a menor viscosidade mínima (tab. 15). Apenas os amidos isolados dos grãos das cultivares BRS Campeiro e BRS Grafite não apresentaram aumento na viscosidade mínima com o armazenamento por 12 meses.

O pico de viscosidade oscilou entre 205,75 e 305,58 RVU (tab. 16). O maior pico de viscosidade dentre os amidos analisados antes do armazenamento foi observado na cultivar BRS Campeiro. O menor pico de viscosidade, assim como na viscosidade mínima, foi observado no amido isolado dos grãos da cultivar BRS Pontal. Houve aumento no pico de viscosidade dos amidos isolados dos grãos armazenados comparados ao tempo inicial, antes do armazenamento, com exceção dos amidos das cultivares BRS Campeiro e BRS Grafite (tab. 16).

Tabela 16 – Pico de viscosidade (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.

Cultivares	Pico de viscosidade (RVU)	
	Inicial	12 meses
<i>Feijão Carioca</i>		
BRS Estilo	234,75±1,92 efB*	298,00±4,45 abA
BRS Horizonte	263,91±2,08 bcB	293,69±4,17 abcA
Pérola	261,12±0,37 cB	299,59±7,50 abA
BRS Pontal	205,75±2,50 gB	247,39±1,40 eA
BRS Requinte	238,29±0,21 eB	277,72±1,11 cdA
<i>Feijão Preto</i>		
BRS Campeiro	305,58±4,16 aA	306,58±1,81 aA
BRS Esplendor	267,29±1,12 bB	300,67±6,74 abA
BRS Grafite	264,08±0,83 bcA	285,45±13,55 bcA
BRS Supremo	229,33±1,91 fB	264,89±3,80 dA
BRS Valente	253,87±0,04 dB	284,42±4,04 bcA

* Médias aritméticas simples, de três determinações $\pm$ desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$).

A viscosidade final, que indica a habilidade do amido para formar uma pasta viscosa, variou entre 330,37 e 374,25 RVU antes do armazenamento (tab. 17). Os amidos isolados dos grãos das cultivares BRS Horizonte, BRS Campeiro e BRS Grafite apresentaram a maior viscosidade final. Assim como nos parâmetros de viscosidade mínima e pico de viscosidade (tab. 15 e tab. 16, respectivamente), o amido da cultivar BRS Pontal foi o que apresentou o menor valor de viscosidade final (306,46 RVU).

Kaur e Singh (2007) avaliaram as propriedades de pasta de feijão HTC comparadas a de feijão novo e verificaram redução na viscosidade mínima, no pico de viscosidade e na viscosidade final. No entanto, os autores utilizaram uma modificação química para simular o defeito HTC.

Tabela 17 – Viscosidade final (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.

Cultivares	Viscosidade final (RVU)	
	Inicial	12 meses
<i>Feijão Carioca</i>		
BRS Estilo	358,45±3,12 bcdB*	406,11±7,04 aA
BRS Horizonte	374,25±2,08 aB	409,47±11,06 aA
Pérola	345,00±2,50 efB	401,72±4,73 abA
BRS Pontal	306,46±1,29 hB	348,56±7,40 dA
BRS Requinte	330,37±2,62 gB	379,28±3,27 bcA
<i>Feijão Preto</i>		
BRS Campeiro	362,16±11,91 abcA	378,03±9,74 bcA
BRS Esplendor	351,08±3,00 cdeB	407,03±10,03 aA
BRS Grafite	368,77±1,27 abA	376,41±15,54 cA
BRS Supremo	337,91±1,58 fgA	345,25±6,25 dA
BRS Valente	347,54±0,29 defB	368,05±3,06 cdA

* Médias aritméticas simples, de três determinações ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$).

A viscosidade mínima, o pico de viscosidade e a viscosidade final não apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) com a temperatura de pasta e com a entalpia de gelatinização (ΔH) (dados não apresentados). Dessa forma é difícil atribuir o aumento na viscosidade ao fortalecimento das ligações moleculares no interior do grânulo. Beta et al. (2000) relataram correlação positiva entre o teor de compostos fenólicos e o pico de viscosidade do amido isolado de grãos de sorgo. Supõe-se, então, que a presença de compostos fenólicos complexados com o amido isolado de feijão (dados não apresentados) interferiu na organização molecular dos grânulos e, logo, aumentou a viscosidade da pasta sem interferir na temperatura de pasta, a qual é função, principalmente, da capacidade de absorção de água do grânulo.

Na tab. 18 é apresentada a quebra de viscosidade dos amidos isolados dos feijões carioca e preto, antes do armazenamento e após 12 meses de armazenamento. A quebra de viscosidade é a diferença entre o pico de viscosidade e a viscosidade mínima.

Tabela 18 – Quebra de viscosidade (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.

Cultivares	Quebra de viscosidade (RVU)	
	Inicial	12 meses
<i>Feijão Carioca</i>		
BRS Estilo	74,16±1,16 cdB*	110,41±2,83 abA
BRS Horizonte	59,37±4,20 fgB	83,66±1,71 efA
Pérola	80,40±3,65 bcB	88,03±0,92 deA
BRS Pontal	53,83±2,66 gB	72,72±8,33 fA
BRS Requinte	78,67±2,75 bcA	87,14±4,57 deA
<i>Feijão Preto</i>		
BRS Campeiro	125,95±1,12 aA	119,31±5,1 aA
BRS Esplendor	69,46±0,21 deB	84,88±1,66 deA
BRS Grafite	85,58±3,33 bB	100,28±2,77 bcA
BRS Supremo	62,62±0,95 efB	85,33±2,87 deA
BRS Valente	77,87±0,70 cB	95,17±2,05 cdA

* Médias aritméticas simples, de três determinações ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$).

A quebra de viscosidade variou de 53,33 a 125,95 RVU (tab. 18). A maior quebra de viscosidade foi apresentada pela cultivar BRS Campeiro e a menor quebra foi apresentada pelos amidos das cultivares BRS Horizonte e BRS Pontal. Singh, Inouchi e Nishinari (2006) observaram a maior quebra de viscosidade em amidos que apresentaram maior cristalinidade relativa e menor conteúdo de amilose.

A quebra de viscosidade aumentou nos amidos isolados dos grãos armazenados por 12 meses comparados aos amidos isolados dos grãos antes do armazenamento, com exceção das cultivares BRS Requinte e BRS Campeiro. Foi observada correlação negativa entre a quebra de viscosidade e os parâmetros temperatura inicial de gelatinização (T_0) ($p < 0,05$, $r = -0,50$), temperatura de pico de gelatinização (T_p) ($p < 0,05$, $r = -0,45$) e temperatura final de gelatinização (T_c) ($p < 0,05$, $r = -0,43$) (dados não apresentados). Resultados similares foram observados por Sandhu e Singh (2007). A quebra de viscosidade também apresentou correlação negativa com a temperatura de

pasta (Fig. 19). Resultados semelhantes foram encontrados por Kaur, Sandhu e Lim (2010) e Sandhu e Singh (2007).

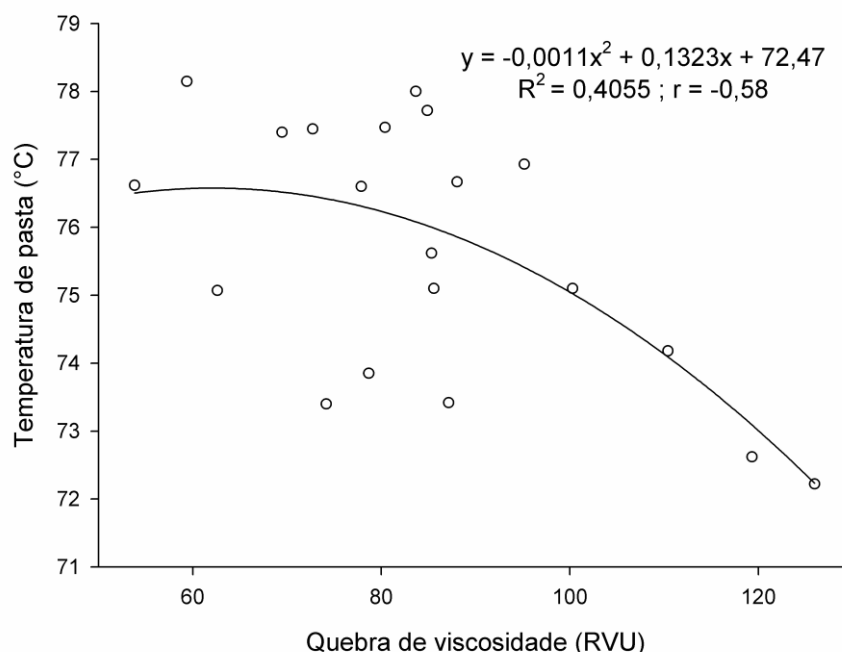


Figura 19 – Correlação de Pearson ($p < 0,01$) entre a quebra de viscosidade e a temperatura de pasta ($n=20$).

A retrogradação dos amidos isolados dos feijões dos grupos carioca e preto está apresentada na tab. 19. Houve variação significativa na retrogradação dos amidos das cultivares estudadas. No tempo inicial, antes do armazenamento, a retrogradação variou entre 153,25 e 197,87 RVU. A maior retrogradação foi observada nos amidos isolados dos grãos das cultivares BRS Estilo e BRS Grafite. A menor retrogradação foi observada nos amidos isolados dos grãos das cultivares BRS Pontal e BRS Esplendor.

Houve aumento na retrogradação dos amidos das cultivares BRS Estilo, BRS Horizonte, Pérola e BRS requinte, do grupo carioca, e somente da cultivar BRS Esplendor, dentre as cultivares estudadas do grupo comercial preto (tab. 19). De acordo com Hughes et al. (2009), maiores valores de quebra de viscosidade e de retrogradação refletem o maior poder de inchamento dos grânulos de amido e a rápida agregação das cadeias de amilose lixiviadas, respectivamente. Segundo Lan et al. (2008), a capacidade de retrogradação é influenciada pela quantidade de amilose lixiviada, pelo tamanho dos grânulos

de amido e pela presença de grânulos inchados desfragmentados e rígidos na rede de amilose lixiviada.

Tabela 19 – Retrogradação (RVU) dos amidos isolados dos grãos de diferentes cultivares de feijão carioca e de feijão preto armazenados por 12 meses.

Cultivares	Retrogradação (RVU)	
	Inicial	12 meses
<i>Feijão Carioca</i>		
BRS Estilo	197,87±0,04 aB*	218,86±1,71 aA
BRS Horizonte	169,71±0,04 cB	199,42±8,77 abA
Pérola	165,79±0,04 cB	190,17±5,77 bcA
BRS Pontal	154,54±1,46 dA	173,89±12,46 cdA
BRS Requinte	170,75±0,33 cB	188,70±5,45 bcdA
<i>Feijão Preto</i>		
BRS Campeiro	182,54±6,62 bA	190,75±13,96 bcA
BRS Esplendor	153,25±4,33 dB	191,25±5,39 bcA
BRS Grafite	190,50±4,00 abA	180,03±10,64 bcdA
BRS Supremo	171,20±0,62 cA	165,69±5,13 dA
BRS Valente	171,54±0,37 cA	178,80±3,66 bcdA

* Médias aritméticas simples, de três determinações ± desvio padrão, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância (p < 0,05).

Foi observada correlação positiva (p<0,05) entre o poder de inchamento e a retrogradação do amido (Fig. 20). Dessa forma, com base nos resultados observados na tab. 19 e na Fig. 20 e conforme relatos da literatura, as diferenças na retrogradação do amido entre as cultivares e entre o amido isolado dos grãos armazenados e não armazenados (inicial) ocorreram, possivelmente, em virtude da capacidade de hidratação dos grânulos de amido, das diferenças no tamanho dos grânulos entre as cultivares e em função da quantidade de amilose lixiviada.

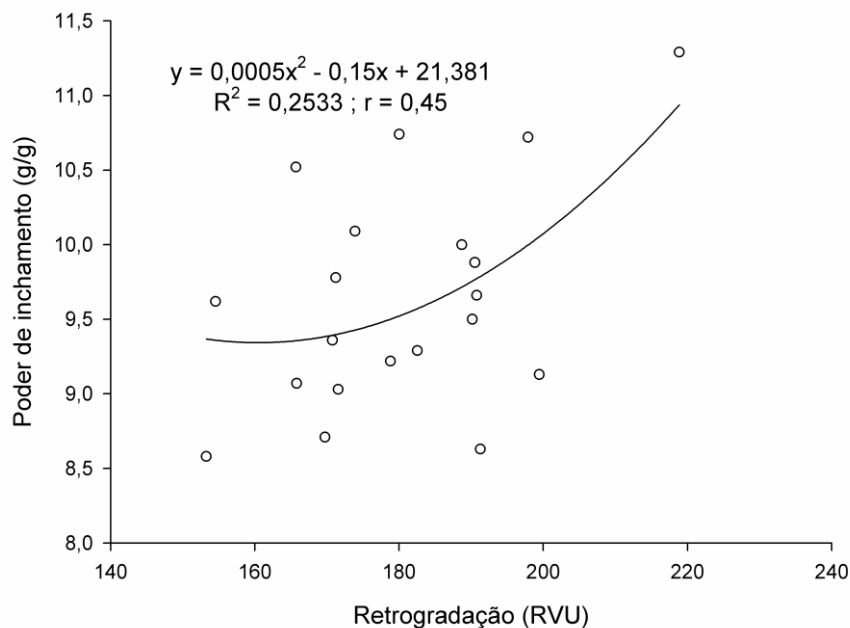


Figura 20 – Correlação de Pearson entre a retrogradação do amido e o poder de inchamento ($p < 0,05$, $n = 20$).

Em relação à participação do amido no endurecimento dos grãos de feijão armazenados, não houve correlação significativa ($p < 0,05$) entre os parâmetros físico-químicos, térmicos e de pasta do amido com o tempo de cocção e o coeficiente de hidratação dos grãos (tab. 20). Isto indica que, embora ocorram algumas alterações nas propriedades do amido de feijão com o armazenamento, estas não estão intimamente associadas ao acréscimo no tempo de cocção e a redução do coeficiente de hidratação, considerando as condições de armazenamento do estudo ($25 \pm 1^\circ\text{C}$ por 12 meses).

Tabela 20 – Coeficientes da correlação de Pearson entre os parâmetros tecnológicos tempo de cocção e coeficiente de hidratação dos grãos com os parâmetros físico-químicos, térmicos e viscoamilográficos do amido isolado dos grãos de feijão (n=20).

Parâmetros físico-químicos, térmicos e viscoamilográficos do amido	Tempo de cocção dos grãos	Coeficiente de hidratação dos grãos
Poder de inchamento	-0,29	-0,03
Solubilidade	0,21	0,04
To*	-0,03	0,14
Tp*	-0,22	0,04
Tc*	-0,34	0,13
Entalpia de gelatinização (ΔH)	0,29	-0,25
Cristalinidade relativa	0,03	0,09
Temperatura de pasta	-0,04	0,24
Viscosidade mínima	0,03	0,15
Viscosidade final	-0,15	0,09
Pico de viscosidade	0,10	-0,13
Quebra	0,12	-0,34
Retrogradação	-0,29	-0,01

* To = temperatura inicial de gelatinização, Tp = temperatura do pico de gelatinização, Tc = temperatura final de gelatinização.

5. CONCLUSÕES

As cultivares BRS Horizonte e BRS Pontal, do grupo carioca, e a cultivar BRS Valente, do grupo preto, apresentam menor acréscimo no tempo de cocção após 12 meses de armazenamento a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Os grãos da cultivar BRS Requite apresentam retardamento do escurecimento.

O aumento no tempo de cocção dos grãos com o armazenamento não está correlacionado significativamente com as variáveis estudadas.

As propriedades do amido diferem entre as cultivares. O poder de inchamento, a entalpia de gelatinização, as viscosidades mínima e final, o pico de viscosidade, a quebra de viscosidade e a retrogradação aumentam com o tempo de armazenamento dos grãos, com algumas exceções dentre as cultivares.

O poder de inchamento, a solubilidade, a temperatura de gelatinização, a entalpia de gelatinização, a cristalinidade relativa e as propriedades viscoamilográficas não apresentam correlação significativa ($p < 0,05$) com o tempo de cocção dos grãos e com o coeficiente de hidratação e, dessa forma, é possível inferir que as alterações nas propriedades do amido de feijão não estão intimamente associadas com o aparecimento do defeito HTC.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, J. M.; STANLEY, D. W. A review of textural defects in cooked reconstituted legumes: The influence of storage and processing. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 9, n. 4, p. 277-323, 1985.

ALVANI, K.; QI, X.; TESTER, R.; SNAPE, C. E. Physico-chemical properties of potato starches. **Food Chemistry**, v. 125, p. 958-965, 2011.

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.

ASP, N. G.; JOHANSSON, C. G.; HALLMER, H.; SILJESTROM, M. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 476–482, 1983.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Burundi. **Food Chemistry**, v. 47, p. 15-67, 1993.

BENINGER, C. W.; HOSFIELD, G. L. Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions, and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 7879–7883, 2003.

BERRIOS, J. J.; SWANSON, B. G.; CHEONG, W. A.. Physico-chemical characterization of stored black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Research International**, v. 32, n. 10, p. 669-676, 1999.

BERRIOS, J. J.; SWANSON, B. G.; CHEONG, W. A. Structural characteristics of stored black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Scanning Microscopies**, v. 20, p. 410-417, 1998.

BETA, T.; CORKE, H.; ROONEY, L. W.; TAYLOR, J. R. N. Starch properties as affected by sorghum grain chemistry. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 245–251, 2000.

BLACK, R. G.; BROUWER, J. B. Effect of storage conditions over 12 months on the colour of faba beans (*Vicia faba* L.). In: Opportunities for high quality, healthy and added value crops to meet European demands. Proceedings of the 3rd European conference on grain legumes, Valladolid, Spain 14-19 Nov, 1998. Paris, France: European Association for Grain Legume Research.

BLAZEK, J.; COPELAND, L. Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, p. 380-387, 2008.

BORS, W.; HELLER, W.; MICHEL, C.; STETTMAIER, K. Flavonoids and polyphenols: chemistry and biology. In E. Cardenas, & L. Packer (Eds.), Handbook of antioxidants (pp. 409–466), 1996. New York: Marcel Dekker.

BRACKMANN, A.; NEUWALD, D. A.; RIBEIRO, N. D.; MEDEIROS, E. A. A. Condição de armazenamento de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca FT Bonito. **Revista Brasileira de Armazenamento**. n. 27 p. 16-20, 2002.

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.

CARBONELL, S. A. M.; CARVALHO, C. R. L.; PEREIRA, V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.

CHERYAN, M. Phytic acid interactions in food systems. **Crit Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 13, p. 297–335, 1980.

COELHO, C. M. M.; BELLATO, C. M.; SANTOS, J. C. P.; ORTEGA, E. M. M.; TSAI, S. M. Effect of phytate and storage conditions on the development of the 'hard-to-cook' phenomenon in common beans. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 7, p. 1237–1243, 2007.

COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, v. 227, p. 103–112, 1992.

DEL VALLE, J. M.; STANLEY, D. W. Reversible and irreversible components of bean hardening. **Food Research International**, v. 28, p. 455–463, 1995.

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, 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.

DURIGAN, J. F.; SGARBIERI, V. C.; BULISANI, E. A. Protein value of dry bean cultivars; factors interfering with biological utilization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.2, n.35, p.694-698, 1987.

ELIASSON, A. C. **Starch in food – Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC,. 605p, 2004.

EL-REFAI, A. A.; HARRAS, H. M.; EL-NEMR, K. M.; NOAMAN, M. A. Chemical and technological Studies on faba bean seeds. I. Effect of storage on some physical and chemical properties. **Food Chemistry**, v. 29, p. 27-39, 1988.

EMBRAPA. Sistemas de Produção, Ed. 2, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>>. Acesso em 26 de abril de 2012.

FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. et al. BRS Requite: nova cultivar de feijoeiro comum de tipo de grão carioca com retardamento do escurecimento do grão. **Comunicado Técnico Embrapa**, v. 65, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Crops primary equivalent: dry beans supply rank in the world, by quantity, 2007. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/609/default.aspx#ancor>. Acesso em 25 de abril de 2012.

GARCIA, E.; FILISETTI, T. M. C. C.; UDAETA, J. E. M.; LAJOLO, J. M. Hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*): involvement of phenolic compounds and pectates. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 46, p. 2110-2116, 1998.

GARCIA, E.; LAJOLO, F. M. Starch alterations in hardto-cook beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 42, p. 612-615, 1994.

HENTGES, D. L.; WEAVER, C. M.; NIELSEN, S. S. Changes of selected physical and chemical components in the development of the hard-to-cook bean defect. **Journal Food Science**, v. 56, n. 2, p. 436-442, 1991.

HINCKS, M. J.; STANLEY, D. W. Multiple mechanisms of bean hardening. **Food Technology**, v. 21, p. 731–750, 1986.

HINCKS, M. J.; STANLEY, D. W. Lignification: evidence for a role in hard-to-cook beans. **Journal of Food Biochemistry**, v. 11, n. 1, p. 41-58, 1987.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, p. 253–267. 2001.

HOOVER, R.; RATNAYAKE, W. S. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. **Food Chemistry**, v. 78, n. 4, p. 489–498, 2002.

HOOVER, R.; SOSULSKI, F. W. Studies on the functional characteristics and digestibility of starches from *Phaseolus vulgaris* biotypes. **Starch**, v. 37, p. 181–191, 1985.

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.

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, p. 399–413, 2010.

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.

HUGHES, P. A.; SANDSTED, R. F. Effect of temperature, relative humidity and light on the color of 'California Light Red Kidney' bean seeds during storage. **Hortscience**, v. 10, p. 421–423, 1975.

IADEROZA, M.; SALES, A. M.; BALDINI, V. L. S. [Polyphenoloxidase activity and changes in colour and condensed tannin contents in nine bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars during storage]. Atividade de polifenoloxidase e alterações da cor e dos teores de taninos condensados em novas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante o armazenamento. Department of Grain Science and Industry, Kansas State University, 1982. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, p.154-164, 1989.

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.

JACKSON, G. M.; VARRIANO-MARTSON, E. M. Hardened phenomenon in beans: effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. **Journal of Food Science**, v.46, p. 799–803, 1981.

KAUR, M.; SANDHU, K. S.; LIM, S. T. Microstructure, physicochemical properties and in vitro digestibility of starches from different Indian lentil (*Lens cultivars*) cultivars. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, p. 349–355, 2010.

KAUR, M.; SINGH, N. A. Comparison between the properties of seed, starch, flour and protein separated from chemically hardened and conventional kidney beans. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87 p. 729-737, 2007.

KAUR, A.; SINGH, N.; EZEKIEL, R.; GURAYA, H. S. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. **Food Chemistry**, v. 101, p. 643-651, 2007.

KAUR, S.; SINGH, N.; SODHI, N. S.; RANA, J. C. Diversity in properties of seed and flour of kidney bean germplasm. **Food Chemistry**, v. 117, p. 282-289, 2009.

LAN, H.; HOOVER, R.; JAYAKODY, L.; LIU, Q.; DONNER, E.; BAGA, M. et al. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat starches. **Food Chemistry**, v. 111, p. 663–675, 2008.

LEACH, H. W.; MCCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, p. 534–544, 1959.

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. Cellular, biological, and physicochemical basis for the hard-to-cook defect in legume seeds. **Critical Review Food Science Nutrition**, v. 35, n. 4, p. 263-298, 1995.

LIU, K.; MCWATTERS, K. H.; PHILLIPS, R. D. Protein insolubilization and thermal destabilization during storage as related to hard-to-cook defect in

cowpeas. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 40, p. 2483-2487, 1992.

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

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.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; ESTEBAN, R. M.; PEREZ, P.; MAINA, G.; WALDRON, K. W. Changes in physicochemical properties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during long-term storage. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 45, p. 3223-3227, 1997.

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

MOHAN, R. J.; SANGEETHA, A.; NARASIMHA, H. V.; TIWARI, B. K. Post-harvest technology of pulses. In: *Pulse foods: processing, quality and technological applications*. Academic press, 2011, p. 171-192.

NASAR-ABBAS, S. M.; SIDDIQUE, K. H. M.; PLUMMER, J. A.; WHITE, P. F.; DODS, K.; D'ANTUONO, M. Faba bean (*Vicia faba* L.) seeds darken rapidly and phenolic content falls when stored at higher temperature, moisture and light intensity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 42, n. 10, p. 1703-1711, 2009.

NASSAR-ABBAS, S. M.; PLUMMER, J. A.; SIDDIQUE, K. H. M.; WHITE, P. F.; 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 p. 113–118, 2008a.

NASAR-ABBAS, S. M.; PLUMMER, J. A.; SIDDIQUE, K. H. M.; WHITE, P.; HARRIS, D.; DODS, K. Cooking quality of faba bean after storage at high

temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. **LWT – Food Science and Technology**, v. 41 p. 1260–1267, 2008b.

NEUWALD, D. A.; BRACKMANN, A.; MEDEIROS, E. A. Feijão cv. FT Bonito armazenado em atmosfera inertizada e controlada. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 14, 1999, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria : UFSM, p.670, 1999.

NODA, T.; TAKAHATA, Y.; SATO, T.; IKOMA, H.; MOCHIDA, H. Physicochemical properties of starches from purple and orange fleshed sweet potato roots at two levels of fertilizer. **Starch**, v. 48, p. 395–399, 1996.

OATES, C. G. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Science & Technology**, v.8, p.375-382, 1997.

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.

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

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, p. 54–64, 2011.

PAREDES-LÓPEZ, O.; MAZA-CALVIÑO, E. C.; GONZÁLEZ-CASTAÑEDA, J. Effect of the hardening phenomenon on some physicochemical properties of common bean. **Food Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 225-236, 1989.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; CRUZ, G. A. D. R.; MENDES, F. Q.; DE REZENDE, S. T.; MOREIRA, M. A. Composição físico-química de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 2, p. 157-162, 2005.

PUJÓLA, M.; FARRERAS, A.; CASAÑOS, F. Protein and starch content of raw, soaked and cooked beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 102, n. 4, p. 1034–1041, 2007.

RABEK, J. F. Applications of wide-angle X-ray diffraction (WAXD) to the study of the structure of polymers, **In: Experimental Methods in Polymer Chemistry** (1^o ed., pp. 505-508), Chichester: Wiley-Interscience, 1980.

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL, A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 200-213, 2008.

REDDY, N. R.; PIERSON, M. D.; SATHE, S. K.; SALUNKHE, D. K. Dry bean tannins: a review of nutritional implications. **Journal of the America Oil Chemist's Society**, v. 62, p. 541–549, 1985.

REYES-MORENO, C.; PAREDES-LÓPEZ, O. Hard-to-cook phenomenon in common beans – A review. **Critical Review Food Science Nutrition**, v. 33, n. 3, p. 227-286, 1993.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; GARCIA, D. C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 209-215, 2005.

RUPOLLO, Galileu. **Efeitos das condições e do tempo de armazenamento na qualidade de grãos de feijão carioca**. 2011. 79f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial)- Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

RUPOLLO, G.; VANIER, N. L.; ZAVAREZE, E. R.; de OLIVEIRA, M.; PEREIRA, J. M.; PARAGINSKI, R. T.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. Pasting, morphological, thermal and crystallinity properties of starch isolated from beans stored under different atmospheric conditions. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, p. 1403-1409, 2011.

SANDHU, K. S.; SINGH, N. Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1499–1507, 2007.

SARTORI, M. R. Technological quality of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) stored under nitrogen. Manhattan, USA, 1982. 92p. PhD. **Dissertation (Grain Science)**. - **Departament of Grain Science and Industry**, Kansas State University, 1982.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics, version 9.1**. Cary: SAS Institute, 2002.

SHIGA, T. M.; LAJOLO, F. M. Cell wall polysaccharides of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) — composition and structure. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, p. 1-12, 2006.

SHIGA, T. M.; LAJOLO, F. M.; FILISETTI, T. M. C. Changes in the cell wall polysaccharides during storage and hardening of beans. **Food Chemistry**, v. 84, p. 53-64, 2004.

SIDDIQ, M.; RAVI, R.; HARTE, J. B.; DOLAN, K. D. Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. **LWT – Food Science and Technology**, v. 43, n. 2, p. 232–237, 2010.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATI BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade protéica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 24, n. 4, p. 591-598, 2009.

SINGH, N. Functional and physicochemical properties of pulse starch. In: Pulse foods: processing, quality and technological applications. Academic press, 2011, p. 91-120.

SINGH, N. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, n.219-231, 2003.

SINGH, N.; INOUCHI, N.; NISHINARI, K. Structural, thermal and viscoelastic characteristics of starches separated from normal, sugary and waxy maize. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 923–935, 2006.

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, K. B.; WILLIAMS, P. C.; NAKOUL, H. Influence of growing season, location and planting time on some quality parameters of kabuli chickpea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 53, p. 429–434, 1990.

STANLEY, D. W. A. possible role for condensed tannins in bean hardening. **Food Research International**, v. 25, p. 187-192, 1992.

STANLEY, D. W.; AGUILERA, J. M. A review of textural defects in cooked reconstituted legumes - The influence of structure and composition. **Journal of Food Biochemistry**, v. 9, p. 277-323, 1985.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. **Cereal Chemistry**, v. 67, n. 6, p. 558–563, 1990.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch – composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 1, p. 151-165, 2004.

THARANATHAN, R. N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, p. 65-84, 2002.

TIWARI, U.; CUMMINS, E. Functional and physicochemical properties of legume fibers. In: Pulse foods: processing, quality and technological applications. Academic press, 2011, p. 121-156

WALKER, C. E.; ROSS, A. S.; WRIGLEY, C. W.; MCMASTER G.J. Accelerated starch-paste characterization with the Rapid Visco-Analyzer. **Cereal Foods World**, v. 33, p. 491–494, 1988.

WANG, N.; HATCHER, D. W.; WARKENTIN, T. D.; TOEWS, R. Effect of cultivar and environment on physicochemical and cooking characteristics of field pea (*Pisum sativum*). **Food Chemistry**, v. 118, p. 109–115, 2010.

WANG, N.; DAUN, J. K.; MALCOLMSON, L. J. Relationship between physicochemical and cooking properties, and effects of cooking on anti-nutrients, of yellow field peas (*Pisum sativum*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, p. 1228–1237, 2003.

WILLIAMS, P. C.; NAKOUL, H.; SINGH, K. B. Relationship between cooking time and some physical characteristics in chickpea (*Cicer arietinum*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 34, p. 492–496, 1983.

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.

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.

YOUSIF, A. M.; DEETH, H. C.; CAFFIN, N. A. Effect of storage time and conditions on the hardness and cooking quality of adzuki (*Vigna angularis*). **LWT – Food Science and Technology**, v. 35, n. 4, p. 338-343, 2002.

YOUSIF, A. M.; KATO, J.; DEETH, H. C. Effect of storage on the biochemical structure and processing quality of adzuki bean (*Vigna angularis*). **Food Rev. International**, v. 23, p. 1-33, 2007.

ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, p. 317–328, 2011.