

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ANA CLAUDIA ARIATI**

**AVALIAÇÃO DO ESCURECIMENTO DO TEGUMENTO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO  
CARIOCA DURANTE O ARMAZENAMENTO**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2018**

ANA CLAUDIA ARIATI

**AVALIAÇÃO DO ESCURECIMENTO DO TEGUMENTO DE  
GENÓTIPOS DE FEIJÃO CARIOCA DURANTE O ARMAZENAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Taciane Finatto

PATO BRANCO

2018

A696a

**Ariati, Ana Claudia.**

**Avaliação do escurecimento do tegumento de genótipos de feijão carioca durante o armazenamento / Ana Claudia Ariati. – 2018.**

**74 f. : il. ; 30 cm.**

**Orientadora: Profa. Dra . Taciane Finatto**

**Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR 2018.**

**Bibliografia: f. 62– 70**

**1. Feijão – Melhoramento genético. 2. Água – Absorção e adsorção. 3. Grãos – Armazenamento. I. Finatto, Taciane, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III Título.**

**CDD: 22. ed. 630**

Ficha Catalográfica elaborada por:  
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630  
Biblioteca da UTFPR Câmpus Pato Branco



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Pato Branco  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em Agronomia**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da Dissertação nº A696a**

### **AValiação DO ESCURECIMENTO DO TEGUMENTO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO CARIOCA DURANTE O ARMAZENAMENTO**

por

**ANA CLAUDIA ARIATI**

Dissertação apresentada às 08 horas 30 min. do dia 14 de maio de 2018 como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Luciana Luiza Pelegrini**  
Faculdade Campo Real – Guarapuava – PR

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Silvia Leticia Zanmaria**  
IFPR – Palmas - PR

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Tathiana Elisa Masetto**  
UFGD – Dourados - MS

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Taciane Finatto**  
UTFPR - Pato Branco - PR  
Orientadora

**Prof. Dr. Moeses Andriago Danner**  
Coordenador do PPGAG

“O Termo de Aprovação, devidamente assinado, encontra-se arquivado na Coordenação do PPGAG, conforme Norma aprovada pelo Colegiado do Programa.”

Dedico, com grande carinho, aos meus pais Izidoro Ariati e Ivanir Ariati e ao meu marido Daniel Benoski, pelo apoio, incentivo e orações.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente a Deus pelo dom da vida e por iluminar e abençoar meu caminho em todos os momentos.

Aos meu pais, Ivanir e Izidoro por todo amor, apoio, incentivo e pelo exemplo de vida, força e verdade. Agradeço também aos meus irmãos pelo apoio na condução de experimento e pelas palavras de incentivo e motivação.

Agradeço ao meu marido Daniel, pelo apoio em todas as etapas, pela paciência, atenção e compreensão para superar as etapas difíceis e comemorar os momentos de alegria.

De forma especial, agradeço a professora Dr<sup>a</sup> Taciane Finatto pela orientação, apoio, dedicação, pelo valioso conhecimento transmitido e principalmente pelo seu jeito sábio e humilde de resolver os obstáculos enfrentados e principalmente pela amizade e apoio nos momentos mais difíceis.

Ao Seedtes Laboratório e Análise de Sementes, em especial a pessoa do Elias Salvalaggio, pelo apoio, incentivo e entendimento durante todo este período.

A equipe de trabalho “Escurecimento do feijão”, pela disponibilidade de estar presentes em todos os momentos, pelo trabalho, amizade e companheirismo durante o período de condução do experimento e execução das análises.

Agradeço a todos os colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal e Biologia Molecular que tiveram valiosa contribuição na realização deste trabalho e aos professores e funcionários da UTFPR, em especial o Sr. Otávio Semler, pelo apoio na condução dos experimentos, atenção e disponibilidade em todos os momentos.

Muito Obrigada!

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”  
(Theodore Roosevelt).

## RESUMO

ARIATI, Ana Claudia. Avaliação do escurecimento do tegumento de genótipos de feijão carioca durante o armazenamento. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie de grande importância nutricional e econômica. Os genótipos do grupo carioca variam em relação à velocidade de escurecimento do tegumento, sendo um fator determinante para a aceitabilidade dos grãos pelo mercado consumidor. O objetivo deste trabalho foi caracterizar genótipos de feijão carioca durante 120 dias de armazenamento, sob condições de envelhecimento acelerado. O experimento foi conduzido na área experimental da UTFPR – Pato Branco, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições e dez genótipos: IPR Curió, BRS Estilo, IAC Imperador, BRSMG Madrepérola, IAC Milênio, BRS Requite, ANFc 9, TAA Dama, Pérola e IPR Tangará. Após maturidade fisiológica as parcelas foram arrancadas, trilhadas, secas e limpas, sendo armazenadas em condição de envelhecimento acelerado, com temperatura de 40°C ±3 e umidade de 75% ±3. Logo após a colheita e aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias de armazenamento, os grãos foram avaliados quanto à coloração do tegumento em sistema CIELab, com os valores de luminosidade L\*, cromaticidades a\* e b\*, diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) e índice de escurecimento (IE), capacidade de absorção de água durante doze horas de embebição, massa de mil grãos (MMG) e quantificação de proteínas solúveis totais presente no tegumento dos grãos. Adicionalmente, foi realizada a construção de um modelo de predição proteica do tegumento para o feijão carioca, utilizando duas granulometrias distintas: farelo e farinha, utilizando o NIRS (*Near Infrared Spectroscopy*). A preparação das amostras para o NIRS constituiu da trituração do grão inteiro em farinha e farelo. Para as amostras foram utilizados dois métodos de predição, o *Cross Validation* e o *Test Set* para comparação dos dois modelos e avaliação da melhor predição dos teores de proteína. Todos os genótipos avaliados são suscetíveis ao escurecimento do tegumento, porém com diferentes intensidades. Os valores de luminosidade apresentaram decréscimos durante o armazenamento, enquanto a cromaticidade a\* e índice de escurecimento aumentaram e a cromaticidade b\* diminuiu para os genótipos com valores inferiores de luminosidade. A percentagem de absorção de água pelos grãos durante o armazenamento apresentou decréscimos para a maior parte dos genótipos avaliados. Os caracteres cromaticidade a\* e b\* e a capacidade de absorção de água foram os que mais contribuíram para a divergência entre os genótipos após o armazenamento, porém nem sempre os genótipos que apresentaram maior intensidade de escurecimento foram os com menor capacidade de absorção de água. Após 120 dias de armazenamento, BRSMG Madrepérola apresentou o menor teor de ABS, e valor inferior de cromaticidade a\* e superior de b\*, TAA Dama apresentou valores elevados da cromaticidade b\*. BRS Estilo e IAC Milênio apresentaram maior teor de ABS. Para a construção do modelo de predição, a granulometria denominada como farinha foi mais eficiente para a construção de algoritmos de predição, por gerar espectros mais homogêneos, sendo que o modelo de predição que apresentou melhores índices foi o *Test Set*.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L.. Absorção de água. Cor. Predição.



## ABSTRACT

ARIATI, Ana Claudia. Evaluation of the seed coat darkening of carioca bean genotypes during storage. 71 f. Dissertation (Master's degree in Agronomy)– Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2018.

The Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a species of great nutritional and economic importance. The genotypes of the carioca group vary in relation to integument darkening speed, which is a determinant factor in their acceptability by the consumer market. The objective of this work was to characterize carioca-bean genotypes during a 120 day storage period under accelerated aging conditions. The experiment was conducted in the experimental area of UTFPR - Pato Branco, in a randomized block design, with four replicates and ten genotypes: IPR Curió, BRS Estilo, IAC Emperor, BRSMG Madrepérola, IAC Milênio, BRS Requite, ANFc 9, TAA Dama, Pearl and IPR Tangará. After physiological maturity the plots were plucked, trodden, dried and cleaned, then stored under accelerated aging conditions, at a temperature of  $40^{\circ}\text{C} \pm 3$  and a relative humidity of  $75\% \pm 3$ . Soon after the harvest and at 15, 30, 60, 90 and 120 days of storage, grain integument color was evaluated using the CIELab system, while the values for luminosity  $L^*$ , chromaticity  $a^*$  and  $b^*$ , total color difference ( $\Delta E^*$ ) and darkening index (IE), water absorption capacity during twelve hours of imbibition, mass of a thousand grains (MMG) and the total soluble proteins present in the integument of the grains were also evaluated. Additionally, a protein prediction model of carioca bean integument was constructed, using two different granulometries: bran and flour, using NIRS (Near Infrared Spectroscopy). The preparation of the samples for NIRS consisted of the crushing of the whole grain in flour and bran. For the samples, two methods of prediction, Cross Validation and Test Set, were used to compare the two models and to evaluate the best prediction of protein contents. All evaluated genotypes were susceptible to integument darkening, but to different intensities. The values of luminosity presented decreases during storage, whereas the chromaticity  $a^*$  and darkening index increased and the chromaticity  $b^*$  decreased for the genotypes with lower luminosity values. The percentage of water uptake by the grains during the storage presented decreases for most of the evaluated genotypes. The chromaticity  $a^*$  and  $b^*$ , and water absorption capacity were the main contributors to the divergence between genotypes after storage. However, the genotypes with the highest darkening intensity were not always the ones with the lowest water absorption capacity. After 120 days of storage, BRSMG Madrepérola had the lowest ABS content, a lower chromaticity  $a^*$  value and higher chromaticity  $b^*$  value, while TAA Dama presented high values of  $b^*$  chromaticity. BRS Estilo and IAC Milênio had a higher ABS content. For the construction of the prediction model, the granulometry denominated as flour was more efficient for the construction of the prediction algorithms, by generating more homogeneous spectra, and the prediction model that presented the best indexes was the Test Set.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.. Absorption. Colour. Prediction.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama de Cores CIE L* a* b*. Fonte: HunterLab, 1996.....	21
Figura 2 – Genótipos de feijão e sua caracterização quanto a velocidade de escurecimento do tegumento dos grãos (conforme descritores).....	27
Figura 3 – Genótipos de feijão-carioca recém-colhidos (linha superior) e após quatro meses de armazenamento (linha inferior) sob condições de envelhecimento acelerado.....	34
Figura 4 – Curva de absorção de água (%) dos grãos de dez genótipos de feijão-carioca, grãos recém-colhidos (A) e após 120 dias de armazenamento (B) sob condições de envelhecimento acelerado.....	43
Figura 5 – Representação gráfica do conjunto total de dados da análise de Bradford utilizada para desenvolver modelos de <i>Cross Validation</i> e <i>Test Set</i> . (a) Boxplot e (b) Histograma.....	50
Figura 6 – Representação gráfica após a remoção dos <i>outliers</i> do conjunto de dados selecionada para desenvolver modelos de <i>Cross Validation</i> e <i>Test Set</i> . (a) Boxplot e (b) Histograma.....	51
Figura 7 – Espectros individuais do conjunto de dados da farinha e farelo de dez genótipos de feijão carioca com suas triplicatas.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da análise de Solo.....	28
Tabela 2 – Luminosidade L* do tegumento de dez genótipos de feijão-carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.....	37
Tabela 3 – Cromaticidades a* e b* do tegumento de dez genótipos de feijão-carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.....	40
Tabela 4 – Índice de escurecimento (IE) do tegumento de dez genótipos de feijão-carioca durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.....	41
Tabela 5 – Absorção de água dos grãos de dez genótipos de feijão-carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.....	44
Tabela 6 – Massa de mil grãos (g) de dez genótipos de feijão carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.....	46
Tabela 7 – Contribuição relativa dos caracteres para a divergência entre os genótipos de feijão ( <i>Phaseolus Vulgaris</i> L.) baseados na distância generalizada de Mahalanobis em análise de dez genótipos de feijão carioca, submetidos ao envelhecimento acelerado dos grãos.....	47
Tabela 8 – Agrupamento segundo o método de otimização de Tocher com base na distância generalizada de Mahalanobis incluindo os 10 genótipos de feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) durante 120 dias de armazenamento em condições de envelhecimento acelerado.....	48
Tabela 9 – Teor de proteínas solúveis (mg g <sup>-1</sup> ) presentes no tegumento de dez genótipos de feijão-carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.....	51
Tabela 10 – Parâmetros estatísticos que representam a qualidade preditiva do modelo desenvolvido com as metodologias <i>Cross Validation</i> e <i>Test Set</i> com as granulometrias de farelo e farinha de dez genótipos de feijão carioca e suas triplicatas (Paludo, 2018).....	54

## LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

$\Delta E^*$	Diferença total de cor
$a^*$	Cromaticidade $a^*$
ABS	Absorção de água
Al	Alumínio
$b^*$	Cromaticidade $b^*$
Bias	Valor médio do desvio
Ca	Cálcio
cfa	<i>Chartered Financial Analyst</i>
Cfa	Clima subtropical
CIE	Comission Internationale de L'Eclairage
cm	Centímetro
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
g	Grama
GL	Graus de Liberdade
H	Hidrogênio
ha	Hectare
HTC	Hard-to-cook
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	Índice de escurecimento
K	Potássio
Kcal	Quilo calorias
kDa	Quilo Dalton
Kg	Quilograma
$L^*$	Luminosidade
m	Metros
M	Molar
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Mb	Megabases
mg	Miligrama
Mg	Magnésio
MLR	Regressão linear múltipla
Mm	Milímetro
MMS	Massa de mil grãos
Mo	Matéria Orgânica
MPA	<i>Multi Purpose Analyzer</i>
MRL	Regressão Linear Múltipla
NIRS	<i>Near Infrared Spectroscopy</i>
nm	Nanômetro
Nº	Número
P	Fósforo
<i>P. vulgaris</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
P<	Probabilidade de significância menor que
pH	Potencia hidrogeniônico
PLS	Mínimos quadrados parciais

POD	Peroxidase
PPO	Polifenoloxidase
PR	Paraná
PRESS	Soma de tempo residual preditiva dos quadrados
QM	Quadrado Médio
R	Rank
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
Res	Somatória quadrática do residual
RMSECV	Erro quadrático médio da validação cruzada
RMSEE	Erro quadrático médio da estimativa
RMSEP	Erro quadrático médio da previsão
RPD	Desvio residual de predição
RPM	Rotação por minuto
S	Sul
S	Sanilac
SB	Soma de bases
SD	Desvio padrão
SEE	Soma dos quadrados dos erros
SEP	Erro padrão de predição
SQ	Soma de Quadrados
T	Tendergren
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
V(%)	Saturação de bases
W	Oeste
μl	Microlitro

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Aspectos gerais do feijoeiro.....	16
2.2 Importância econômica e nutricional.....	17
2.3 Escurecimento pós colheita.....	19
2.4 Determinação da cor.....	21
2.5 Absorção de água pelos grãos.....	22
2.6 Métodos para quantificação de proteínas.....	24
3.1 – Obtenção do Material Vegetal.....	26
3.2 – Avaliação da cor do tegumento dos grãos.....	28
3.3 – Absorção de água.....	29
3.4 – Massa de mil grãos.....	29
3.5 – Proteínas Solúveis.....	30
3.6 – Análise de predição NIRS.....	30
3.7- Análises estatísticas.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5 CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS.....	57
GLOSSÁRIO.....	66

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), é cultivado e consumido em diferentes regiões do mundo, apresentando elevada importância nutricional e econômica (BURLE et al., 2010). O Brasil destaca-se pela expressiva participação no consumo e produção, estando entre os maiores produtores, com aproximadamente 2,6 milhões de toneladas de feijão produzidas no ano de 2016, perdendo apenas para Índia e Myanmar (FAOSTAT, 2016).

Dentre os grupos comerciais de feijão, destaca-se o carioca, sendo o mais consumido no país, ocupando 70% do mercado consumidor brasileiro (CONAB, 2014). Contudo, alguns fatores relacionados à qualidade dos grãos exercem forte influência no momento da comercialização, sendo que, os mesmos devem apresentar fundo creme claro e rajas marrons, onde qualquer alteração neste padrão, provoca a rejeição dos grãos pelos consumidores (JUNK-KNIEVEL et al., 2008).

O feijão é um alimento tradicional na mesa dos brasileiros, tendo grande importância na segurança alimentar, nutricional e cultural (BARBOSA; GONZAGA, 2012). As variações no teor de proteína bruta em grãos de feijão encontradas na literatura situam-se na faixa de 16% a 36,28% (BARAMPAMA; SIMARD, 1993; BORDIN et al., 2003; BURATTO et al., 2009; MESQUITA et al., 2007; PINHEIRO et al., 2010).

As proteínas desempenham funções importantes na maioria dos processos biológicos, atuando como enzimas, hormônios, neurotransmissores, transportadores através das membranas celulares, dentre outros. O teor de proteína no grão de feijão varia de acordo com a cultivar e o ambiente em que é cultivado, sendo resultado da interação entre genótipo e ambiente (BURATTO et al., 2009).

Entre os fatores que afetam a aceitação dos grãos de feijão pelos consumidores está o escurecimento do tegumento, devido à associação da cor escura com grãos envelhecidos e de difícil cozimento. O escurecimento dos grãos de feijão está relacionado com a presença de compostos fenólicos, principalmente os taninos, que sofrem a oxidação por enzimas, como as peroxidases e polifenoloxidasas, tornando os grãos mais escuros (MARLES et al., 2008).

Neste contexto, a análise de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), tem-se destacado como uma ferramenta analítica confiável e promissora para avaliação de atributos de maneira rápida, sem a utilização de produtos químicos e não destrutivos. Porém, inicialmente é necessária desenvolver um modelo de calibração para a molécula em estudo (MANLEY, 2014).

Para obter um modelo de predição dos teores de proteínas solúveis totais presentes no tegumento do feijão-carioca, pode-se utilizar o método de Bradford que consiste na ligação da proteína com o corante *Coomassie Brilliant Blue G-250* (BRADFORD, 1976).

Fatores ambientais, tais como temperatura e umidade relativa que os grãos são submetidos durante a produção e armazenamento, como também o efeito genético, aceleram ou retardam o processo de escurecimento (ELSADR et al., 2011). O período de estocagem do feijão geralmente é baixo, obrigando o produtor a comercializar seu produto logo após a colheita, independentemente dos preços pagos. Condições de alta umidade no período de colheita, além de prejudicar a rentabilidade das lavouras afetam a qualidade dos grãos. O melhoramento genético assume grande importância na obtenção de genótipos que apresentem escurecimento lento dos grãos, permitindo aumentar o tempo de armazenamento e colheita de grãos com excelente qualidade, proporcionando aos produtores qualidade do seu produto bem como flexibilidade no momento de venda e, conseqüentemente, maior rentabilidade.

Considerando estas informações, o objetivo deste trabalho foi avaliar genótipos de feijão carioca durante armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado, analisando as mudanças de coloração do tegumento e qualidade dos grãos durante os 120 dias de armazenamento, assim como avaliar a composição proteica presentes no tegumento e construir um modelo de predição proteica por meio do *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS) a partir de duas granulometrias (farelo e farinha).



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos gerais do feijoeiro

O feijoeiro comum é uma planta herbácea, pertencente à família *Fabaceae*, sub-família *Faboideae*, gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris* L., sendo o representante mais cultivado entre as espécies pertencentes a este gênero. Sua origem é americana, tendo dois centros primários de domesticação, o Andino e o Mesoamericano (BURLE et al., 2010).

*P. vulgaris* é uma espécie diploide que apresenta seu número básico 22 cromossomos ( $n=x=11$ ). Seu genoma totaliza 521.1 Mb incluindo 27.197 locos contendo 31.638 transcritos codificadores de proteínas (SCHMUTZ et al., 2014). Classifica-se como uma planta autógama, sendo assim, a autofecundação é o processo predominante para a obtenção de novas cultivares.

Com ciclo em torno de 95 dias, a cultura do feijão apresenta extrema dependência de condições meteorológicas favoráveis para seu desenvolvimento, sendo o stresse hídrico, um dos fatores mais limitantes à produtividade e qualidade dos grãos. As principais cultivares com potencial produtivo apresentam hábito de crescimento indeterminado, no qual as plantas continuam crescendo após a floração (KAPPES et al., 2008).

As cultivares de ciclo determinado e indeterminado são classificadas em 3 Tipos, sendo eles, Tipo 1 – plantas de crescimento determinado: possuem pequeno porte, ciclo normalmente precoce, maturação das vagens uniformes, mas pouco produtivo. Tipo 2 – plantas de crescimento indeterminado arbustivo: crescem mesmo durante a floração, produção satisfatória. Tipo 3 – plantas de crescimento indeterminado prostrado: o estágio de floração é amplo de 15 a 20 dias, favorecendo a redução dos riscos de perda totais ocasionadas pelos fatores climáticos, plantas rústicas e de alta produção (FANCELLI; NETO, 2007).

O feijão comum por ser originário da América Central e da América do Sul, apresenta ampla variedade morfológica que vai desde o hábito de crescimento até ao tamanho das folhas, das flores, das vagens e tamanho, forma e cor das

sementes, sendo tais características visuais a base para a classificação das atuais classes comerciais de feijão (KAPPES et al. 2008). No mercado brasileiro, as principais classes cultivadas incluem grãos dos tipos carioca, preto, roxo, mulatinho, rosinha, vermelho e manteigão, sendo os grãos do tipo carioca mais cultivados no Brasil, representando 70% do consumo nacional (SIQUEIRA, 2016). O feijão carioca surgiu em 1969, tendo como característica marcante o tegumento com coloração bege e estrias marrons (ALMEIDA et al., 1971).

## 2.2 Importância econômica e nutricional

O Brasil destaca-se pela expressiva participação mundial no consumo e produção de feijão, estando entre os maiores produtores, com aproximadamente 2,6 milhões de toneladas produzidas no ano de 2016, perdendo apenas para Índia e Myanmar (FAOSTAT, 2016).

O feijão apresenta uma ampla adaptação edafoclimática, sendo o cultivo dessa leguminosa, distribuído em três safras distintas, águas, seca e inverno, o que permite seu cultivo em praticamente todas as regiões do país, porém grande parte da produção está concentrada em apenas 10 estados, PR, MG, BA, SP, GO, SC, RS, CE, PE e PA, responsáveis por praticamente 85% da produção nacional (FEIJÃO DO BRASIL, 2017). O Paraná é o principal estado produtor, respondendo por aproximadamente 326 mil toneladas ou 10% do total produzido (SEAB, 2015).

Principalmente no sudoeste do Paraná, o feijão é importante alternativa para a “safrinha”, sendo cultivado em parte por pequenos agricultores em todo o território nacional, tendo grande importância na subsistência, porém há também a produção em grande escala com emprego de tecnologias, que vão desde o uso de agroquímicos a maquinários para a produção e colheita (BARBOSA, et al., 2012).

Devido à grande importância de leguminosas secas como o feijão na alimentação humana do mundo inteiro, a 68ª Assembleia Geral da ONU (Organização das Nações Unidas) declarou “2016 o Ano Internacional das Leguminosas” (*International Year of Pulses*) com o tema: “Sementes Nutritivas para um Futuro Sustentável”.

O feijão é um dos principais alimentos da dieta do brasileiro e

representa a principal fonte de proteína na alimentação, principalmente das classes mais carentes da população, sendo considerado fator de segurança alimentar e nutricional (PEREIRA, et al., 2016). Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), as leguminosas secas (feijão, ervilha, grão de bico, lentilhas) representam uma fonte alternativa de proteínas mais barata do que as encontradas nas carnes. Elas também têm o dobro das proteínas do trigo e o triplo do arroz, são ricas em micronutrientes, aminoácidos e vitamina B, substâncias que as tornam componentes essenciais de uma dieta saudável (FAO, 2015).

A composição centesimal do feijão-carioca cru, em base seca, apresenta os seguintes valores médios, de acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (UNICAMP, 2011), em g 100 g<sup>-1</sup>: 61,2 de carboidratos; 20,0 de proteínas; 14,0 de umidade; 3,5 de cinzas e 1,3 de lipídios; e o teor de minerais, em mg 100 g<sup>-1</sup>, é de 123 de cálcio; 210 de magnésio; 1,02 de manganês; 8,00 de ferro; 385,00 de fósforo; 1.352,00 de potássio; 0,79 de cobre e 2,00 de zinco. Já para as vitaminas, são 0,17 mg 100 g<sup>-1</sup> de tiamina; 4,02 mg 100 g<sup>-1</sup> de niacina e 0,65 mg 100 g<sup>-1</sup> de piridoxina.

Considerando o aspecto nutricional, o feijão apresenta compostos que tornam seu consumo de relevante importância, sendo que, contém de 20-25% de proteína bruta, com expressivo teor de aminoácidos essenciais, como a lisina, que exerce efeito complementar às proteínas dos cereais. Além de elevada importância proteica e energética, estes grãos são fonte de fibras, minerais (ferro, cálcio, cobre, zinco, fósforo, potássio e magnésio), e presença de vitaminas do complexo B. Porém apresenta moderada deficiência em aminoácidos sulfurados como a metionina e o triptofano, presença de fatores antinutricionais e baixa disponibilidade de minerais (FARINELLI, et al., 2010).

A elevada quantidade de compostos fenólicos com expressiva atividade antioxidante, encontradas no tegumento dos grãos de feijão, fez com que seu consumo esteja relacionado à redução do risco de desenvolvimento de câncer, além de apresentar atividade antiinflamatória (OOMAH, et al., 2010). O consumo regular do feijão traz muitos benefícios à saúde, podendo até suprir a deficiência de ferro que causa anemia e a de proteínas. Programas governamentais estimulam o

consumo e a produção do feijoeiro, além de pesquisas voltadas ao melhoramento genético, visando além das características agrônômicas, questões relacionadas ao teor e disponibilidade de nutrientes presentes nos grãos e o estímulo de produção nas pequenas, médias e grandes propriedades rurais, devido a importância socioeconômica da cultura.

### 2.3 Escurecimento pós colheita

O consumo entre os diferentes tipos de feijão variam amplamente, dependendo da região do país, sendo o tipo carioca, caracterizado como grão creme com estrias marrons, o preferido, em grande parte do Brasil. Vários genótipos de feijão estão disponíveis no mercado, os quais diferem em relação à tonalidade da cor creme e a velocidade do desenvolvimento do escurecimento dos grãos durante o armazenamento (SILVA, 2007).

O desenvolvimento do escurecimento pós-colheita no tegumento de feijão está relacionado a mudanças bioquímicas que ocorrem com o passar do tempo. Os compostos presentes no tegumento são passíveis de sofrer oxidação e outras reações químicas tendo como produtos novos compostos, que podem alterar a cor dos mesmos. Segundo Siqueira et al. (2016), o desenvolvimento do escurecimento de diferentes genótipos de feijão envolve a combinação de processos enzimáticos e não enzimáticos, sendo essas mudanças influenciadas por vários fatores, como elevada temperatura, umidade relativa do ar, presença de luz e oxigênio. Mas segundo Burle et al. (2010), além destes fatores o escurecimento está relacionado com a suscetibilidade do genótipo.

Estudos têm demonstrado que os compostos fenólicos presentes no tegumento dos grãos de feijão estão relacionados ao escurecimento, fato ocasionado pela ação de enzimas oxido – redutases, principalmente a polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD) (MARLES et al., 2008). Segundo Siqueira et al. (2016) o perfil de escurecimento do tegumento dos grãos de feijão carioca varia de acordo com o genótipo, porém todos escurecem ao longo do tempo.

Os compostos fenólicos mais importantes presentes em leguminosas, são os taninos, estando seus níveis associados à cor dos tecidos. Em estudo

realizado por Silva (2008) foram constatados que o teor médio de tanino presente em cinco progênies com rápido escurecimento foi 3,42 vezes superior ao obtido em progênies que apresentaram lento desenvolvimento do escurecimento. Os valores encontrados foram de 0,117 mg/TC e 0,034 mg/TC respectivamente.

As condições de ambiente que favorecem o desenvolvimento do escurecimento são também favoráveis ao desenvolvimento do endurecimento *hard to cook*. Dessa forma, entre as características associadas com a qualidade culinárias do feijão carioca, a manutenção do fundo creme no tegumento é uma característica desejável (ARAÚJO et al., 2012).

A preferência dos produtores por cultivares de feijão carioca que apresentem desenvolvimento tardio do escurecimento dos grãos, deve-se ao fato de que, os consumidores associam o escurecimento do tegumento com grãos velhos e de difícil cozimento, resultando em um produto de baixa qualidade, apresentando menor valor de mercado e menor tempo de prateleira nos pontos de comercialização (PERINA, et al., 2014).

Carneiro et al. (2012), identificaram uma linhagem de feijão (VC-3), que após alguns meses de armazenamento apresentou grãos com escurecimento tardio do tegumento. Procurando estudar o controle genético do escurecimento de grãos de feijão pinto também houve constatação de que está envolvido um gene com dominância do alelo que condiciona escurecimento precoce (JUNK-KNIEVEL, et al., 2007).

Estudos com marcadores moleculares de DNA associados ao escurecimento precoce dos grãos tem identificado três marcadores microssatélites que se mostraram estreitamente ligados ao QTL responsável pelo escurecimento precoce dos grãos. O marcador PVM02TC116 cossegrou com o QTL em questão, e os marcadores PVESTBR-98 (2,00 cM) e PV176 (12,24 cM) flanqueiam essa região, o que sugere elevada eficiência para possível uso na seleção assistida por marcadores moleculares (COUTO et al., 2010).

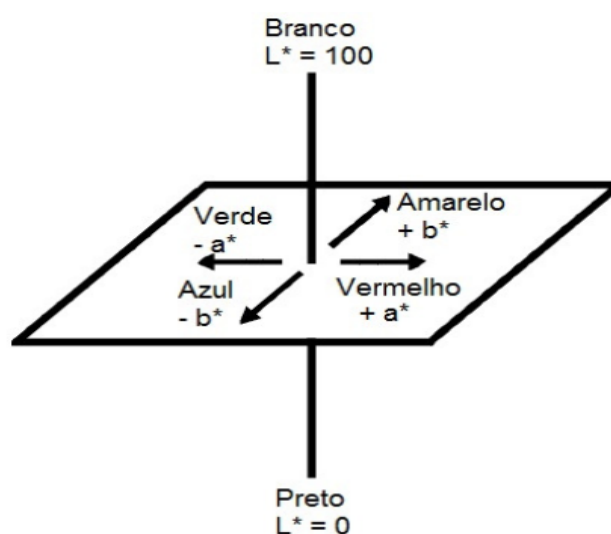
Couto et al. (2010), identificaram, três marcadores microssatélites estreitamente ligados ao QTL responsável pelo escurecimento precoce dos grãos. O marcador PVM02TC116 cossegrou com o QTL em questão, e os marcadores PVESTBR-98 (2,00 cM) e PV176 (12,24 cM) flanqueiam essa região, o que sugere

elevada eficiência para possível uso na seleção assistida por marcadores moleculares, com a finalidade de selecionar linhagens com escurecimento tardio dos grãos.

#### 2.4 Determinação da cor

Quando a cor é um parâmetro utilizado na avaliação de determinada característica, faz-se necessário o emprego de técnicas que minimizem as variações de um julgamento visual subjetivo, sendo necessário o uso de uma determinação numérica, de acordo com padrões estabelecidos internacionalmente, tornando sua interpretação mais precisa e uniforme, possibilitando a comparação de diferentes amostras entre os valores de cor (WENDT, 2006).

As células da retina dos olhos determinam a quantidade de verde ou vermelho, azul ou amarelo e claro ou escuro. De acordo com a maneira com que estas células informam a cor dos objetos, a Comissão Internacional de Iluminação (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) estabeleceu em 1976 o sistema  $L^*$   $a^*$   $b^*$ , um diagrama de cores que possui um espaço com distribuição uniforme de luminosidade ( $L^*$ ) e cromaticidades ( $a^*$  e  $b^*$ ) (Figura 1).



**Figura 1** – Diagrama de Cores CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$ . Fonte: HunterLab, 1996.

O eixo vertical representa as escalas de valores acromáticos, que vão desde o branco na parte superior ( $L^* = 100$ ) que representa uma reflexão difusão

perfeita, até o negro na inferior ( $L^* = 0$ ). A coordenada  $a^*$  (+60/-60), positiva tende a vermelha e negativa ao verde. A coordenada  $b^*$  (+60/-60), positiva tende a amarela e negativa ao azul (NASSAU, 1997).

Considerando os valores de luminosidade ( $L^*$ ) e cromaticidades ( $a^*$  e  $b^*$ ), o  $L^*$  é a informação mais relevante para avaliar a cor dos grãos de feijão, estando associado a claridade dos mesmos. Segundo Ribeiro et al. (2003), em feijão do tipo carioca, a maior claridade do tegumento é associada a grãos recém colhidos e de rápido cozimento. Cultivares do grupo carioca que apresentam grãos com valores de  $L^*$  superior a 55 tem valor de mercado maior, sendo essas conclusões muitas vezes feitas de forma empírica.

Ribeiro et al. (2008), avaliaram em dezenove ensaios a eficiência dos valores de luminosidade ( $L^*$ ), na classificação de genótipos de feijão, observando que os valores de luminosidade ( $L^*$ ) representam a claridade dos grãos e pode ser utilizada para classificar lotes de feijão de um mesmo grupo comercial, com 90% de exatidão no prognóstico do valor real, com alta precisão experimental.

## 2.5 Absorção de água pelos grãos

Além da coloração do tegumento ser associada ao envelhecimento dos grãos, a rápida absorção de água é outro parâmetro que caracteriza a facilidade de cozimento dos grãos, sendo determinante para a aceitação de uma cultivar. Segundo Ribeiro et al. (2007), tais características são influenciadas pelo genótipo, condições de ambiente do cultivo e armazenamento.

A capacidade de absorção de água pelos grãos aumenta com o tempo em que permanecem embebidos, até atingir o ponto de máxima absorção. O tempo de embebição sugerido pela metodologia oficial é de 18 horas, utilizando a relação de uma parte de grão para quatro partes de água, sendo a análise conduzida em temperatura ambiente (GARCIA-VELA, 1989). Entretanto este tempo de embebição está sendo reduzido, com base em estudos posteriores, sendo de 11 horas e 6 minutos, para as cultivares TPS Nobre e Pérola (RIBEIRO, et al., 2003) e 8 horas e 10 minutos para IAC Carioca Aruã à 12 horas e 1 minuto para IAC Carioca Pyatã

(RAMOS JÚNIOR; LEMOS, 2002).

Durante o envelhecimento dos grãos, ocorrem alterações devido a ação de enzimas como peroxidase e polifenoloxidase, ocorre a formação de lignina devido a polimerização de fenóis, estando associado a polimerização do tegumento e a lignificação dos cotilédones, os quais, influenciam a capacidade de absorção pelos grãos, determinada pela dificuldade de penetração da água e a limitação na capacidade de hidratação dos grãos (LOPES, 2011).

A capacidade de cocção dos grãos de feijão está relacionada a maior capacidade de absorção dos grãos, sendo um fator determinante para o cozimento. Nas estimativas dos coeficientes de correlação entre as variáveis absorção e água e tempo de cozimento, Rodrigues et al. (2005), obtiveram correlação negativa significativa ( $p \leq 0,05$ ), demonstrando aumento da porcentagem de absorção de água com a redução do tempo de cozimento.

Comparando o feijão caupi e o carioca, Ávila et al. (2014) observaram que o feijão caupi apresenta maior absorção de água e pouca variação do tempo de cozimento, mesmo após doze meses de armazenamento. O feijão carioca apresentou comportamento oposto, com baixa absorção de água após 12 meses de armazenamento, com expressivo aumento do tempo de cocção. Com isso pode-se observar que a redução na capacidade de absorção de água, acarretou aumento significativo no tempo de cocção.

## 2.6 Métodos para quantificação de proteínas

Considerando a importância das proteínas na maioria dos processos biológicos, o desenvolvimento de metodologias para sua determinação e quantificação assume fundamental relevância em várias áreas do conhecimento. O método de quantificação de proteínas totais pelo método de Bradford, consiste na ligação da proteína com o corante *Coomassie Brilliant Blue G-250*, com mudança máxima de absorção do corante a partir de 465 a 595 nm. A concentração de proteínas na amostra é proporcional à intensidade da coloração azul obtida como resultado da ligação proteína-corante (BRADFORD, 1976).

O *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS), ou seja, infravermelho próximo



foi descoberto por Frederick William Herschel, um músico e astrônomo profissional. Destaca-se por ser uma metodologia rápida, sem a utilização de produtos químicos, e não destrutiva. O método é considerado secundário, pois, exige valores de referência para desenvolver um modelo de calibração para a molécula estudada. A precisão dos resultados do NIRS depende em grande medida da precisão das análises de bancada, mas é uma metodologia considerada reproduzível (MANLEY, 2014). O equipamento é constituído de uma câmara de leitura ótica e um software para tratamentos matemáticos que, permite a identificação, qualificação e quantificação de compostos orgânicos nos alimentos (CAMPESTRINI, 2005).

A região compreende de 800 a 2500 nm, entre o visível de 380 a 780 nm e 316 a 12 nm. Os espectros gerados tem informações sobre as ligações orgânicas, sendo C-H, O-H e N-H. Devido à combinação de um grande número de espectros gerados e muitos picos sobrepostos, a obtenção de resultados é complexa, desta forma, o NIRS gera uma regressão linear múltipla (MLR), assim removendo informações indesejadas como o ruído espectral ou efeito de tamanho de partícula sem perder informações importantes, o pré – tratamento das amostras tem a mesma finalidade. Para a calibração do NIRS é recomendado mais de cem amostras (MANLEY, 2014).

Ribeiro et al. (2011) utilizaram o método para avaliar a bebida de café em relação à acidez, amargor, sabor, limpeza, corpo e qualidade global. Krähmer et al. (2015) determinaram os parâmetros de qualidade bioquímica em cacau. Bazoni et al., (2017) utilizaram a metodologia para avaliar as alterações físico-químicas de soja armazenada como um método rápido. Hacisalihoglu, Larbi, e Settles (2009) utilizaram o NIRS para avaliar o peso da semente, quantidade de proteína e amido presente no grão do feijão.

Atualmente o NIRS traz inúmeros benefícios para diversas indústrias e laboratórios, no entanto requer elevado investimento inicial para a aquisição do aparelho, e grande quantidade de material, analisados pelas técnicas clássicas, com a finalidade de proceder a calibração do equipamento (SANTOS et al., 2012).

Para obter a curva de calibração, a etapa de pré-processamento dos dados individuais é de grande importância tendo o objetivo de descartar informações que não são importantes do ponto de vista químico e melhorar a condição do

conjunto de dados para a posterior análise (MANLEY, 2014).

O NIRS emprega alguns métodos multivariados, o mais comum é a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS), onde é feito o processamento diretamente dos dados, extraindo as variáveis latentes (variáveis não observáveis). Esta regressão tem por objetivo determinar uma linearidade que sumarie a correlação entre as variáveis Y e X (KUHN; JOHNSON, 2013).

Para o desenvolvimento do modelo existem duas metodologias que se diferem e podem ser utilizadas para a identificação do modelo que melhor prediz a quantidade da molécula orgânica estudada, sendo *Cross Validation* e *Test Set*, na qual, as duas precisam da etapa de calibração e validação. A calibração (b) é definida como um processo para criar um modelo que relaciona amostras preditas, ou seja, lidas pelo espectrofotômetro em absorbância (Y) com amostras de referência feito com testes de bancada (X), (ZEAITER; ROGER, 2005), conforme equação abaixo.

$$b = (X^T * X)^{-1} * X^T * Y$$

O coeficiente de correlação varia de -1 a +1, sendo uma medida de relação linear entre as variáveis, informando o quanto uma variável é alterada pela mudança na outra variável. Explicando o fato de variáveis de valores baixos estarem relacionados com outras variáveis de valores baixos e assim se agrupando e alterando o comportamento dos dados, o contrário também é verdadeiro (BRUKER, 2006).

O R<sup>2</sup> indica o coeficiente de determinação, ou seja, a porcentagem de variância presente nos valores verdadeiros (Y) com os valores preditos (X). Quanto mais os valores preditos se aproximam dos valores verdadeiros, maior é o R<sup>2</sup> que se aproxima de 100%, sendo um indicador de ajuste do modelo (BRUKER, 2006; XIAOBO, et al., 2010).

Outro indicador é o Erro quadrático médio da estimativa (RMSEE), sendo a soma dos quadrados dos erros (SEE), o número de amostras (M) e o Rank (R). Para a soma dos quadrados dos erros é utilizado a fórmula da somatória quadrática do residual (Res). Este indicador é utilizado no *Test Set* (BRUKER, 2006; XIAOBO et al., 2010).

Para o *Cross Validation* (calibração e validação) é utilizado o indicador

de erro quadrático médio da validação cruzada (RMSECV), sendo o erro médio calculado para cada variável latente analisada individualmente e calculada, o PRESS (Soma de tempo residual preditiva dos quadrados) é a soma de todas as diferenças quadráticas entre a concentração verdadeira e prevista. A diferença entre a concentração verdadeira da amostra  $i$  e a concentração predita chama-se *Differ* (BRUKER, 2006).

Para *Test Set* (validação) é utilizado o erro quadrático médio da previsão (RMSEP) que determina a medida de concordância entre o valor predito e o valor verdadeiro (BRUKER, 2006).

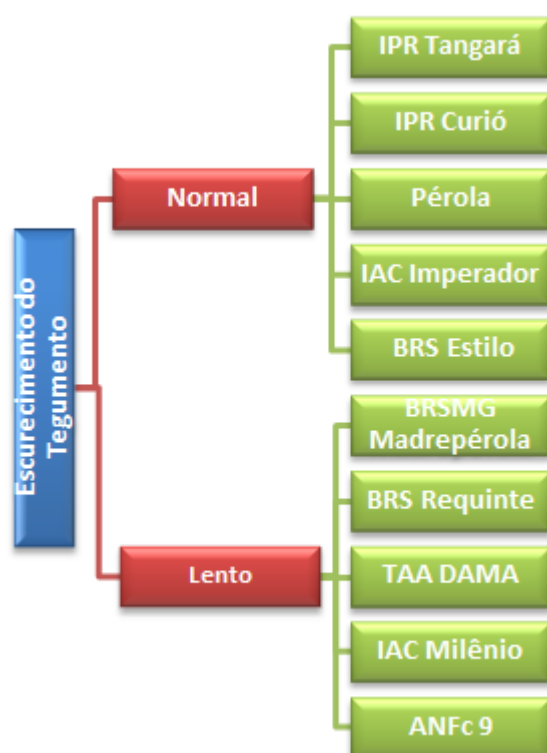
O Desvio residual de predição (RPD) determina a razão entre o desvio padrão e o erro padrão predito. O Desvio padrão (SD) é o grau em que os valores dos componentes de um conjunto de amostras estão dispersos em torno do valor médio da componente, sendo a raiz quadrada da variância. Para  $M$  o número de espectros e  $ym$  o valor médio da componente. O erro padrão de predição (SEP) indica o desvio padrão de todos os valores de medição corrigidos de polarização a partir do valor verdadeiro (BRUKER, 2006).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 – Obtenção do Material Vegetal

Para padronização das condições do ambiente de cultivo entre os diferentes genótipos estudados, um experimento a campo foi implantado entre os meses de outubro de 2016 a janeiro de 2017, na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, localizada a 26°11'S e 52°40'W, com altitude próxima de 700 m e clima classificado como Cfa (clima subtropical úmido), sendo o solo é caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com dez genótipos de feijão-carioca, apresentando características contrastantes quanto ao desenvolvimento do escurecimento (Figura 2), e quatro repetições, sendo cada parcela constituída de seis metros de comprimento com quatro linhas espaçadas a 0,40 m.



**Figura 2** – Genótipos de feijão e sua caracterização quanto a velocidade de escurecimento do tegumento dos grãos (conforme descritores).

Anteriormente a implantação do experimento foi realizada coleta e análise do solo (Tabela 1). A densidade de semeadura foi conforme recomendações de cada genótipo e o manejo da cultura e correção do solo foi de acordo com recomendações da Comissão Técnica Sul-Brasileira de Feijão (CTSBF).

**Tabela 1** – Resultado da análise de Solo.

MO	P	K	Ca	Mg	pH	V(%)	Índice SMP	SB	H+Al
g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> <sub>3</sub>
49,59	5,03	0,33	6,62	1,93	4,3	53,00	5,74	5,77	5,47

Após a maturação, as parcelas foram arrancadas, trilhadas e limpas separadamente. A secagem dos grãos foi feita sob ventilação constante até umidade de 14 %. Após os grãos de cada cultivar foram colocados em bandejas e armazenados em câmara com temperatura de 40±3 °C e umidade relativa de 75±3%, segundo Siqueira (2013), com modificações. As análises foram realizadas aos 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias de armazenamento, caracterizando o experimento

como um bifatorial, com dez genótipos e seis tempos de coleta após o início do armazenamento.

### 3.2 – Avaliação da cor do tegumento dos grãos

A coloração do tegumento foi avaliada em colorímetro ColorQuest XE (Hunter Lab) com iluminação difusa (iluminante D65, ângulo de visão 10°), modo de refletância, utilizando-se a escala de cor CIE L\* a\* b\*. As amostras foram homogeneizadas, colocadas em cubeta de quartzo de 50 mm e submetidas à análise de coloração. Os resultados foram expressos em termos de luminosidade L\*, cromaticidade a\* e b\*, diferença total de cor  $\Delta E^*$  (Equação 1) e índice de escurecimento IE (Equação 2) (BAL et al., 2011).

**Equação 1** –  $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$  onde:

$\Delta E^*$  = Diferença Total de cor.

$\Delta L^*$  =  $L^*$ 5 ( $L^*$  grãos após cinco meses de armazenamento) –  $L^*$ 0 ( $L^*$  grãos recém-colhidos).

$\Delta a^*$  =  $a^*$ 5 ( $a^*$  grãos após cinco meses de armazenamento) –  $a^*$ 0 ( $a^*$  grãos recém-colhidos).

$\Delta b^*$  =  $b^*$ 5 ( $b^*$  grãos após cinco meses de armazenamento) –  $b^*$ 0 ( $b^*$  grãos recém-colhidos).

**Equação 2** –  $IE = \frac{100 * (X - 0,31)}{0,17}$  onde,  $X = \frac{a_t^* + 1,75 L_t^*}{5,645 L_t^* + a_t^* - 3,012 b_t^*}$

### 3.3 – Absorção de água

Para estimar a absorção de água, as amostras foram imersas em água destilada por um período de 12 horas. Em um becker foram adicionados 80 mL de

água destilada e 20 g de feijão, em uma relação de massa de 4/1. A cada 1 hora as amostras foram retiradas da água, colocadas em papel filtro por 2 minutos e após pesadas, retornando à imersão em água. A absorção de água representa a quantidade de água absorvida pelo produto em função da sua matéria seca, sendo determinada pela equação 3.

**Equação 3** –  $A b = \frac{M e - M s}{M e} * 100$  onde:

Ab (%) = Absorção de água

Me = Massa depois da embebição (g).

Ms = Massa da matéria seca do produto (g).

### 3.4 – Massa de mil grãos

A massa de mil grãos foi determinada segundo as recomendações das Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009), utilizando-se oito repetições de 100 grãos, que foram pesados em balança de precisão (0,001 g), com resultados expressos em gramas. Foram calculados também a variância e o desvio padrão para obter o coeficiente de variação, o qual não pode ser superior a 4%.

### 3.5 – Proteínas Solúveis

A quantificação de proteínas solúveis foi realizada segundo metodologia descrita por Bradford (1976). Foram pesados 1 g de tegumento e em seguida macerados em almofariz com 10 mL de tampão fosfato 0,2 M pH 7,5. Os extratos foram centrifugados a 12.000 rpm por 10 minutos a 4 °C. O sobrenadante foi utilizado para a análise e as leituras foram feitas a 630 nm, em espectrofotômetro. A concentração de proteínas foi expressa em função da curva-padrão de BSA

(soroalbumina bovina), em mg de proteínas por grama de tegumento<sup>-1</sup>.

### 3.6 – Análise de predição NIRS

Para análise no NIRS as amostras foram trituradas em duas granuloses, farinha e farelo, com um número de *mach* de 2 mm. Para isso utilizou o moinho triturador da Finex. No equipamento espectrômetro modelo FT-NIR modelo MPA (*Multi Purpose Analyzer*) da Bruker, as amostras foram acomodadas em uma cubeta de quartzo giratória na quantidade de 20 g e as condições de leitura do equipamento foram de 16 cm<sup>-1</sup> de resolução e 34 acumulações espectrais.

### 3.7- Análises estatísticas

Para as variáveis luminosidade (L\*), cromaticidades a\* e b\*, índice de escurecimento, absorção de água, proteínas e peso de mil sementes foi realizada análise de variância e teste de comparação de médias por Scott-Knott pelo programa Genes (Cruz, 2008).

Adicionalmente, no programa Genes (Cruz, 2008), foi realizada análise multivariada com intuito de verificar a contribuição relativa dos caracteres para estudo da divergência genética dos grãos recém-colhidos e após armazenamento em condições de envelhecimento acelerado. Considerando a análise baseada na distância (D<sup>2</sup>) de Mahalanobis, em que a importância relativa dos caracteres foi estimada por meio da participação dos componentes relativos a cada caractere no total da dissimilaridade observada utilizando o critério de Singh (1981).

Visando identificar os genótipos com desempenho similar de forma separada, foi realizada a análise de agrupamento. Foi considerado no processo de agrupamento, as estimativas dos valores genotípicos de cada genótipo de grãos recém-colhidos e após armazenamento. A análise de agrupamento foi realizada com o grupo original de caracteres considerando-se a técnica de otimização proposta por Tocher, utilizando a matriz obtida pela análise da distância generalizada de Mahalanobis.

Com os espectros gerados no NIRS, primeiramente verificou-se qual a melhor região de dados para utilizar na modelagem. Desta forma, gerou-se um *boxplot* e um histograma de todos os dados. Devido à existência de regiões com poucas amostras gerou-se novamente um *boxplot* e histograma, mas sem os *outliers* definindo-se a região ideal.

A construção de modelos PLS foi executado no programa computacional Opus versão 7.2. Para as amostras de farinha e farelo foram utilizados dois métodos de predição o *Cross Validation* e o *Test Set* para comparação dos dois modelos e avaliação da melhor predição dos teores de proteína, devido a baixa variabilidade proteica entre as amostras. O *Cross Validation* consiste em um único grupo de espectros para a calibração e para a validação, utilizando 2 amostras para *leading out*. Desta forma, foram utilizadas 426 amostras com suas repetições sem *outliers*. Pelo método do *Test Set* há a separação manual dos espectros em dois grupos espectrais, sendo 30% dos espectros para a validação e 70% para a calibração do modelo. Para a farinha foram utilizadas 297 amostras sendo 227 para o grupo de calibração e 70 para o grupo de validação. Para o farelo foram utilizadas 370 amostras, sendo 284 para calibração e 86 para validação. O pré-tratamento espectral individual utilizado foi centrado na média para os dois modelos. Para gerar o modelo de predição utilizou-se a ferramenta matemática da segunda derivada.

Os modelos foram ajustados por PLS, analisando os seguintes parâmetros estatísticos para *Cross Validation*: RMSEE e  $R^2$  para calibração RMSECV e  $R^2$  na validação. Para o *Test Set* os parâmetros estatísticos avaliados foram: RMSEE e  $R^2$  na calibração, RMSEP e  $R^2$  na validação. O modelo foi escolhido por maior  $R^2$  menor RMSEE e RMSEP, sendo resultado das otimizações obtidas pelo software.



#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os genótipos avaliados apresentaram mudanças da cor do tegumento, sendo que, visualmente o escurecimento ocorreu em intensidades diferentes após os 120 dias de armazenamento. Este comportamento era esperado, pois os grãos de feijão-carioca escurecem ao longo do tempo, sendo que a velocidade e a intensidade do escurecimento são determinantes na caracterização de cada genótipo (Figura 3).

Para o parâmetro luminosidade ( $L^*$ ), compreendido entre o branco ( $L^*=100$ ), até o preto ( $L^*=0$ ), todos os genótipos apresentaram decréscimos dos valores de  $L^*$  durante os quatro meses de armazenamento, indicando o escurecimento dos grãos (Tabela 2).

Logo após a colheita, não houve diferenças significativa entre os genótipos. Após quinze dias de armazenamento, os genótipos BRS Estilo, IAC Imperador, Pérola e IPR Tangará, já apresentaram decréscimos significativos, sendo que, para IPR Curió foram necessários 30 dias de armazenamento e 60 dias para BRSMG Madrepérola, IAC Milênio, BRS Requite, ANFc 9 e TAA Dama, apresentarem decréscimos significativos da luminosidade.

Levando em consideração a característica do desenvolvimento do escurecimento dos grãos, informação base para escolha dos genótipos utilizadas no experimento, aqueles que tinham como característica o escurecimento lento (BRSMG Madrepérola, IAC Milênio, BRS Requite, ANFc 9 e TAA Dama, necessitaram de maior tempo (60 dias) de armazenamento para apresentar decréscimos significativo da luminosidade.

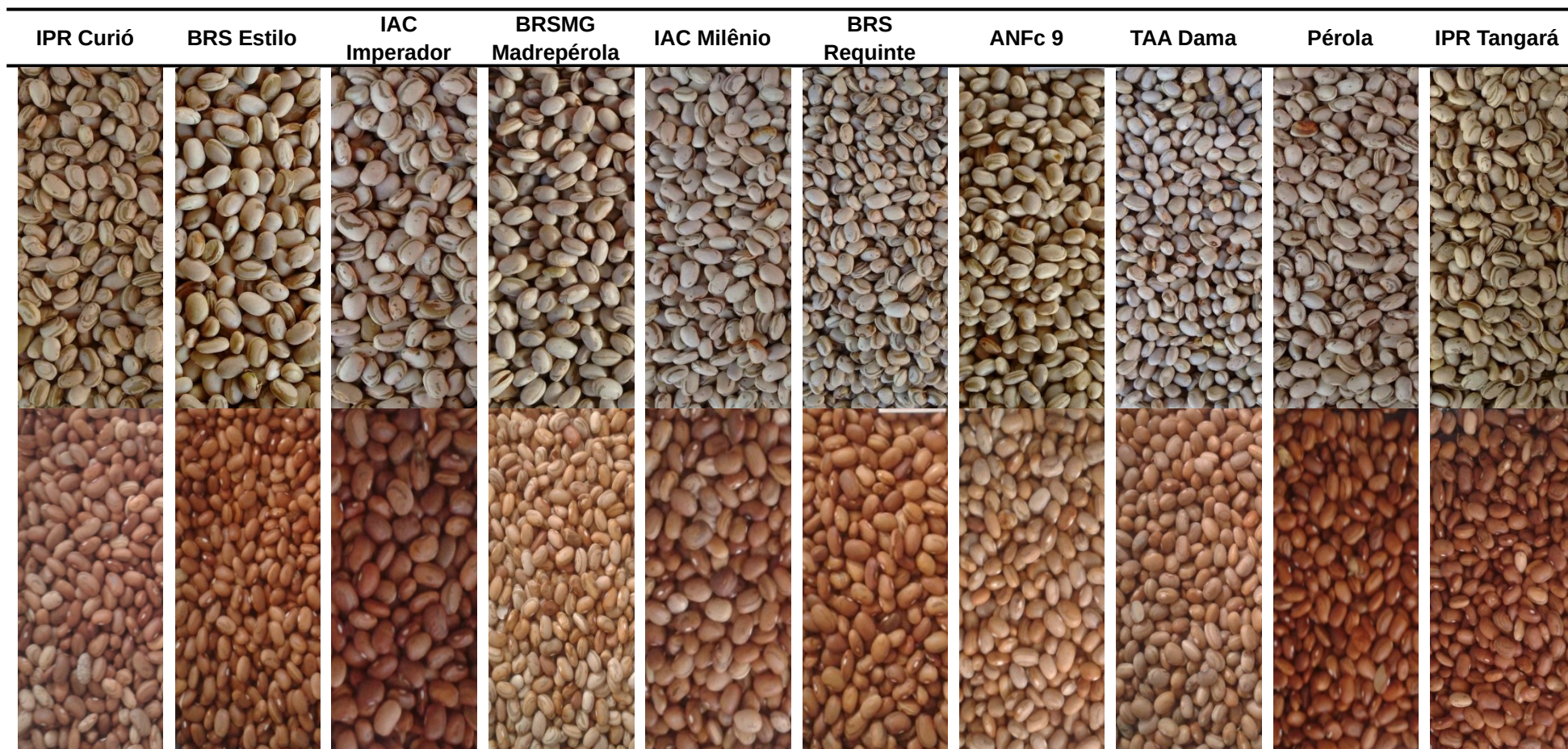
Aos 120 dias de armazenamento cinco genótipos apresentaram valores superiores de luminosidade, ou seja, mais claros, não diferindo significativamente, sendo IPR Curió (34,89), BRSMG Madrepérola (35,71), BRS Requite (34,49), ANFc 9 (36,43) e TAA Dama (35,18), enquanto BRS Estilo (32,84), IAC Imperador (32,14), IAC Milênio (33,14), Pérola (33,29) e IPR Tangará (34,04), apresentaram valores inferiores de  $L^*$ , ou seja mais escuros. O comportamento do genótipo IAC Milênio, foi interessante pois até 90 dias de armazenamento estava entre os genótipos com maior valor de  $L^*$ , apresentando decréscimo expressivo no último período de

avaliação.

O armazenamento prolongado do feijão em condições de alta temperatura e umidade relativa tem sido associado ao desenvolvimento do escurecimento e do defeito textural conhecido como hard-to-cook (HTC), dificultando o cozimento dos grãos (RIBEIRO et al., 2009).

Comportamento semelhante foi obtido por João (2016), que durante o armazenamento dos grãos em condições de umidade e temperatura ambiente, a cultivar BRSMG Madrepérola, destacou-se pelo maior valor de luminosidade (55,47) após 210 dias de armazenamento, em comparação com BRS 9435 Cometa, BRS Estilo, BRSMG Majestoso e BRS Notável, com valores inferiores.

Segundo Ribeiro et al. (2008) os grãos de feijão-carioca com maior valor de mercado são aqueles com valores de luminosidade  $L^*$  de aproximadamente 55. No entanto, para os grãos recém-colhidos foram inferiores, podendo ser explicado pelas condições do ambiente de cultivo, que foi úmido durante o final do ciclo. Ribeiro et al. (2004), avaliaram 16 cultivares de feijão em três safras e épocas distintas de semeadura, confirmando que a coloração do tegumento dos grãos é influenciada pelo ambiente. Este comportamento foi identificado também por Lopes (2011), que avaliou a luminosidade dos grãos de feijão-carioca em diferentes épocas de cultivo, sendo que na época das águas os valores de luminosidade  $L^*$  foram inferiores.



**Figura 3** – Genótipos de feijão-carioca recém-colhidos (linha superior) e após quatro meses de armazenamento (linha inferior) sob condições de envelhecimento acelerado.

**Tabela 2** – Luminosidade L\* do tegumento de dez genótipos de feijão-carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.

Genótipos	Tempo de Armazenamento (dias)					
	0	15	30	60	90	120
	Luminosidade L*					
IPR Curió	42,56±1,15 Aa	40,58±2 Aa	38,85±1,01 Ba	38,04±0,83 Ba	35,96±2,51 Ca	34,89±2,63 Ca
BRS Estilo	42,76±1,14 Aa	39,38±1,73 Ba	38,40±1,87 Ba	34,80±2,17 Ca	33,49±1,57 Ca	32,84±0,82 Cb
IAC Imperador	44,21±0,79 Aa	40,38±1,62 Ba	39,54±1,63 Ba	35,93±2,65 Ca	33,33±2,35 Da	32,14±0,57 Db
BRSMG Madre.	43,54±1,25 Aa	41,26±1,15 Aa	40,75±1,13 Aa	37,26±3,14 Ba	36,30±2,38 Ba	35,71±2,19 Ba
IAC Milênio	41,68±1,10 Aa	39,87±0,80 Aa	39,27±0,83 Aa	35,68±2,20 Ba	34,14±1,73 Ba	33,14±1,87 Bb
BRS Requite	40,34±1,12 Aa	39,67±0,96 Aa	38,40±0,59 Aa	39,91±1,34 Ba	34,87±2,15 Ba	34,49±2,15 Ba
ANFc 9	41,64±0,95 Aa	40,81±0,69 Aa	40,60±0,47 Aa	36,72±2,34 Ba	35,86±1,81 Ba	36,43±1,58 Ba
TAA Dama	41,91±0,35 Aa	41,22±0,86 Aa	40,74±1,43 Aa	36,03±2,75 Ba	35,45±2,45 Ba	35,18±2,17 Ba
Pérola	43,03±1,73 Aa	40,09±1,21 Ba	39,60±0,80 Ba	34,45±2,10 Ca	35,24±2,21 Ca	33,29±1,40 Cb
IPR Tangará	43,82±1,26 Aa	40,47±1,21 Ba	38,46±1,76 Ca	37,99±1,17 Ca	34,24±1,21 Ca	34,04±1,78 Db

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na HORIZONTAL e minúscula na VERTICAL, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ( $p \leq 0,05$ ). Médias seguidas do desvio padrão.

A cromaticidade  $a^*$  (Tabela 3), parâmetro de cor compreendido entre o verde e vermelho, apresentou aumento significativo para todos os genótipos avaliados durante os cinco meses de armazenamento, sendo que, aos quinze primeiros dias houve diferenças significativas para a maioria dos genótipos.

Após os 120 dias de armazenamento os genótipos IPR Curió (5,43), BRSMG Madrepérola (4,74), BRS Requite (5,71), ANFc 9 (5,35), TAA Dama (5,18), apresentaram valores inferiores de cromaticidade  $a^*$ , quando comparados com BRS Estilo (6,34), IAC Imperador (6,50), IAC Milênio (6,34), Pérola (6,36) e IPR Tangará (6,04), que apresentaram valores superiores de cromaticidade  $a^*$ .

Observando os valores de luminosidade  $L^*$  e cromaticidade  $a^*$ , percebe-se que os valores de  $a^*$  observados aos 120 dias de armazenamento foram menores nos genótipos com maiores valores de  $L^*$ , indicando a contribuição dos dois parâmetros para a característica do escurecimento dos grãos. Resultado semelhante foi encontrado por Siqueira (2013) e NasarAbbas et al. (2009), os quais relataram que durante o processo de escurecimento dos grãos de feijão, ocorre o avermelhamento seguido de perda de luminosidade.

Os valores da cromaticidade  $b^*$  (Tabela 3), parâmetro de cor compreendido entre o azul e amarelo, apresentaram variações menos expressivas que cromaticidade  $a^*$  e luminosidade  $L^*$ . Os genótipos IPR Curió, BRSMG Madrepérola, BRS Requite, ANFc 9 e IPR Tangará não apresentaram diferenças significativas com o armazenamento. BRS Estilo, IAC Imperador, IAC Milênio, apresentaram redução e TAA Dama e Pérola apresentaram acréscimos no valor da cromaticidade  $b^*$ .

Os dez genótipos avaliados diferenciaram-se em relação à cromaticidade  $b^*$ , apenas aos 120 dias de armazenamento (Tabela 3). IPR Curió (7,33), BRSMG Madrepérola (7,58), BRS Requite (7,64), ANFc 9 (8,45) e TAA Dama (8,24) apresentaram valores superiores de cromaticidade  $b^*$  aos 120 dias de armazenamento, relacionando-se com BRS Estilo (6,24), IAC Imperador (5,94), IAC Milênio (5,34), Pérola (6,43), IPR Tangará (6,49), que apresentaram valores significativamente inferiores de cromaticidade  $b^*$  aos 120 dias de armazenamento.

Levando em consideração as variáveis luminosidade  $L^*$ , cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , os genótipos que apresentaram menor valor de  $L^*$ , ou seja, mais escuros, apresentando valores superiores de  $a^*$  e inferiores de  $b^*$ , indicando que com o tempo de armazenamento, os genótipos mais suscetíveis ao escurecimento,

apresentaram a tendência de avermelhamento e coloração amarela menos intensa, explicando o escurecimento dos grãos.

Em diversos trabalhos avaliando o escurecimento em frutas, o índice de escurecimento é obtido por meio de avaliação visual da extensão da área escurecida com escala pré definida, ou por meio da absorvância por espectrofotômetro (ZHU et al., 2009). Para grãos a Equação 2 é amplamente utilizada em avaliações do escurecimento em alimentos (BAL et al., 2011; SARICOBAN e YILMAZ, 2010).

O índice de escurecimento (IE) apresentou valores crescentes conforme prolongamento do armazenamento para todos os genótipos (Tabela 4). No início do armazenamento não houve diferenças entre os genótipos, porém após quinze, 30 e 60 dias os genótipos diferenciaram-se. BRS Estilo (43,03), IAC Milênio (42,11) e Pérola (41,64) apresentaram os maiores valores e ANFc 9 (31,94) apresentou o menor IE aos 60 dias de armazenamento.

A diferença total de cor ( $\Delta E$ ) é um parâmetro que avalia de forma conjunta a luminosidade  $L^*$  e cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , levando em consideração, neste caso, valores referentes a grãos recém-colhidos e após 120 dias de armazenamento. Conforme tabela 4, houve alterações significativas de cor, sendo que, IPR Curió (8,74), BRSMG Madrepérola (8,48), BRS Requite (6,77), ANFc 9 (6,40), e TAA Dama (8,03) apresentaram menor valor e BRS Estilo (10,74), IAC Imperador (12,77), IAC Milênio (9,66), Pérola (10,54) e IPR Tangará (10,62), apresentaram maior variação de cor entre o início e aos 120 dias de armazenamento.

Pode-se agrupar os genótipos de acordo com a suscetibilidade ao escurecimento, sendo que o genótipo com menor valor de  $\Delta E$  foi o ANFc 9 (6,40), não diferindo estatisticamente de IPR Curió, BRSMG Madrepérola, BRS Requite e TAA Dama. O genótipo com maior valor de  $\Delta E$  foi IAC Imperador (12,77), não diferindo de BRS Estilo, IAC Milênio, Pérola e IPR Tangará. Este comportamento já foi identificado pela avaliação individual de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , sendo que a diferença total de cor comprovou este comportamento pela avaliação generalizada das variáveis. Os genótipos BRSMG Madrepérola e BRS Requite já foram caracterizados pelo escurecimento lento dos grãos, conforme Carneiro et al. (2012) e Faria et al. (2004).



**Tabela 3** – Cromaticidades a\* e b\* do tegumento de dez genótipos de feijão-carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.

Genótipos	Tempo de Armazenamento (dias)					
	0	15	30	60	90	120
Cromaticidade a*						
IPR Curió	2,38±0,20 Cb	3,36±0,71 Bb	3,87±0,51 Bb	4,51±0,83 Ab	5,04±0,68 Ab	5,43±0,68 Ab
BRS Estilo	2,83±0,18 Ca	4,44±0,43 Ba	4,88±0,11 Ba	5,91±0,66 Aa	6,31±0,48 Aa	6,34±0,47 Aa
IAC Imperador	2,56±0,28 Ca	4,95±0,37 Ba	5,29±0,27 Ba	6,02±0,24 Aa	6,32±0,25 Aa	6,50±0,36 Aa
BRSMG Madre.	2,02±0,18 Db	2,83±0,52 Cc	3,34±0,51 Bb	3,61±0,41 Bc	4,09±0,30 Ab	4,74±0,48 Ab
IAC Milênio	2,98±0,75 Ca	4,60±0,45 Ba	5,07±0,49 Ba	5,81±0,50 Aa	6,15±0,41 Aa	6,34±0,40 Aa
BRS Requite	3,03±0,55 Ca	4,46±0,32 Ba	4,69±0,18 Ba	5,24±0,13 Aa	5,59±0,33 Aa	5,71±0,32 Ab
ANFc 9	2,25±0,43 Db	2,64±0,44 Dc	3,34±0,94 Cb	3,90±0,67 Bb	4,56±0,70 Bb	5,35±0,58 Ab
TAA Dama	1,74±0,16 Db	2,50±0,40 Cc	2,68±0,29 Cc	3,66±0,19 Bb	4,70±0,91 Ab	5,18±0,49 Ab
Pérola	2,57±0,30 Ca	4,19±0,35 Ba	4,45±0,28 Ba	5,85±0,30 Aa	6,14±0,40 Aa	6,36±0,26 Aa
IPR Tangará	2,21±0,28 Db	3,60±0,17 Cb	4,32±0,54 Ba	5,05±0,49 Ba	5,84±0,36 Aa	6,04±0,21 Aa
Cromaticidade b*						
IPR Curió	7,50±0,48 Aa	7,62±0,35 Aa	7,58±0,76 Aa	8,25±0,65 Aa	7,95±1,03 Aa	7,33±2,14 Aa
BRS Estilo	7,94±0,69 Aa	7,78±0,70 Aa	7,59±0,57 Aa	9,00±1,84 Aa	7,69±1,25 Aa	6,24±0,42 Bb
IAC Imperador	7,53±0,59 Aa	8,56±0,49 Aa	8,27±0,06 Aa	7,94±1,06 Aa	6,52±0,61 Ba	5,94±0,62 Bb
BRSMG Madre.	7,35±0,56 Aa	7,34±0,92 Aa	8,12±0,54 Aa	8,70±0,44 Aa	8,89±0,56 Aa	7,58±0,65 Aa
IAC Milênio	8,13±1,23 Aa	8,43±0,56 Aa	8,82±0,88 Aa	9,22±1,16 Aa	7,48±0,72 Aa	5,34±1,11 Bb
BRS Requite	7,40±1,12 Aa	7,82±0,61 Aa	7,77±0,61 Aa	8,27±1,03 Aa	6,95±0,86 Aa	7,64±1,03 Aa
ANFc 9	6,80±0,58 Aa	6,95±1,00 Aa	7,22±1,05 Aa	8,00±0,89 Aa	7,91±1,37 Aa	8,50±1,37 Aa
TAA Dama	6,12±0,47 Ba	6,77±0,32 Ba	6,51±0,94 Ba	8,50±0,25 Aa	8,04±1,52 Aa	8,24±1,29 Aa
Pérola	7,61±0,74 Ba	7,36±0,23 Ba	7,59±0,86 Ba	8,66±1,16 Aa	8,78±1,15 Aa	6,43±0,96 Bb
IPR Tangará	7,32±0,55 Aa	6,81±0,68 Aa	7,44±0,63 Aa	7,60±0,94 Aa	8,08±0,97 Aa	6,49±1,22 Ab

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na HORIZONTAL e minúscula na VERTICAL, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ( $p \leq 0,05$ ). Médias seguidas do desvio padrão.

**Tabela 4** – Índice de escurecimento (IE) do tegumento de dez genótipos de feijão-carioca durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.

Genótipos	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	15	30	60	90	120	0-120
	Índice de Escurecimento IE						$\Delta E$
IPR Curió	23,18±2,14 Ba	26,63±3,16 Bb	28,65±2,15 Ba	32,77±11,65 Ab	34,91±5,30 Aa	34,34±5,21 Aa	8,74±2,14 b
BRS Estilo	25,05±1,89 Ca	29,98±3,03 Ba	31,02±2,22 Ba	43,03±5,09 Aa	39,59±3,48 Aa	34,80±3,20 Ba	10,74±1,69 a
IAC Imperador	22,54±1,63 Ba	32,48±2,79 Aa	32,93±1,83 Aa	37,05±4,19 Ab	35,32±4,14 Aa	34,76±3,40 Aa	12,77±1,20 a
BRSMG Madre.	21,59±2,23 Ba	24,30±3,74 Bb	27,96±3,29 Ba	33,63±8,82 Ab	36,15±3,96 Aa	33,37±3,63 Aa	8,48±1,68 b
IAC Milênio	26,68±3,51 Ba	31,81±1,55 Ba	34,46±2,82 Ba	42,11±4,83 Aa	37,59±3,00 Aa	31,00±2,68 Ba	9,66±2,03 a
BRS Requite	25,51±4,62 Ba	29,85±2,60 Ba	31,21±2,31 Ba	35,61±3,57 Ab	33,58±3,47 Aa	36,71±1,69 Aa	6,77±2,56 b
ANFc 9	21,50±2,83 Ba	23,13±3,44 Bb	25,29±4,72 Bb	31,94±3,96 Ac	33,73±9,21 Aa	36,79±4,47 Aa	6,40±1,88 b
TAA Dama	18,50±1,19 Ba	22,02±1,30 Bb	21,92±2,73 Bb	34,24±8,06 Ab	35,70±7,91 Aa	37,23±4,47 Aa	8,03±1,76 b
Pérola	23,43±1,68 Ca	27,61±1,58 Ca	29,16±2,85 Ca	41,64±2,67 Aa	42,88±2,32 Aa	34,97±2,74 Ba	10,54±0,83 a
IPR Tangará	21,66±1,48 Ba	24,60±2,02 Bb	29,45±3,33 Aa	32,61±3,87 Ab	36,07±5,21 Aa	33,59±2,90 Aa	10,62±1,65 a

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na HORIZONTAL e minúscula na VERTICAL, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ( $p \leq 0,05$ ). Médias seguidas do desvio padrão.



A capacidade de absorção de água dos grãos diminuiu com o tempo de armazenamento para a maioria dos genótipos estudados, sendo que, apenas IAC Milênio, BRS Estilo e Pérola não apresentaram diferenças significativas após os 120 dias de armazenamento (Tabela 5). Delfino et al. (2010), avaliaram a capacidade de absorção de água dos grãos da cultivar Pérola durante 60 dias de armazenamento em condições ambiente, observando decréscimos de 130 para 110 % após 60 dias de armazenamento. Os principais fatores que afetam a taxa de embebição dos grãos de feijão são a cultivar, nível de umidade e tempo de armazenamento (RIOS et al., 2003).

Logo após a colheita os genótipos com maior capacidade de absorção de água foram BRS Estilo, TAA Dama e Pérola. Após os 120 dias de armazenamento BRS Estilo, IAC Milênio, TAA Dama e Pérola apresentaram maior capacidade e BRSMG Madrepérola apresentou a menor, diferindo dos demais genótipos avaliados.

Os genótipos que apresentaram maior capacidade de absorção de água logo após a colheita mantiveram-se após 120 dias de armazenamento, sendo que, somente IAC Milênio que no início do armazenamento apresentava absorção inferior, manteve-se entre os genótipos com maior capacidade de absorção de água após os 120 dias de armazenamento.

Os maiores decréscimos foram observados entre 90 e 120 dias de armazenamento para a maioria dos genótipos, podendo estar associada ao nível elevado de envelhecimento dos grãos, o qual foi acelerado pelas condições de umidade e temperatura, fatores que segundo Ávila et al. (2014), aceleram o aparecimento do defeito conhecido como “hard-to-cook” (HTC) nos feijões armazenados apresentando correlação positiva com a queda da capacidade de absorção de água.

Pode-se observar que a absorção de água pelos grãos aumenta com o tempo de embebição (Figura 4) para todos os genótipos, tanto para grãos recém-colhidos como após 120 dias de armazenamento. Os grãos do genótipo BRS Estilo apresentaram o maior teor de absorção e BRSMG Madrepérola apresentou a menor absorção, podendo concluir que os padrões de absorção de água dos grãos são influenciados pelas características de cada genótipo.

Resultados semelhantes foram encontrados por João (2016), ao avaliar as curvas de absorção de água das cultivares BRS Estilo, BRSMG Madrepérola,

BRS 9435 Cometa, BRSMG Majestoso e BRS Notável aos 60 e 90 dias de armazenamento, sendo que, a absorção de água aumentou com o tempo de embebição e BRS Estilo foi o genótipo com maior absorção e BRSMG Madrepérola foi o genótipo com menor absorção.

O padrão de absorção modificou-se após o armazenamento dos grãos por 120 dias em condição de envelhecimento acelerado, com IAC Imperador, IPR Tangará, BRS Requite, BRSMG Madrepérola e IPR Curió apresentaram menor teor de absorção de água, no decorrer das 12 horas de avaliação.

Em estudo das curvas de absorção de água das cultivares de feijão BRS Radiante, Ouro Vermelho, BRS MG Talismã, BRS Supremo e Bolinha, também verificou-se aumento da absorção de água pelos grãos, à medida que aumentava o tempo de embebição, porém o padrão de absorção foi o mesmo, após 12 meses de armazenamento, em relação aos grãos recém-colhidos (Oliveira, 2010).

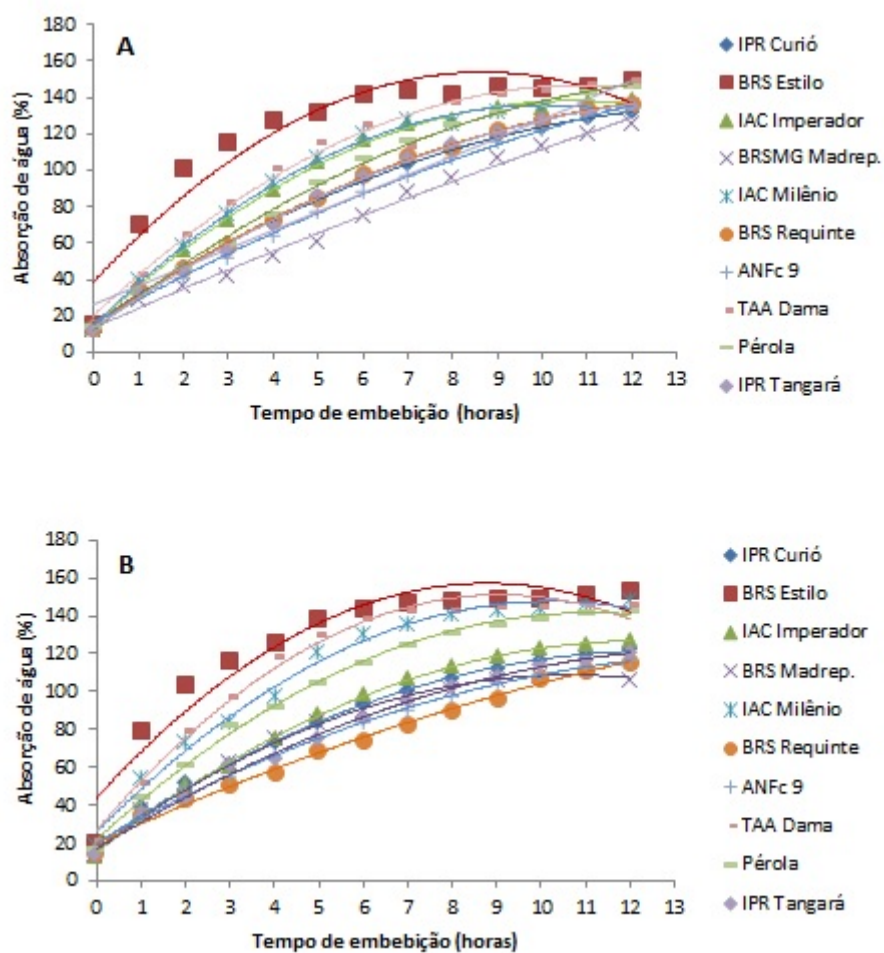
Durante o armazenamento o peso de mil sementes apresentou diferenças, porém se considerar apenas os valores referentes ao início e após 120 dias de armazenamento, não foram significativas para todos os genótipos avaliados. IPR Curió, BRS Estilo, IAC Imperador, TAA Dama e Pérola apresentaram aumento dos valores de peso de mil sementes, principalmente após 30 dias de armazenamento, porém após 120 dias essa diferença já não foi significativa. O elevado teor de umidade (75%) da condição em que os grãos foram armazenados pode explicar o aumento do peso de mil sementes já no primeiro mês de avaliação, pois o teor de água da semente é função direta da umidade relativa do ambiente e da pressão de vapor de água da semente e outros fatores intrínsecos a semente (MARCOS FILHO, 2005), BRS Estilo, TAA Dama e Pérola apresentaram os maiores percentuais de absorção de água após 120 dias de armazenamento (Tabela 5).

Resultados semelhantes foram encontrados por Haeberlin (2017), que ao avaliar o comportamento de sementes de canola, com diferentes percentuais de umidade durante 180 dias de armazenamento observaram oscilações de peso de mil sementes durante os 120 dias de armazenamento, porém os resultados finais obtidos não apresentaram diferenças significativas. Cassol et al. (2012), ao analisarem o comportamento de cinco lotes de feijão carioca da cultivar IPR Tangará, durante 90 dias de armazenamento não encontraram diferenças significativas para o peso de mil sementes.

**Tabela 5** – Absorção de água dos grãos de dez genótipos de feijão-carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.

Genótipos	Tempo de Armazenamento (dias)						0-120
	0	15	30	60	90	120	
	Absorção de água (%)						% $\Delta$ Abs.
IPR Curió	1,32±0,05 Ab	1,34±0,03 Ab	1,34±0,03 Ab	1,33±0,04 Ab	1,34±0,10 Ac	1,23±0,12 Bb	-6,97
BRS Estilo	1,50±0,03 Aa	1,54±0,01 Aa	1,43±0,03 Ba	1,43±0,04 Ba	1,55±0,08 Aa	1,54±0,02 Aa	2,74
IAC Imperador	1,39±0,02 Ab	1,47±0,01 Aa	1,31±0,04 Bb	1,40±0,04 Aa	1,46±0,08 Ab	1,27±0,10 Bb	-8,43
BRSMG Madre.	1,26±0,07 Ab	1,38±0,05 Ab	1,32±0,08 Ab	1,31±0,11 Ab	1,37±0,08 Ac	1,06±0,07 Bc	-16,01
IAC Milênio	1,36±0,01 Ab	1,42±0,05 Ab	1,36±0,03 Ab	1,40±0,07 Aa	1,45±0,10 Ab	1,49±0,08 Aa	9,15
BRS Requite	1,37±0,02 Ab	1,38±0,03 Ab	1,38±0,02 Aa	1,32±0,03 Ab	1,38±0,02 Ac	1,16±0,15 Bb	-15,79
ANFc 9	1,35±0,03 Ab	1,31±0,01 Ab	1,35±0,01 Ab	1,32±0,05 Ab	1,35±0,08 Ac	1,17±0,13 Bb	-12,97
TAA Dama	1,50±0,03 Aa	1,44±0,03 Ab	1,46±0,03 Aa	1,48±0,06 Aa	1,50±0,06 Aa	1,43±0,06 Ba	-4,76
Pérola	1,47±0,04 Aa	1,40±0,01 Ab	1,43±0,05 Aa	1,45±0,03 Aa	1,53±0,08 Aa	1,44±0,08 Aa	-2,21
IPR Tangará	1,36±0,03 Ab	1,41±0,02 Ab	1,45±0,02 Aa	1,46±0,03 Aa	1,49±0,05 Aa	1,20±0,10 Bb	-11,29

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na HORIZONTAL e minúscula na VERTICAL, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ( $p \leq 0,05$ ). Médias seguidas do desvio padrão.



**Figura 4** – Curva de absorção de água (%) dos grãos de dez genótipos de feijão-carioca, grãos recém-colhidos (A) e após 120 dias de armazenamento (B) sob condições de envelhecimento acelerado.

**Tabela 6 – Massa de mil grãos (g) de dez genótipos de feijão carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.**

Genótipos	Tempo de Armazenamento (dias)					
	0	15	30	60	90	120
	Massa de mil grãos (g)					
IPR Curió	275,3±6,31 Bb	279,8±8,76 Bb	284,9±10,02 Ab	289,7±8,29 Aa	290,9±10,33 Ab	272,2±10,05 Bb
BRS Estilo	267,7±3,30 Bb	274,0±4,44 Ab	277,6±5,15 Ab	277,6±7,89 Ab	279,6±4,37 Ab	260,3±3,51 Bc
IAC Imperador	262,3±6,66 Bb	265,5±1,94 Bb	272,1±8,50 Ab	272,1±2,50 Ab	278,6±7,79 Ab	255,7±10,24 Bc
BRSMG Madre.	273,5±19,6 Ab	276,3±3,75 Ab	276,8±9,44 Ab	276,8±8,20 Ab	287,3±11,5 Ab	267,5±10,24 Ab
IAC Milênio	267,7±3,09 Ab	275,0±3,72 Ab	273,2±10,11 Ab	273,2±5,53 Ab	283,6±5,52 Ab	261,7±4,84 Ac
BRS Requite	228,8±6,23 Ac	234,8±9,20 Ac	238,2±7,11 Ac	238,2±9,24 Ac	236,0±7,50 Ac	225,61±7,93 Ad
ANFc 9	289,8±4,24 Aa	305,5±10,93 Aa	299,4±9,53 Aa	299,4±3,06 Aa	306,5±10,91 Aa	294,2±10,52 Aa
TAA Dama	290,1±4,85 Ba	280,6±3,99 Bb	289,4±2,71 Aa	289,4±2,64 Aa	295,2±1,68 Aa	273,9±5,28 Bb
Pérola	284,3±8,29 Ba	300,8±3,52 Aa	304,4±1,66 Aa	304,4±2,81 Aa	308,4±8,63 Aa	283,9±4,97 Ba
IPR Tangará	276,2±5,90 Ab	279,9±6,82 Ab	284,4±8,26 Ab	284,4±3,89 Ab	284,9±5,80 Ab	272,6±4,31 Ab

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na HORIZONTAL e minúscula na VERTICAL, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ( $p \leq 0,05$ ). Médias seguidas do desvio padrão.

Considerando os valores de L\*, cromaticidade a\* e b\*, índice de escurecimento e capacidade de absorção de água dos grãos durante os 120 dias de armazenamento foi calculada a dissimilaridade genética entre os genótipos, baseada na distância generalizada de Mahalanobis.

Logo após a colheita, os caracteres que mais contribuíram para a divergência foram absorção de água e cromaticidade b\* (Tabela 7), sendo que juntos foram responsáveis por 80,2% da divergência entre os genótipos. Aos 15, 30 e 60 dias de armazenamento a cromaticidade a\* e absorção de água foram as variáveis que mais contribuíram para a diversidade dos genótipos com valores de 89,82%, 70,49% e 80,21% respectivamente. Aos 90 dias o IE foi a variável que mais contribuiu para a diversidade genética com 36,64%, seguido da cromaticidade a\* (29,95%) e ABS (20,46%). Aos 120 dias de armazenamento a contribuição das variáveis cromaticidade a\* e b\*, IE e ABS foram semelhantes, sendo de 28,11; 26,04; 18,92 e 23,97% respectivamente e L\* contribuiu com 2,96% para a divergência genética entre os genótipos.

**Tabela 7** – Contribuição relativa dos caracteres para a divergência entre os genótipos de feijão (*Phaseolus Vulgaris* L.) baseados na distância generalizada de Mahalanobis em análise de dez genótipos de feijão carioca, submetidos ao envelhecimento acelerado dos grãos.

Início		15 dias	
Variáveis	Frequência (%)	Variáveis	Frequência (%)
L*	3,2199	L*	1,8623
a*	11,2846	a*	40,0729
b*	27,7364	b*	2,4034
IE	5,336	IE	5,9116
ABS	52,4231	ABS	49,7499
30 dias		60 dias	
Variáveis	Frequência (%)	Variáveis	Frequência (%)
L*	10,6816	L*	3,2772
a*	42,1779	a*	58,9116
b*	4,8212	b*	5,5706
IE	14,0049	IE	10,9353
ABS	28,3144	ABS	21,3054
90 dias		120 dias	
Variáveis	Frequência (%)	Variáveis	Frequência (%)
L*	11,9918	L*	2,9569
a*	29,9517	a*	28,1079
b*	1,9497	b*	26,0417
IE	35,6437	IE	18,9211
ABS	20,4631	ABS	23,9724

L\* (Luminosidade); a\* (cromaticidade a); b\* (cromaticidade b); IE (Índice de escurecimento); ABS (Absorção de água).

Com base na matriz de distâncias, foi realizado agrupamento pelo método de otimização de Tocher (Tabela 8), com o objetivo de identificar os genótipos mais dissimilares durante os 120 dias de armazenamento.

**Tabela 8** – Agrupamento segundo o método de otimização de Tocher com base na distância generalizada de Mahalanobis incluindo os 10 genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante 120 dias de armazenamento em condições de envelhecimento acelerado.

Início		15 dias	
Grupo	Genótipos	Grupo	Genótipos
I	BRS Estilo; Pérola; IAC Imperador; IPR Tangará.	I	BRS Requite; Pérola; IPR Tangará; IAC Milênio.
II	IPR Curió; ANFc 9; IAC Milênio; BRS Requite.	II	IPR Curió; ANFc 9; BRSMG Madrepérola;
III	BRSMG Madrepérola	III	BRS Estilo; IAC Imperador;
IV	TAA Dama	IV	TAA Dama;
30 dias		60 dias	
Grupo	Genótipos	Grupo	Genótipos
I	BRS Estilo; BRS Requite; Pérola; IPR Tangará; IAC Milênio	I	BRS Estilo; Pérola; IAC Milênio; IAC Imperador; IPR Tangará; BRS Requite
II	BRSMG Madrepérola; ANFc 9; IPR Curió	II	BRSMG Madrepérola; ANFc 9; IPR Curió
III	IAC Imperador	III	TAA Dama
IV	TAA Dama		
90 dias		120 dias	
Grupo	Genótipos	Grupo	Genótipos
I	IAC Imperador; IAC Milênio; BRS Requite; IPR Tangará; BRS Estilo; IPR Curió; Pérola	I	BRS Requite; ANFc9; IPR Curió; IPR Tangará; IAC Imperador; Pérola
II	BRSMG Madrepérola; ANFc 9	II	BRS Estilo; IAC Milênio
III	TAA Dama	III	TAA Dama
		IV	BRSMG Madrepérola

Logo após a colheita os genótipos foram discriminados em quatro grupos, sendo o grupo I formado por: BRS Estilo, Pérola, IAC Imperador e IPR Tangará; Grupo II: IPR Curió, ANFc 9, IAC Milênio e BRS Requite; Grupo III: BRSMG Madrepérola; Grupo IV: TAA Dama. OS caracteres que mais contribuíram para a divergência entre os genótipos foram ABS e cromaticidade b\*, sendo que, TAA Dama apresentou o menor valor de cromaticidade b\* e maior teor de ABS e BRSMG Madrepérola apresentou o menor teor de ABS (Tabelas 3 e 5), podendo explicar a discriminação destes, em relação aos demais genótipos.

O armazenamento dos grãos em condição de envelhecimento acelerado modificou o comportamento dos genótipos nos primeiros quinze dias de armazenamento, com formação de quatro grupos, sendo o grupo I formado por: BRS

Requinte, Pérola, IPR Tangará e IAC Milênio; Grupo II: IPR Curió, ANFc 9 e BRSMG Madrepérola; Grupo III: BRS Estilo e IAC Imperador; Grupo IV: TAA Dama. Neste período de avaliação os caracteres com maior importância para divergência entre os genótipos foram a cromaticidade  $a^*$  e ABS (Tabela 5). BRS Estilo e IAC Imperador apresentaram maiores valores de ABS aos quinze dias de armazenamento. BRSMG Madrepérola, ANFc 9 e TAA Dama apresentaram menores valores de cromaticidade  $a^*$ , podendo explicar a formação de um grupo com BRSMG Madrepérola que ao início do armazenamento estava isolado. Os demais genótipos apresentaram valores superiores de cromaticidade  $a^*$ , indicando a tendência de avermelhamento dos grãos após alguns dias de armazenamento.

Aos 30 dias de armazenamento IAC Imperador apresentou o maior valor de cromaticidade  $a^*$  e menor teor de ABS dos grãos (Tabela 3 e 5), podendo explicar a formação de um grupo isolado por IAC Imperador (Tabela 8). Após 60 dias de armazenamento houve a formação de três grupos, sendo um deles constituído por 60% dos genótipos avaliados. O grupo I foi formado por: BRS Estilo, Pérola, IAC Milênio, IAC Imperador, IPR Tangará e BRS Requinte; Grupo II: BRSMG Madrepérola, ANFc 9 e IPR Curió; Grupo III: TAA Dama. As variáveis que apresentaram maior importância para a discrepância entre os genótipos neste tempo de armazenamento foram a cromaticidade  $a^*$  e ABS. Todos os genótipos pertencentes ao grupo I apresentaram valores superiores de cromaticidade  $a^*$ , diferindo dos demais genótipos (Tabela 3).

Após 120 dias de armazenamento dos grãos, foram observados a formação de quatro grupos. BRSMG Madrepérola constituiu um grupo isoladamente (Grupo IV), sendo o genótipo que apresentou o menor teor de ABS, valor inferior de cromaticidade  $a^*$  e superior de cromaticidade  $b^*$ , onde o aumento de  $b^*$  (amarelamento) pode mascarar o aumento  $a^*$  (avermelhamento), proporcionando escurecimento menos intenso dos grãos. TAA Dama também formou um grupo isolado (Grupo III), apresentando também valores elevados da cromaticidade  $b^*$ . BRS Estilo e IAC Milênio apresentaram valores superiores de ABS, após os 120 dias de armazenamento, constituindo o grupo II.

Os resultados da análise multivariada indicaram que não deve-se considerar apenas os valores de luminosidade  $L^*$  para avaliar o escurecimento dos grãos, sendo que, os valores de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$  contribuem consideravelmente para diferenciar as características entre os genótipos. Aos 120 de



armazenamento fica evidente que aumentos da cromaticidade  $b^*$ , referente ao amarelamento dos grãos, podem mascarar os aumentos de  $a^*$  (avermelhamento). Os valores de ABS foram importantes para diferenciar o comportamento dos genótipos, sendo que, nem sempre ele estará associado ao escurecimento dos grãos.

Os genótipos avaliados apresentaram diferenças significativas do teor de proteínas solúveis totais presentes no tegumento logo após a colheita, com IPR Curió(16,27) e BRS Estilo (17,18) apresentando teores inferiores em relação aos demais genótipos (Tabela 9).

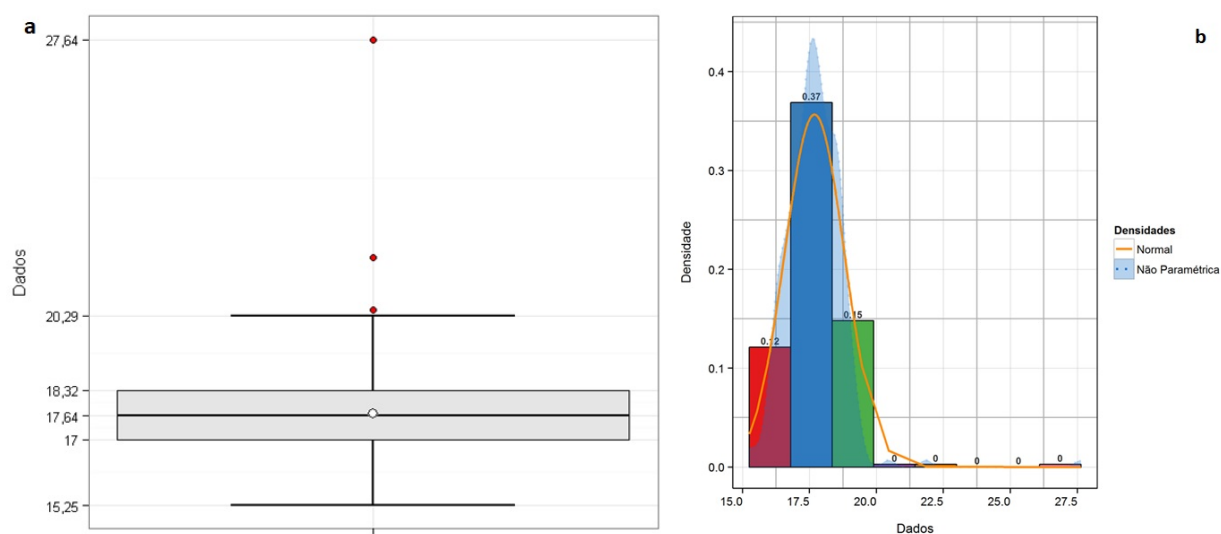
Com o decorrer dos 120 dias de armazenamento, IPR Curió apresentou aumento do teor de proteínas solúveis, passando de 16,27 para 17,65 mg de proteína  $g^{-1}$  de tegumento. IAC Imperador (18,06 - 17,35), TAA Dama (18,24 - 17,27) e Pérola (18,57 - 17,64) apresentaram decréscimos e os demais genótipos não apresentaram diferenças significativas durante o armazenamento. Em contraste Ribeiro et al. (2005), avaliaram o comportamento do feijão Iapar 44, submetido ao envelhecimento acelerado durante 60 dias, não obtendo diferenças no teor de proteínas presentes nos grãos.

**Tabela 9** – Teor de proteínas solúveis ( $\text{mg g}^{-1}$ ) presentes no tegumento de dez genótipos de feijão-carioca, durante 120 dias de armazenamento sob condições de envelhecimento acelerado.

Genótipos	Tempo de Armazenamento (dias)					
	0	15	30	60	90	120
	Proteínas Solúveis ( $\text{mg g}^{-1}$ de tegumento)					
IPR Curió	16,27±0,18 Bb	17,05±0,18 Ba	16,86±0,37 Ba	17,94±1,14 Aa	18,03±0,49 Aa	17,65±0,79 Aa
BRS Estilo	17,18±0,47 Ab	17,03±0,39 Aa	17,62±0,06 Aa	17,51±0,35 Aa	18,16±0,20 Aa	17,56±0,44 Aa
IAC Imperador	18,06±0,37 Aa	16,81±0,77 Ba	17,50±0,10 Ba	18,80±0,30 Aa	18,40±0,27 Aa	17,35±0,41 Ba
BRSMG Madre.	17,78±0,62 Aa	16,44±0,23 Ba	16,32±0,10 Ba	18,84±0,09 Aa	18,66±0,19 Aa	17,82±0,38 Aa
IAC Milênio	17,64±0,10 Aa	16,40±0,26 Ba	17,02±0,42 Ba	18,04±0,54 Aa	18,03±0,26 Aa	17,49±0,35 Aa
BRS Requite	18,13±0,20 Aa	16,36±0,63 Ba	16,95±0,37 Ba	18,02±0,36 Aa	18,97±0,35 Aa	18,42±2,04 Aa
ANFc 9	17,69±0,24 Aa	17,72±0,31 Aa	17,39±0,27 Aa	18,60±0,25 Aa	18,30±0,11 Aa	17,31±0,31 Aa
TAA Dama	18,24±0,55 Aa	15,78±0,42 Ba	16,55±0,33 Ba	18,56±0,52 Aa	18,31±0,17 Aa	17,27±0,15 Ba
Pérola	18,57±0,42 Aa	16,76±0,54 Ba	17,43±0,78 Ba	18,42±0,58 Aa	18,43±0,33 Aa	17,64±0,24 Ba
IPR Tangará	17,46±0,26 Ba	16,48±0,35 Aa	17,42±0,54 Ba	18,77±0,14 Aa	18,50±0,07 Aa	17,51±0,14 Ba

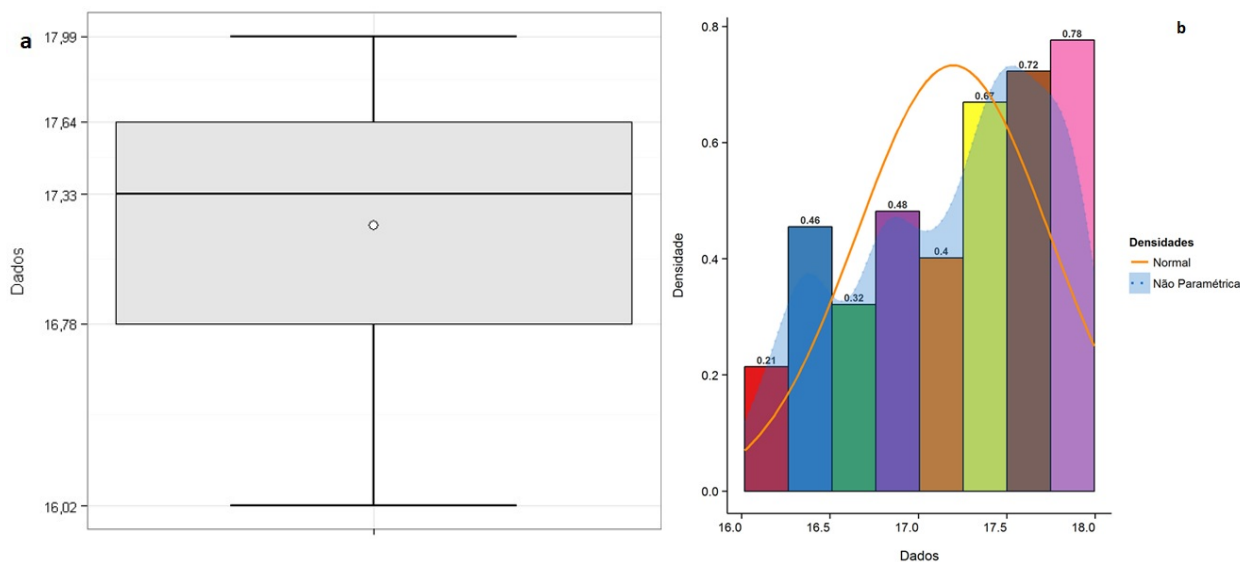
Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na HORIZONTAL e minúscula na VERTICAL, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ( $p \leq 0,05$ ). Médias seguidas do desvio padrão.

A partir do conjunto de dados obtidos pela metodologia referência (Bradford) foi possível identificar o comportamento dos dados, utilizando o boxplot (Figura 4), incluindo todo o conjunto de dados da análise representando *outliers* na faixa de 20,45 a 27,63 mg g<sup>-1</sup> de proteína na amostra, sendo o primeiro quartil com 17,00 mg g<sup>-1</sup> e o terceiro com 18,31 mg g<sup>-1</sup> demonstrando a faixa ideal para trabalhar com o conjunto total de dados no NIRS. No entanto, quando comparado o mesmo conjunto de dados no histograma (Figura 5), aparecem regiões sem a presença de amostras referência, tornando o modelo pouco representativo. Sumarizando o gráfico de densidade, há estimativa de frequência de observações na região da linha, ou seja, os dados mais frequentes se concentram na região dos 16,00 a 18,00 mg g<sup>-1</sup>.



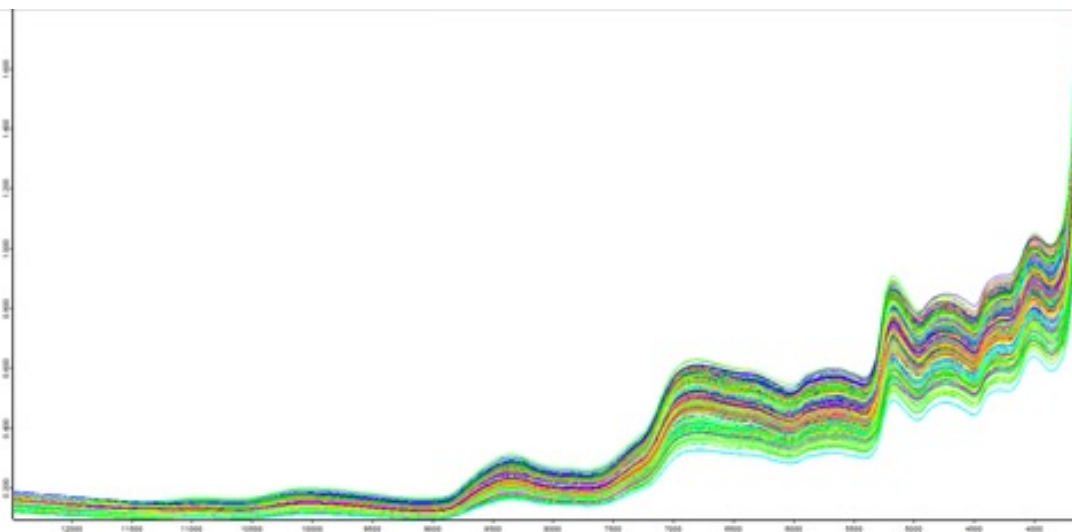
**Figura 5** – Representação gráfica do conjunto total de dados da análise de Bradford utilizada para desenvolver modelos de *Cross Validation* e *Test Set*. (a) Boxplot e (b) Histograma

Em seguida, foi gerado um novo *boxplot* (Figura 5) sem os *outliers*, apresentando uma faixa ideal entre primeiro quartil à 16,78 mg g<sup>-1</sup> e terceiro quartil com 17,63 mg g<sup>-1</sup>. Com a análise do histograma (Figura 6), onde pode-se observar a curva normal, demonstrando maior frequência na mesma faixa de amostras do *boxplot*, definindo os limites utilizados para gerar modelos de PLS.



**Figura 6** – Representação gráfica após a remoção dos *outliers* do conjunto de dados selecionada para desenvolver modelos de *Cross Validation* e *Test Set*. (a) Boxplot e (b) Histograma.

Após a seleção, o conjunto de dados foi plotado no programa *Opus.Lab*, onde foram cruzadas as leituras do NIRS e do Bradford, gerando os espectros. Primeiramente verificou-se a necessidade de tratamento dos dados iniciais, para evitar a ocorrência de picos sobrepostos, deixando a visualização do resultado complexa (MANLEY, 2014). Observando os espectros individuais sem *outliers* (Figura 7) totalizando 426 amostras com suas triplicatas, os mesmos apresentaram-se similares. Com isso, o único pré-tratamento utilizado foi o centrado na média.



**Figura 7** – Espectros individuais do conjunto de dados da farinha e farelo de dez genótipos de feijão carioca com suas triplicatas.

Conforme Ranzan et al. (2014) os parâmetros estatísticos são necessários para identificar a qualidade preditiva dos modelos, considerando os mais determinantes RMSECV para *Cross Validation* nas etapas de validação e calibração, pois, essa metodologia utiliza o mesmo grupo de amostras para calibrar e validar o modelo gerado. Para o *Test Set*, o RMSEP na etapa de validação é o mais importante, pois, os grupos de amostras são distintas nesta metodologia e o erro na validação define o modelo gerado. O  $R^2$  identifica a porcentagem de variância presente nos valores verdadeiros (Y) com os valores preditos (X), sendo utilizado para as duas metodologias.

Ao comparar o modelo de predição *Cross Validation* da farinha e do farelo (Tabela 10), observa-se que a farinha obteve  $R^2$  maior na validação e na calibração, com 52,41 e 63,4 respectivamente, para o farelo os valores foram menores, sendo  $R^2$  com 33,59 na validação e 52,9 para a calibração. No modelo do *Test Set* na validação a farinha apresentou valor de  $R^2$  maior (59,62) quando comparado com o farelo com 44,95. Conforme Xiaobo et al. (2010) quanto mais os valores preditos se aproximam dos valores verdadeiros, maior será o valor de  $R^2$ . Santos (2017) avaliou o teor proteico da soja, obtendo o valor de 78,84 para o coeficiente de determinação. Neste trabalho a farinha aproximou-se deste valor, chegando à 63,65 no modelo do *Test Set*, podendo ser considerado um valor aceitável, levando em consideração a pouca variabilidade proteica encontrada.

**Tabela 10** – Parâmetros estatísticos que representam a qualidade preditiva do modelo desenvolvido com as metodologias *Cross Validation* e *Test Set* com as granulometrias de farelo e farinha de dez genótipos de feijão carioca e suas triplicatas (Paludo, 2018).

<i>Cross Validation</i>				
	Validação		Calibração	
	$R^2$	RMSECV	$R^2$	RMSEE
Farelo	33,59	0,388	52,9	0,333
Farinha	52,41	0,392	63,4	0,351
<i>Test Set</i>				
	Validação		Calibração	
	$R^2$	RMSEP	$R^2$	RMSEE
Farelo	44,95	0,274	42,6	0,409
Farinha	59,62	0,231	63,65	0,353

Para o *Test Set* (validação) é utilizado o erro quadrático médio da previsão – RMSEP que determina a medida de concordância entre o valor predito e o valor verdadeiro e para *Cross Validation* é utilizado o indicador de erro quadrático

médio da validação cruzada – RMSECV (BRUKER, 2006). Conforme Manley (2014) e Ranzan (2014), a figura de mérito RMSEP para o *Test Set* na validação e o RMSECV no *Cross Validation* são importantes para determinar a precisão da análise. Para Santos (2017) os mesmos indicativos absorvem os erros globais da análise de referência. Almeida (2009), afirma que quanto menor o valor melhor o modelo predito. Sendo assim, os valores encontrados para o modelo de predição *Cross Validation* para o RMSECV foi menor no farelo com 0,388 e maior na farinha com 0,392. Para o *Test Set* o indicativo RMSEP do farelo foi maior com 0,274 e menor para a farinha com 0,231 (Tabela 10).

Outro fator considerado foi o *Rank* que determina o número de variáveis latentes, quanto mais baixa a classificação do *Rank* melhor, pois quanto maior, mais ruído a amostra apresenta. A classificação é feita de 1 à 10, aonde o próprio *software* determina (ALMEIDA, 2009). O *Rank* designado neste trabalho foi 9 para todas as avaliações. As variáveis  $R^2$  e RMSEP ou RMSECV apresentaram valores muito similares sugerindo que a validação cruzada *leave-one-out* se encaixa no PLS obtendo regressão com precisão.

Analisando, o *Test Set* apresentou-se como o melhor modelo de predição devido a resultados de  $R^2$  maior e o erro na validação (RMSEP) menor tanto para farinha quanto para farelo neste modelo. Para determinar qual granulometria se ajustaria melhor para este modelo, foi utilizado a figura de mérito RPD – desvio residual de predição que estipula a proporção de erro padrão por desvio padrão, ele designa se o modelo predito está adequado para ser usado (MANLEY, 2014). Na literatura existem valores de referência que indicam se o modelo é adequado ou não, segundo Saeys et al. (2005) os valores abaixo de 1,5 não são predições aconselháveis, entre 1,5 e 2,0 existe a possibilidade de reconhecer valores altos e baixos, representando um modelo mais adequado. Para Manley (2014), valores maiores que 3,0 são úteis para selecionar amostras, sendo uma boa classificação, acima de 5,0 pode ser utilizado para o controle de qualidade de produtos na indústria e acima de 8 é excelente, tendo qualquer aplicação.

Com isso, foi avaliado o RPD da farinha e do farelo para o *Test Set*. A farinha apresentou 1,82 para a validação e 1,66 para a calibração, sendo valores aceitáveis para predição. O farelo apresentou valores abaixo de 1,5 com 1,42 para a validação e 1,32 para a calibração, não desenvolvendo uma boa predição.

No trabalho de Shenk et al. (2001) evidenciou-se que quando os

espectros são feitos com amostras inteiras a precisão do equipamento fica reduzida devido à heterogeneidade da amostra, desta forma, quando moído a amostra se torna homogênea e melhora a precisão da análise pelo equipamento. Corroborando com estes resultados a farinha apresentou melhores índices, demonstrando ser a melhor granulometria para o desenvolvimento do modelo de predição.

## 5 CONCLUSÕES

Os genótipos avaliados apresentaram escurecimento do tegumento ao longo do armazenamento sob condições adversas, porém em intensidades diferentes. Após 120 dias de armazenamento IPR Curió, BRSMG Madrepérola, BRS Requite, ANFc 9 e TAA Dama apresentaram valores superiores de luminosidade ( $L^*$ ), inferiores de cromaticidade  $a^*$  e menor variação da coloração durante o período avaliado.

A avaliação da cor dos grãos pela escala CIELAB é eficiente para identificação do perfil de escurecimento dos grãos de feijão carioca. O parâmetro luminosidade  $L^*$  não deve ser considerado isoladamente, sendo que, os valores da cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$  contribuem para diferenciar os genótipos e mensurar o desenvolvimento do escurecimento dos grãos.

A capacidade de absorção de água diminui com o tempo de armazenamento para a maioria dos genótipos avaliados, porém nem sempre está associada ao escurecimento dos grãos.

Após 120 dias de armazenamento, BRSMG Madrepérola apresentou o menor teor de ABS, e valor inferior de cromaticidade  $a^*$  e superior de cromaticidade  $b^*$ , TAA Dama apresentou valores elevados da cromaticidade  $b^*$ . BRS Estilo e IAC Milênio apresentaram maior teor de ABS.

Os genótipos avaliados apresentaram diferenças significativas do teor de proteínas solúveis totais presentes no tegumento logo após a colheita, com IPR Curió(16,27) e BRS Estilo (17,18) apresentando teores inferiores em relação aos demais genótipos .

A granulometria da farinha foi mais eficiente para a construção de algoritmos de predição de proteínas no tegumento dos grãos do feijão carioca, por gerar espectros mais homogêneos. Dentre o grupo da farinha o modelo de predição que apresentou melhores índices foi o *Test Set*.



## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Filipa Margarida Neves. **Espectroscopia de Infravermelho Próximo com Transformada de Fourier (FT-NIR) na caracterização de farinhas para alimentação pueril**. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139422094/Tese%20FINAL%20Filipa%20Almeida.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

ALMEIDA, Luiz D'Artagnan; LEITÃO FILHO, Hermógenes; MIYASAKA, Shiro. Características do feijão carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, Campinas, v. 30, p. 33-38, 1971.

ARAÚJO, Lilian Cristina Andrade; RAMALHO, Magno Antonio Patto; ABREU, Ângela Fátima Barbosa Abreu. Estimates of genetic parameters of late seed-coat darkening of carioca type dry beans. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 2, p. 156-162, mar./abr., 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v36n2/03.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

ÀVILA, Bianca Pio; et al. Influência Tempo de Armazenamento na Qualidade Tecnológica dos Feijões Comum e Caupi. **ABRAPOS** – Associação Brasileira de Pós-colheita. Conferência Brasileira de Pós-Colheita 2014. Disponível em: <<http://eventos.abrapos.org.br/anais/evento/view/110>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

BAL, Lalit; KAR, Abhijit; SATYA, Santosh; NAIK, Satya. Kinetics of colour change of bamboo shoot slices during microwave drying. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 46, p. 827-833, 2011. Disponível em: <<https://sci-hub.tw/10.1111/j.1365-2621.2011.02553.x>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

BARAMPAMA, Zacharie; SIMARD, Ronald E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in burundi. **Food Chemistry**, v. 47, n. 2, p. 159–167, 1993. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030881469390238B>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

BARBOSA, Flávia Rabelo; GONZAGA, Augusto César de Oliveira. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás, 2012. 247 p. Disponível em: <[http://www.cnpaf.embrapa.br/transferencia/informacoestecnicas/publicacoesonline/seriedocumentos\\_272.pdf](http://www.cnpaf.embrapa.br/transferencia/informacoestecnicas/publicacoesonline/seriedocumentos_272.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2018.

BARBOSA, Flávia Rabelo; GONZAGA, Augusto César Oliveira; **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás, **Embrapa Arroz e Feijão**, 2012. Disponível em: <[http://www.cnpaf.embrapa.br/transferencia/informacoestecnicas/publicacoesonline/seriedocumentos\\_272.pdf](http://www.cnpaf.embrapa.br/transferencia/informacoestecnicas/publicacoesonline/seriedocumentos_272.pdf)>. Acesso em: 30 jan 2018.

BORDIN, Luciano et al. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, v. 62, n. 3, p. 417–428, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v62n3/v62n3a08.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

BRADFORD, M. M. Rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing principle of protein dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 2009. 365 p.

BURATTO, Juliana Sawada et al. Variabilidade genética e efeito do ambiente para o teor de proteína em grãos de feijão em grãos de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 593–597, 2009. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/910/910>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

BURLE, Marília Lobo; FONSECA, Jaime Roberto; KAMI, James; GEPS, Paul. Microsatellite diversity and genetic structure among common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in Brazil, a secondary center of diversity. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 121, p. 801–813, Sept. 2010. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00122-010-1350-5>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

CARNEIRO, José Eustácio Souza; et al. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.12, p. 281-284, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cbab/v12n4/08.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

CASSOL, Flávia Danieli Rech; et al. Qualidade fisiológica de lotes de sementes de feijão em função do armazenamento. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v.5, n.2, p.85-97, 2012.

COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO. Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 2012. 157p.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

COUTO, Karla Rodrigues; SANTOS, João Bosco; RAMALHO, Magno Antônio Patto; SILVA, Graciele Simoneti. Identificação de marcadores microssatélites relacionados ao escurecimento de grãos em feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 11, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2010001100006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2010001100006)>. Acesso em: 22 Fev. 2018.

DELFINO, Ricardo de Araújo; CANNIATTI-BRAZACA, Solange Guidolin. Interação de polifenóis e proteínas e o efeito na digestibilidade proteica de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Pérola. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, p. 308-312, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br>> . Acesso em: 18 mar. 2018.

FANCELLI, Luiz Antonio; NETO, Durval Dourado. Produção de feijão. 1 ed. Piracicaba Livrocere, 2007. 386 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2015 - About the International Year of Pulses. Disponível em: <<http://www.fao.org/pulses-2016/en/>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

FAOSTAT, Production Statistics, Production of Beans – 2016. **Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)**, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

FARIA, Luís Claudio; et al. 'BRS Requite': nem common bean Carioca cultivar with delayed grain darkness. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Lavras, v. 4, n. 3, p. 366-368, 2004. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/72711/1/Faria-1.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

FARINELLI, Rogério, BORGES LEMOS, Leandro. Produtividade, eficiência agrônômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 165-172, 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90816030021>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

GARCIA-VELA, Aroldo; STANLEY, William. Water-holding capacity in hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.): effect of pH and ionic strength. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 4, p. 1080-1081, July 1989.

HAEBERLIN, Luana. **Efeitos das condições de armazenamento na qualidade de sementes de canola armazenadas durante 180 dias em sistema semi-hermético**. 61p. 2017. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2017. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/rii/1930>>. Acesso em 26 abr. 2018.

HUNTERLAB. CIE L\*a\*b\* Color Scale. Applications note, Reston, v. 8, n. 7, p. 1-4, 1996.

HUNTERLAB. CIE L\*a\*b\* Color Scale. Applications note, Reston, v. 8, n. 7, p. 1-4, 1996.

JOÃO, Esperança Cativa Baptista. **Qualidade Tecnológica de grãos de feijão carioca armazenados**. 150 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2016. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/10916/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Qualidade%20tecnol%C3%B3gica%20de%20gr%C3%A3os%20de%20feij%C3%A3o%20carioca%20armazenados.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/10916/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Qualidade%20tecnol%C3%B3gica%20de%20gr%C3%A3os%20de%20feij%C3%A3o%20carioca%20armazenados.pdf)> Acesso em: 08 mar. 2018.

JUNK-KNIEVEL, Donna, C.; VANDERBERG, Albert; BETT, Kirstin, E. Slow darkening in pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed coats is controlled by a single major gene. **Crop Science**, v. 48, n. 1, p. 189-193, 2008. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300855470>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

KAPPES, Claudinei; WRUCK, Flávio Jesus; CARVALHO, Marco Antônio Camillo; YAMASHITA, Oscar Mitsuo. Feijão comum: Características Morfo-Agronômicas de Cultivares. **Documentos IAC Campinas**. v. 85, 2008. Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

LOPES, Rodrigo Lorencetti Tunes. **Características tecnológicas de genótipos de feijoeiro em razão de épocas de cultivo e períodos de armazenamento**. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2011. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/dissertações>>. Acesso em: 08 fev. 2018.

MANLEY, Marena. Near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging: non-destructive analysis of biological materials. **Chemical Society Reviews**, n. 43, p. 8200–8214, 2014. Disponível em: <<http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2014/CS/C4CS00062E>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

MARCUS, R. T. The measurement of color. In: NASSAU, K. (ed) Color for science, art and technology. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands. 1998. p 31-96

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MARLES, Susan.; VANDENBERG, Albert; BETT, Kirstin. 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**, Easton, v. 56, p. 7049-7056, 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18666779>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

MESQUITA, Fabrício Rivelli et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 3, n. 4, p. 1114–1121, 2007. ISSN 1413-7054. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v31n4/26.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

NASAR-ABBAS, Syed M.; et al. 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**, London, v. 42, p. 1703-1711, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643809001431>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

NASSAU, Kurt. The measurement of color. In: Color for science, art and technology. **Elsevier Science**, Amsterdam, Netherlands, v. 1, p 31-96, 1997.

OLIVEIRA, Damiany Pádua. **Qualidade tecnológica de grãos de feijão-comum em função de cultivares e condições de armazenamento**. 2010. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

OOMAH, Dave; CORBE, Ame Lie; BALASUBRAMANIAN, Parthiba. Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Hulls. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 58, n. 14, p. 8225-8230. 2010. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf1011193>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

PEREIRA, Débora Gonçalves; COSTA, Joaquim Geraldo; SOUZA, Thiago Livio; MELO, Leonardo Cunha; PEREIRA Helton Santos. Parâmetros genéticos e seleção de linhagens de feijão-comum com grãos pretos e resistentes à murcha-de-fusário. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, Documentos 311 p. 90. 2016.

PERINA, Eliana Francischinelli et al. Technological quality of common bean grains obtained in different growing seasons. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 1, p.14-22, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v73n1/a03v73n1.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

PINHEIRO, Carla et al. Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L. germplasm. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, p. 319–325, 2010. ISSN 0889-1575. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/2699/1/ARTIGO-Pinto20Ricardo.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

RAMOS JÚNIOR, E. U.; LEMOS, L. B. Comportamento de cultivares de feijão quanto à produtividade e qualidade dos grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa, MG. Anais. Viçosa: UFV, 2002. p. 222-224.

RAMOS JÚNIOR, Edison Ulisses; LEMOS, Leandro Borges. Comportamento de cultivares de feijão quanto à produtividade e qualidade dos grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa, MG. Anais, Viçosa: UFV, 2002. p. 222-224.

RANZAN, Cassiano. **Desenvolvimento de modelos quimiométricos utilizando o algoritmo de otimização colônia de formigas**. Universidade Federal do Rio

Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/101212/000930612.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 abr. 2018

RANZAN, Cassiano. **Desenvolvimento de modelos quimiométricos utilizando o algoritmo de otimização colônia de formigas**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/101212/000930612.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 Abr. 2018.

RIBEIRO, Narinéia Dalfollo; STORCK, Lindolfo; POERSCH, Nerison Luís. Classificação de lotes comerciais de feijão por meio da claridade do tegumento dos grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p.2042-2045, 2008. ISSN 0103-8478.

RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo; JOST, EVandro; CARGNELUTTI FILHO, Alberto. Efeitos da interação genótipos x ambiente no ciclo e na coloração do tegumento dos grãos do feijoeiro-comum. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 373-380, 2004.

RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo; POSSEBONI, Sandro Borba; STORCK, Lindolfo. Progresso genético em caracteres agronômicos no melhoramento do feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.4, p.629-633, 2003. ISSN 0103-8478.

RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo; SILVA, Sandra Moura; GARCIA, Danton Camacho; HOFFMANN, Leo Júnior. Variabilidade genética para absorção de água em grãos de feijão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 9, n. 1/2, p. 77-83, 2003. Disponível em: <[http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398800207\\_art09.pdf](http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398800207_art09.pdf)>. Acesso em: 24 fev. 2018.

RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo. et al. Efeito de períodos de semeadura e das condições de armazenamento sobre a qualidade de grãos de feijão para o cozimento. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n.1, p. 157-163, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v66n1/19.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

RIBEIRO, Horaci Jaqueline Silva; PRUDÊNCIO, Sandra Helena; MIYAGUI, Dalva Tomoe; RIBEIRO, Edson Luis de Azambuja. Caracterização de concentrado protéico de feijão comum preto, cultivar lapar 44, novo e envelhecido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 571-580, 2009.

RIOS, Alessandro Oliveira; ABREU, Celeste Maria Patto; CORREA, Amgelita D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 39-45, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v23s0/19468.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

RODRIGUES, Josana de Abreu; RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo; LONDERO, Patricia Medianeira Grigoletto; CARNELUTTI FILHO, Alberto; GARCIA, Danton Camacho. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão.



**Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.209-214, 2005. ISSN 0103-8478. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000100034>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

SAEYS, W. et al. Potential for Onsite and Online Analysis of Pig Manure using Visible and Near Infrared Reflectance Spectroscopy. **Biosystems Engineering**, v. 91, n. 4, p. 393 – 402, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511005000838?via%3Dihub>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

SANTOS, Gustavo Alves; SANTOS, Ana Paula dos; KORNDORFER, Gaspar Henrique. Sistema por infravermelho próximo (NIR) para análise de nitrogênio foliar. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 83–90, março 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/13201/8351>>. Acesso em: 10 Abr. 2018.

SANTOS, Larissa Rocha dos. **Métodos alternativos para análise rápida de parâmetros de qualidade da soja**. 70 p. - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017. Disponível em: <[http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2192/1/CM\\_PPGTA\\_M\\_Santos%2C%20Larissa%20da%20Rocha%20dos\\_2017.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2192/1/CM_PPGTA_M_Santos%2C%20Larissa%20da%20Rocha%20dos_2017.pdf)>. Acesso em 10 Abr. 2018.

SARICOBAN, Cemalettin; YILMAZ, Mustafa Tahsin; Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. **World Applied Sciences Journal**. v.9, n.1, p.14-22, 2010. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/40be/5d62a6cd2d1ae2650c2da47c6bada3a22b8a.pdf>>. Disponível em: 13 mar. 2018.

SCHMUTZ, Jeremy; MCCLEAN, Phillip E; MAMIDI, Sujan; WU, G Albert; CANNON, Steven B; GRIMWOOD, Jane. A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. **Nature Genetics**. Nature Publishing Group. Jun. 2014. Disponível em: <<http://www.nature.com/ng/journal/v46/n7/full/ng.3008.html>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

SEAB-Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Feijão - Análise da Conjuntura Agropecuária**. 2015. Disponível em: <[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2016/\\_feijao\\_2015\\_16.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2016/_feijao_2015_16.pdf)>. Acesso em: 05 Jan. 2018.

SHENK, J. S; Workman, J.J; Westerhaus, M.O. **Application of NIR Spectroscopy to Agricultural Products**, in: Handbook of Near-Infrared Analysis, ed. Burns, D. A; Ciurezak, E. W. New York, 2001.

SILVA FRANCIELE, Caroline; PEREIRA HENRIQUE, Santos; MELOLEONARDO, Carlos. Genetic control and estimation of genetic parameters for seed-coat darkening of carioca beans. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 6486–6496,

2014. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25158267>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

SILVA, Graciele. **Controle genético do escurecimento precoce de grãos de feijão tipo carioca**. 52 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br>> Acesso em: 05 Fev. 2018.

SILVA, Graciele; et al. Genetic control of early grain darkening of carioca common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, n. 4, p. 299–304, 2008. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/216259/1/CBAB8n4Silva.pdf>>. Acesso em: 07 Jan. 2018.

SIQUEIRA, Beatriz Dos Santos. **Desenvolvimento dos fenômenos de escurecimento e endurecimento em feijão carioca: aspectos bioquímicos e tecnológicos**. 2013, p. 125. Dissertação (Mestrado) Goiânia. Disponível em: <<https://ppgcta.agro.ufg.br>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

SIQUEIRA, Beatriz Santos; et al. Do enzymatic or non-enzymatic pathways drive the postharvest darkening phenomenon in carioca bean tegument. **Food Science and Technology**. V. 69, p. 593-600, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643816300792>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4. ed. rev. e ampl. Campinas, p. 161. 2011. Disponível em: <[http://www.cfn.org.br/wpcontent/uploads/2017/03/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](http://www.cfn.org.br/wpcontent/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf)>. Acesso em: 22 fev. 2018.

WENDT, S. C. Análise da Mudança de Cor em Concretos Submetidos a Altas Temperaturas como Indicativo de Temperaturas Alcançadas e da Degradação Térmica. 2006. 183p. Dissertação (Mestrado) Porto Alegre: PPGEC/UFRGS.

WENDT, Sheila Cristina. **Análise da Mudança de Cor em Concretos Submetidos a Altas Temperaturas como Indicativo de Temperaturas Alcançadas e da Degradação Térmica**. 2006. 183p. Dissertação (Mestrado) Porto Alegre: PPGEC/UFRGS. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/10698>>. Acesso em: 22 fev 2018.

XIAOBO, Zou et al. Variables selection methods in Near Infrared Spectroscopy. **Analytica Chimica Acta**, v. 667, n. 1–2, p. 14–32, maio 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267010003582>>. Acesso em: 10 Mar. 2018.

ZHU Dazhou, JI Baoping; LAN EUM Hyang; ZUDE Manuela; Evaluation of the non-enzymatic browning in thermally processed apple juice by front-face fluorescence spectroscopy. **Food Chemistry**, v.113, p.272–279, 2009. Disponível em:



<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814608008273>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

**GLOSSÁRIO**

## ÍNDICE DE APÊNDICES E ANEXOS

<u>APÊNDICE A – Resumo da Análise da variância para luminosidade (L*), Cromaticidades (a* e b*), índice de escurecimento (IE), proteínas solúveis totais (Prot.) e Absorção de água (ABS), de 10 genótipos de feijão carioca (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) submetidos ao envelhecimento acelerado dos grãos durante 120 dias de armazenamento. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2018.....</u>	<u>68</u>
<u>APÊNDICE B – Regiões espectrais utilizadas pelo NIRS (<i>Near Infrared Spectroscopy</i>) para construir modelos de predição para a farinha e farelo de grãos de feijão carioca (Paludo, 2018) .....</u>	<u>68</u>

## APÊNDICES

APÊNDICE A – Resumo da Análise da variância para luminosidade (L\*), Cromaticidades (a\* e b\*), índice de escurecimento (IE), proteínas solúveis totais (Prot.) e Absorção de água (ABS), de 10 genótipos de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) submetidos ao envelhecimento acelerado dos grãos durante 120 dias de armazenamento. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2018.

Causas de Variação	GL	QM						
		L*	a*	b*	IE	Prot.	ABS	MMS
Blocos	3	9,67	0,44	1,61	66,09	1,41	0,02	638,62
Tempo	5	433,86*	61,12*	1,22*	1243,48*	22,11*	0,091*	1931,93*
Genótipo	9	12,98*	12,81*	9,27*	115,75*	1,25*	0,144*	8132,71*
Tempo X Genótipo	45	3,39	0,38	2,12*	27,52*	1,04*	0,136*	36,65
Erro	177	3,66	0,28	1,11	21,53	0,72	0,004	97,78
CV (%)		5,04	11,84	13,82	14,88	4,79	4,81	5,7

\*significativo a 1% de probabilidade de erro; GL: Graus de Liberdade; QM: quadrado médio; CV(%): Coeficiente de Variação.

APÊNDICE B – Regiões espectrais utilizadas pelo NIRS (*Near Infrared Spectroscopy*) para construir modelos de predição para a farinha e farelo de grãos de feijão carioca (Paludo, 2018)

	Farinha/Farelo	
	Cross Validation	Test Set
Calibração	9411.7 – 7498.5	9411.7 – 6094.5
	6109.9 – 5446.4	5461.9 – 4243
Validação	9411.7 – 7498.5	9411.7 – 6094.5
	6109.9 – 5446.4	4613.3 – 4243